



***Analisis Pengaruh Cold Working Expansion Process Pada Fastener
Hole Sambungan Rangka Frame 40 Pesawat Airbus A330***

TUGAS AKHIR

SKRIPSI

MUHAMMAD KHARISMA RAMADHAN

41324110032

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MERCU BUANA

JAKARTA

2026



***Analisis Pengaruh Cold Working Expansion Process Pada Fastener
Hole Sambungan Rangka Frame 40 Pesawat Airbus A330***

TUGAS AKHIR

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

MUHAMMAD KHARISMA RAMADHAN

41324110032

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MERCU BUANA

JAKARTA

2026

HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Kharisma Ramadhan
NIM : 41324110032
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tugas Akhir berjudul:

“Analisis Pengaruh *Cold Working Expansion Process* Pada *Fastener Hole* Sambungan Rangka *Frame 40* Pesawat Airbus A330” adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 30 Januari 2026



Muhammad Kharisma Ramadhan

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Karya Ilmiah/Laporan Tugas Akhir/Skripsi pada BAB I,, BAB III, BAB IV dan BAB V atas nama:

Nama : **Muhammad Kharisma Ramadhan**
NIM : **41324110032**
Program Studi : **Teknik Mesin**
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : **Analisis Pengaruh Cold Working Expansion Process Pada Fastener Hole Sambungan Rangka Frame 40 Pesawat Airbus A330**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Kamis, 19 Februari 2026** dengan hasil presentase sebesar **10 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 19 Februari 2026

Administrator Turnitin,



Itmam Haidi Syarif

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Kharisma Ramadhan
NIM : 41324110032
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisis Pengaruh *Cold Working Expansion*
Process Pada *Fastener Hole* Sambungan Rangka
Frame 40 Pesawat Airbus A330

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 30 Januari 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing



(Dianta Ginting, S.Si, M.Sc, Ph.D)
NIDN: 0324118202

Jakarta, 30 Januari 2026
Mengetahui,

Dekan Fakultas



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, MT)
NIDN: 0307037202

Ketua Program Studi



(Dr. Eng Iman Hidayat, ST., MT)
NIDN: 0005087502

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng, selaku Rektor Universitas Mercu Buana
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, MT selaku Dekan Fakultas.
3. Dr. Eng Imam Hidayat, ST., MT selaku Ketua Program Studi.
4. Dianta Ginting, S.Si, M.Sc, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Orang Tua Saya yang telah mendukung penuh dari awal perkuliahan hingga saat ini.
6. Bu Dede dan Mba Sri Puji, selaku mentor dan pembimbing lab GMF Aeroasia.
7. Rekan-rekan kantor GMF Aeroasia unit TBK-2 yang membantu melancarkan penelitian ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 30 Januari 2026



Muhammad Kharisma Ramadhan

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR DI REPOSITORI UMB**

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Kharisma Ramadhan
NIM : 41324110032
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisis Pengaruh Cold Working Expansion
Process Pada Fastener Hole Sambungan Rangka
Frame 40 Pesawat Airbus A330

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 30 Januari 2026

Yang menyatakan,



(Muhammad Kharisma Ramadhan)

**ANALISIS PENGARUH *COLD WORKING EXPANSION PROCESS* PADA
FASTENER HOLE SAMBUNGAN RANGKA *FRAME 40* PESAWAT
AIRBUS A330
MUHAMMAD KHARISMA RAMADHAN**

