

**ANALISIS PENGARUH PROSES *COLD WORKING EXPANSION OPEN*  
*HOLE FASTENER* PADA SKIN PESAWAT AIRBUS A-330**



**UNIVERSITAS  
MERCU BUANA**  
**MOCH RIZATAMA ASLAM ALBAYUMI**  
**NIM: 41320110068**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA 2022**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PENGARUH PROSES *COLD WORKING EXPANSION OPEN*  
*HOLE FASTENER* PADA PESAWAT AIRBUS A-330**



Disusun Oleh:

Nama : Moch Rizatama Aslam Albayumi

NIM : 41320110068

Program Studi : Teknik Mesin

**DIAJUAKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA  
KULIAH TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)**

**FEBRUARI 2022**

## HALAMAN PENGESAHAN

### ANALISIS PENGARUH PROSES *COLD WORKING EXPANSION OPEN HOLE* *FASTENER* PADA PESAWAT AIRBUS A-330

Disusun Oleh:

Nama : Moch Rizatama Aslam Albayumi

NIM : 41320110068

Program Studi: Teknik Mesin

Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal 24 Februari 2022

Telah dipertahankan di depan penguji,

Pembimbing TA



(Swandya Eka Pratiwi, ST, M.Sc)  
NIP.116910537

Penguji Sidang I



(Dr. Eng. Deni Shidqi Khaerudin)  
NIP.216890126

Penguji Sidang II



(Nur Indah, ST, MT)NIP.  
615800118

Penguji Sidang III



(Rini Anggraini, ST, MM)  
NIP.609560022

Mengetahui



(Muhamad Fitri, ST, M.si., Ph.D)  
NIP.118690617

Koordinator TA



(Alief Aviecenna Luthfi, ST., M.Eng)  
NIP.216910097

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Moch Rizatama Aslam Albayumi  
NIM : 41320110068  
Jurusan : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Judul Tugas Akhir : Analisis Pengaruh Proses *Cold Working Expansion Open Hole Fastener* Pada *Skin* Pesawat Airbus A-330

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keaslian nya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Jakarta, 22 Februari 2022



Moch Rizatama Aslam Albayumi

## PENGHARGAAN

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena hanya berkat dan kasih-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Pengaruh Proses *Cold Working Expansion Open Hole Fastener* pada *Skin* Pesawat Airbus A-330" tepat pada waktunya. Adapun tujuan dari pembuatan Laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai Syarat dalam menyelesaikan Mata kuliah Tugas Akhir pada Universitas Mercu Buana Jakarta. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih atas segala bantuan baik moril maupun materiil kepada:

1. Allah SWT karena atas izin-Nya lah laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.
2. Prof. Dr. Ngadino Surip sebagai Rektor Universitas Mercu Buana (UMB)
3. Bapak Dr. Ir. Mawardi Amin, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik
4. Bapak Dr. Muhamad Fitri, M.Si., selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Mercu Buana.
5. Ibu Swandya Eka Pratiwi, ST, M.Sc., sebagai Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak pengarahan, saran serta pembelajaran kepada penulis.
6. Bapak Alief Avicenna Luthfie ST, M.Sc., selaku Koordinator Tugas Akhir dan juga para dosen di kelas Tugas Akhir.
7. Bapak I Made Sumantra sebagai Manager yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan pengambilan data di PT. GMF Aeroasia.Tbk untuk Laporan Tugas Akhir.
8. Semua pihak-pihak terkait yang telah membantu penelitian dan pengambilan data, serta memberikan ide kepada penulis.
9. Orang tua penulis Usep Ali Albayumi dan Ibu Hasanah yang selalu menjadi motivasi terbesar untuk selalu bisa semangat membuat Laporan Tugas Akhir.
10. Teman penulis Ratna Endah Pratiwi yang selalu memberikan dukungan moral, materil dan spiritual.
11. Bapak Imron dan Teh Hanifah Fathiya Albarty yang telah membantu pengambilan data pengujian di lab material *engine shop* PT. GMF Aeroasia Tbk.

*12. Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being a giver and tryna give more than I receive, I wanna thank me for tryna do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all time.*

Penulis menyadari bahwa tidak ada satu hal di dunia ini yang sempurna, begitu juga dengan Laporan Tugas Akhir ini. Besar harapan penulis agar laporan ini bisa dapat berguna bagi semua orang yang membacanya, oleh karena itu penulis mengharapkan saran serta kritik yang membangun untuk menjadi lebih baik di masa yang akan datang.