ABSTRAK

Kegagalan struktur pada sambungan *fuselage* pesawat akibat retakan di sekitar lubang *fastener* telah menjadi perhatian serius dalam dunia aviasi, seperti yang terjadi pada kasus *Southwest Airlines Flight 812* (2011) dan *Aloha Airlines* (1988). Lubang *fastener* pada sambungan *skin* dan *frame* pesawat merupakan titik konsentrasi tegangan yang dapat mencapai tiga kali tegangan kerja, sehingga berpotensi memicu inisiasi retak lelah. Untuk mengurangi risiko tersebut, dikembangkan metode *prestressing* melalui proses *split sleeve cold working expansion hole* yang bertujuan menghasilkan tegangan sisa tekan (*compressive residual stress*) di sekitar lubang. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh proses *cold working expansion* terhadap sifat mekanik dan perubahan struktur mikro pada material aluminium 7075 T6 (0,07 in) dan 7075 T3 (0,04 in) yang merepresentasikan material pada sambungan rangka *frame 40* pesawat Airbus A330. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan membandingkan sampel sebelum dan sesudah proses *cold working*, kemudian dilakukan pengujian *micro vickers hardness* dan pengamatan struktur mikro menggunakan *digital optical microscope*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada aluminium 7075 T6 terjadi peningkatan kekerasan rata-rata dari 182,59 HV menjadi 204,7 HV (naik 12%), sedangkan pada aluminium 7075 T3 meningkat dari 40,11 HV menjadi 46,78 HV (naik 16,5%). Pengamatan mikrostruktur memperlihatkan pepadatan struktur, peningkatan kepadatan dislokasi, dan munculnya *deformation bands* setelah proses *cold working*. Temuan ini membuktikan bahwa *cold working expansion* efektif meningkatkan kekuatan lokal material di sekitar lubang *fastener* yang berpotensi memperpanjang *fatigue life* struktur pesawat.

Kata kunci: *cold working expansion*, *fastener hole*, aluminium 7075, *micro vickers hardness*, struktur mikro.

***ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE COLD WORKING EXPANSION
PROCESS ON FASTENER HOLES IN THE FRAME 40 JOINT
STRUCTURE OF THE AIRBUS A330***

MUHAMMAD KHARISMA RAMADHAN

ABSTRACT

Structural failures around fastener holes in aircraft fuselage joints have become a critical concern in aviation, as evidenced by cases such as Southwest Airlines Flight 812 (2011) and Aloha Airlines (1988). Fastener holes in skin-to-frame joints act as stress concentration points where the local stress can reach up to three times the nominal working stress, potentially initiating fatigue cracks. To mitigate this risk, a prestressing method known as the split sleeve cold working expansion hole process is applied to generate compressive residual stress around the hole. This study aims to analyze the effect of the cold working expansion process on the mechanical properties and microstructural changes of aluminum 7075 T6 (0.07 in) and 7075 T3 (0.04 in), representing the material used in the Frame 40 joint of the Airbus A330. An experimental method was employed by comparing specimens before and after the cold working process, followed by micro vickers hardness testing and microstructural observation using a digital optical microscope. The results show that the average hardness of aluminum 7075 T6 increased from 182.59 HV to 204.7 HV (an increase of 12%), while aluminum 7075 T3 increased from 40.11 HV to 46.78 HV (an increase of 16.5%). Microstructural observations reveal a denser structure, increased dislocation density, and the formation of deformation bands after the cold working process. These findings confirm that cold working expansion effectively enhances the local mechanical strength around fastener holes and has the potential to extend the fatigue life of aircraft structures.

Keywords: cold working expansion, fastener hole, aluminum 7075, micro vickers hardness, microstructure, fatigue.