Jakarta, 1 November 2021



Moch Rizatama Aslam Albayumi



## ABSTRAK

Kecelakaan pesawat Aloha Airline yang terjadi pada tahun 1988 disebabkan oleh salah satu faktor yaitu retakan kecil sekitar 15 cm pada *fuselage* pesawat sebelum lepas landas. Pada saat penerbangan badan pesawat akan mengalami *depressurize* dan *pressurized*, hal ini akan menyebabkan *skin* pesawat mengalami *fatigue* dan akan menyebabkan *fatigue crack*. Sebuah *skin* pesawat terbang terdiri dari banyak lubang *fastener* yang berfungsi untuk menyambungkan *skin* pesawat ke bidang rangka pesawat. Namun, penggunaan *fastener* memiliki kelemahan pada teknik penyambungan lubang karena konsentrasi tegangan pada tepi lubang adalah 3 kali dari tegangan kerja. Untuk menghindari konsentrasi tegangan pada sekitar lubang yang sangat rawan terjadi awal mula retakan maka diciptakanlah *prestressing*. Salah satu teknik *prestressing* yang digunakan adalah proses *split sleeve cold working expansion hole*. Penelitian ini bertujuan untuk memahami dan mengetahui pengaruh proses *cold working expansion open hole* pada *skin* pesawat Airbus A-330. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental yang difokuskan pada uji tarik dan uji struktur mikro yang diimplementasikan pada material sampel uji aluminium 2024 T3 dengan ketebalan 2,5 mm dan 2 mm dengan diameter lubang 6 mm. Berdasarkan uji tarik yang telah dilakukan, material sampel uji ketebalan 2,5 mm yang dilakukan proses *split sleeve cold working expansion hole* memiliki nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) rata-rata sebesar 379,07 MPa dengan perubahan elongasi sebesar 1,36 % dan material sampel uji 2 mm memiliki nilai UTS rata-rata sebesar 364,64 MPa dengan perubahan elongasi sebesar 1,7 %. Sedangkan material sampel uji yang tidak dilakukan proses *split sleeve cold working expansion hole* material sampel uji 2,5 mm memiliki nilai UTS rata-rata sebesar 374,78 MPa, dengan perubahan elongasi sebesar 1,2 % dan material sampel uji 2 mm memiliki nilai UTS rata-rata sebesar 359,7 MPa dengan perubahan elongasi sebesar 0,9 %. Uji struktur mikro juga menunjukkan adanya perubahan kerapatan unsur paduan yang terlihat lebih rapat setelah dilakukannya proses *split sleeve cold working expansion hole*. Berbeda ketika proses tersebut tidak dilakukan, jarak antar unsur paduan terlihat lebih renggang. Dari data yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai UTS berbanding lurus dengan kerapatan struktur mikro.

**Kata Kunci:** Retakan, *split sleeve cold working expansion hole*, konsentrasi tegangan, *Ultimate Tensile Strength*, struktur mikro

## **ANALYSIS OF THE EFFECT OF COLD WORKING EXPANSION OPEN HOLE FASTENER PROCESS ON AIRBUS A-330 AIRCRAFT SKIN**

### **ABSTRACT**

*The Aloha Airline crash that occurred in 1988 was caused by one of the factors, namely a small crack of about 15 cm on the plane before takeoff. During flight, the fuselage will be depressurized and pressurized, this will cause the aircraft skin to experience fatigue and will cause fatigue cracks. An aircraft skin consists of many fastening holes that serve to connect the aircraft skin to the plane of the aircraft. However, the use of binders has a weakness in the hole joining technique because the stress concentration at the edge of the hole is 3 times the working stress. To avoid stress concentration around the hole which is very prone to early cracking, prestressing is created. One of the prestressing techniques used is the split sleeve cold working expansion hole process. This study aims to understand and determine the effect of the cold working expansion open hole process on the skin of the Airbus A-330 aircraft. The method used in this study is an experimental method that was tested on tensile tests and microstructure tests which were implemented on samples of 2024 T3 aluminum test material with a thickness of 2.5 mm and 2 mm with a hole diameter of 6 mm. Based on the tensile test that has been carried out, the test material sample having a thickness of 2.5 mm which was carried out by the split sleeve cold working expansion hole process has an average UTS value of 379.07 MPa with an elongation change of 1.36%. The average UTS is 364.64 MPa with an elongation change of 1.7%. While the test sample material that was not carried out by the split sleeve cold working expansion hole process, the 2.5 mm test sample material had an average UTS value of 374.78 MPa, with an elongation change of 1.2% and the 2 mm test sample material had an average UTS value, an average of 359.7 MPa with an elongation change of 0.9%. The microstructure test also showed that there was a change in the density of the alloying elements which looked more denser after the split sleeve cold working expansion hole process. In contrast, when the process is not carried out, the distance between the alloying elements looks more tenuous. The data obtained shows that the UTS (Ultimate Tensile Strength) value is directly proportional to the density of the microstructure.*

**Keywords:** *crack, split sleeve cold working expansion hole, stress concentration, ultimate tensile strength, microstructure*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	<b>ii</b>
<b>PENGHARGAAN</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN	3
1.4 MANFAAT	4
1.5 RUANG LINGKUP	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>6</b>
2.1 STUDI LITERATUR	6
2.2 <i>FUSELAGE</i>	9
2.3 ALUMUNIUM	11
2.3.1 Paduan Alumunium	12

2.3.2	Alumunium 2024 T3	14
2.4	<i>COLD WORKING EXPANSION HOLE</i>	15
2.4.1	Jenis <i>Cold Working Expansion Hole</i>	17
2.4.2	<i>Part Split Sleeve Cold Working Expansion Hole</i>	20
2.5	KEKUATAN MATERIAL	24
2.5.1	Sifat Mekanik	24
2.6	KEGAGALAN MATERIAL	27
2.6.1	Patah Lelah ( <i>Fatigue Crack</i> )	27
2.6.2	Patah Ulet ( <i>Ductile Failure</i> )	31
2.6.3	Patah Getas ( <i>Brittle Failure</i> )	31
2.6.4	Patah Korosi ( <i>Corrosion Failure</i> )	32
2.7	STRUKTUR MIKRO	32
2.7.1	Mikrostruktur Alumunium 2024	34
2.8	PENGUJIAN MATERIAL	35
2.8.1	Pengujian Tarik ( <i>Tensile Test</i> )	36
2.8.2	Pengujian Mikro Struktur	38
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI</b>	<b>39</b>
3.1	DIAGRAM ALIR	39
3.1.1	Identifikasi Masalah	40
3.1.2	Studi Literatur	40
3.1.3	Persiapan Material Sampel Uji	40
3.1.4	<i>Cold Working Expansion Hole</i> Plat Alumunium 2024 T3	42
3.1.5	Pengujian Material Sampel Uji	45
3.1.6	Data yang Diperoleh Dari Pengujian Material Sampel Uji	46
3.1.7	Pengolahan Hasil Data Pengujian	46
3.2	ALAT DAN BAHAN	47
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>53</b>
4.1	PERSIAPAN MATERIAL	53

4.1.1	Persiapan Material Sampel Uji Tarik	53
4.1.2	Persiapan Sampel Uji Metalografi	55
4.2	HASIL PENGUJIAN TARIK	56
4.3	HASIL PENGUJIAN METALOGRAFI	62
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP</b>	<b>66</b>
5.1	KESIMPULAN	66
5.2	SARAN	67
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>68</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>70</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Fuselage Semi Monocoque</i>	9
Gambar 2. 2 <i>Ilustrasi Pemasangan Fastener Pada Skin Pesawat</i>	10
Gambar 2. 3 <i>Residual Compressive Stress Zone</i>	16
Gambar 2. 4 <i>Cold Working Split Sleeve Expansion Hole</i>	16
Gambar 2. 5 <i>Hole Edge Expansion</i>	18
Gambar 2. 6 <i>Direct Mandrel Expansion</i>	18
Gambar 2. 7 <i>Ball Expansion</i>	19
Gambar 2. 8 <i>Split Sleeve Cold Working Expansion</i>	20
Gambar 2. 9 <i>Puller Unit</i>	21
Gambar 2. 10 <i>Nosecap</i>	21
Gambar 2. 11 <i>Mandrel</i>	22
Gambar 2. 12 Pemeriksaan <i>mandrel</i> menggunakan <i>mandrel wear gage</i>	22
Gambar 2. 13 <i>Combination Gage</i>	23
Gambar 2. 14 <i>Start Drill/Twist Drill</i>	23
Gambar 2. 15 <i>Start Reamer</i>	23
Gambar 2. 16 <i>Finish Reamer</i>	24
Gambar 2. 17 Kurva Tegangan VS Regangan	27
Gambar 2. 18 <i>Combination Wrench</i> Mengalami Patah Lelah Lelah	31
Gambar 2. 19 Spesimen Patah Ulet	31
Gambar 2. 20 Spesimen Patah Getas	32
Gambar 2. 21 Spesimen Patah Korosi	32
Gambar 2. 22 Struktur Mikro Alumunium Murni	33
Gambar 2. 23 Diagram Fasa Al CU	34
Gambar 2. 24 Mikrostruktur Alumunium 2024 T3	35
Gambar 3. 1 Diagram Alir	39
Gambar 3. 2 Skin Pesawat Bagian Depan	41
Gambar 3. 3 Dimensi Material Sampel Uji Tarik	42
Gambar 3. 4 Posisi <i>Split Sleeve</i> pada <i>Mandrel</i>	44
Gambar 3. 5 <i>Split Sleeve Expansion Hole</i>	44
Gambar 3. 6 Alat Pemotong Plat	47
Gambar 3. 7 <i>Split Sleeve Cold Working Expansion Hole Toolset</i>	48

Gambar 3. 8 Mesin Uji Tarik	48
Gambar 3. 9 Mesin <i>Grinding</i> dan <i>Polishing</i>	49
Gambar 3. 10 <i>Digital Optical Microscope</i>	50
Gambar 3. 11 Plat Alumunium 2024 T3 Ketebalan 2,6 mm	50
Gambar 3. 12 <i>Methy Ethyl Keton</i>	51
Gambar 3. 13 Kertas Amplas	52
Gambar 3. 14 Resin Bening	52
Gambar 4. 1 Sampel Uji Tarik Setelah Dilakukan Pemotongan 2,5 mm (Kiri), 2 mm (Kanan)	54
Gambar 4. 2 Material Sampel Uji 2,5 mm (Kiri) dan 2 mm (Kanan) Dilakukan Proses <i>Split Sleeve Cold Working Expansion Hole</i>	54
Gambar 4. 3 Material Sampel Uji 2,5 mm (Kiri) dan 2 mm (Kanan) Tidak Dilakukan Proses <i>Split Sleeve Cold Working Expansion Hole</i>	55
Gambar 4. 4 Pemotongan Material Sampel Uji Metalografi	55
Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Tarik Material Sample Uji 2,5 mm (Kiri) dan 2 mm (Kanan) yang Dilakukan Proses <i>Cold Working Expansion Hole</i>	56
Gambar 4. 6 Hasil Pengujian Tarik Material Sample Uji 2,5 mm (Kiri) dan 2 mm (Kanan) yang Tidak Dilakukan Proses <i>Cold Working Expansion Hole</i>	57
Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengujian Tarik Material sampel Uji 2,5 mm	59
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengujian Tarik Material sampel Uji 2 mm	60
Gambar 4. 9 Penampang Patahan Material Sampel Uji Tarik Ketebalan 2,5 mm yang Dilakukan (Kiri) dan yang Tidak Dilakukan (Kanan) Proses <i>Split Sleeve Cold Working Expansion Hole</i>	61
Gambar 4. 10 Penampang Patahan Material Sampel Uji Tarik Ketebalan 2 mm yang Dilakukan (Kiri) dan yang Tidak Dilakukan (Kanan) Proses <i>Split Sleeve Cold Working Expansion Hole</i>	61
Gambar 4. 11 Material Sampel Uji Metalografi 2,5 mm (Kiri) dan 2 mm (Kanan)	63
Gambar 4. 12 Struktur Mikro Pada Material Sampel Uji 2,5 mm (Kiri) dan 2 mm (Kanan) yang Dilakukan Proses <i>Split Sleeve Cold Working Expansion Hole</i>	64
Gambar 4. 13 Struktur Mikro Pada Material Sampel Uji 2,5 mm (Kiri) dan 2 mm (Kanan) yang Tidak Dilakukan Proses <i>Split Sleeve Cold Working Expansion Hole</i>	64

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Studi Literatur	6
Tabel 2. 2 Karakteristik Alumunium	12
Tabel 2. 3 Daftar Seri Paduan Alumunium Tempa	14
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Tarik Material Sampel Uji Ketebalan 2,5 mm	59
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Tarik Material Sampel Uji Ketebalan 2 mm	59



## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
$\partial$	Tegangan
e	Regangan



## DAFTAR SINGKATAN

<b>Singkatan</b>	<b>Keterangan</b>
GVI	<i>General Visual Inspection</i>
SDI	<i>Special Detail Inspection</i>
SRM	Structure Repair Manual
AA	Alumunium Association
UTS	Ultimate Tensile Strength