DAFTAR ISI

| | |
|---|----------|
| HALAMAN SAMBUNG..... | 0 |
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI..... | ii |
| HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN..... | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iv |
| KATA PENGANTAR..... | v |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI..... | vi |
| ABSTRAK..... | vii |
| <i>ABSTRACT</i> | viii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR..... | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan..... | 2 |
| 1.4 Manfaat..... | 2 |
| 1.5 Batasan Penelitian..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 4 |
| 2.1 Review Penelitian Terdahulu..... | 4 |
| 2.2 <i>Frame Pesawat</i> | 4 |
| 2.3 Aluminium..... | 5 |
| 2.3.1 Paduan Aluminium..... | 6 |
| 2.3.2 Paduan Aluminium 7075..... | 6 |
| 2.3.3 Temper Pada Aluminium..... | 7 |
| 2.4 <i>Cold Working Expansion Hole</i> | 9 |
| 2.4.1 <i>Split Sleeve Cold Expansion</i> | 10 |
| 2.4.2 <i>Komponen Split Sleeve Cold Expansion</i> | 11 |
| 2.5 Sifat Mekanik Material..... | 15 |
| 2.5.1 Kekuatan Tarik (<i>Tensile Strength</i>)..... | 15 |
| 2.5.2 Kekerasan (<i>Hardness</i>)..... | 15 |
| 2.5.3 Keuletan (<i>Ductility</i>)..... | 15 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.5.4 | Kekakuan (<i>Stiffness</i>)..... | 16 |
| 2.5.5 | Ketangguhan (<i>Toughness</i>)..... | 16 |
| 2.5.6 | Kelelahan (<i>Fatigue</i>)..... | 16 |
| 2.6 | Struktur Mikro..... | 16 |
| 2.7 | Pengujian Material..... | 17 |
| 2.7.1 | Pengujian kekerasan (<i>Hardness Test</i>)..... | 17 |
| 2.7.2 | Pengujian Tarik (<i>Tensile Strenght</i>)..... | 20 |
| 2.7.3 | Pengujian Struktur Mikro (<i>Metallography</i>)..... | 20 |
| BAB III METODOLOGI | | 21 |
| 3.1 | Diagram Alir Penelitian..... | 21 |
| 3.1.1 | Identifikasi Masalah..... | 22 |
| 3.1.2 | Studi Literatur..... | 22 |
| 3.1.3 | Persiapan Sampel Uji..... | 22 |
| 3.1.4 | Proses <i>Cold Working Expansion Hole</i> Plat Aluminium 7075 T6 dan T3..... | 23 |
| 3.1.5 | Pengujian Material Sampel Uji..... | 28 |
| 3.1.6 | Data Hasil Pengujian..... | 32 |
| 3.2 | Alat dan Bahan..... | 32 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | | 37 |
| 4.1 | Pengujian Mikro <i>Vickers Hardness</i> | 37 |
| 4.1.1 | Data Mikro <i>Vickers Hardness Test</i> | 37 |
| 4.1.2 | Analisis Data Mikro <i>Vickers Hardness Test</i> | 43 |
| 4.2 | Pengujian Metalografi..... | 44 |
| 4.2.1 | Data Hasil Pengamatan Mikro Struktur..... | 44 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | | 46 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 46 |
| 5.2 | Saran..... | 47 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 48 |
| Lampiran..... | | 50 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Struktur Semi-Monocoque..... | 4 |
| Gambar 2. 2 Residual Compressive Stress Zone..... | 9 |
| Gambar 2. 3 Cold Working Split Sleeve Expansion Hole..... | 10 |
| Gambar 2. 4 Split Sleeve Cold Expansion..... | 11 |
| Gambar 2. 5 Power Pak WCI-20..... | 11 |
| Gambar 2. 6 Puller Guns WCI 1700..... | 12 |
| Gambar 2. 7 Nose Cap Assembly..... | 12 |
| Gambar 2. 8 Mandrel..... | 12 |
| Gambar 2. 9 Penggunaan Split Sleeve | 13 |
| Gambar 2. 10 Penggunaan Mandrel Wear Gage | 13 |
| Gambar 2. 11 Combination Gage | 14 |
| Gambar 2. 12 Start dan Final Reamer | 14 |
| Gambar 2. 13 Struktur Mikro Aluminium paduan Al-7wt%Si | 17 |
| Gambar 2. 14 Brinell Hardness Test..... | 18 |
| Gambar 2. 15 Vickers Hardness Test | 19 |
| Gambar 2. 16 Rockwell Hardness Test | 19 |
| Gambar 2. 17 Alat Uji Struktur Mikro PT. GMF Aeroasia..... | 20 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir (Flow Chart) | 21 |
| Gambar 3. 2 Syarat Pengujian Kekerasan Vickers Hardness Test | 23 |
| Gambar 3. 3 Persiapan Lubang..... | 24 |
| Gambar 3. 4 Pengukuran Diameter Lubang Menggunakan Combination Gage | 25 |
| Gambar 3. 5 Pemeriksaan Mandrel dengan Wear Gage..... | 25 |
| Gambar 3. 6 Pemasangan Split Sleeve pada Mandrel | 26 |
| Gambar 3. 7 Pemasangan Split Sleeve Assembly ke Dalam Lubang Uji..... | 26 |
| Gambar 3. 8 Proses Cold Working Expansion | 27 |
| Gambar 3. 9 Tahapan Proses Split Sleeve Cold Working Expansion Hole..... | 28 |
| Gambar 3. 10 Pengaturan Beban Uji 500 gf..... | 29 |
| Gambar 3. 11 Proses Penekanan Indenter Mikro Vickers pada Sampel Uji | 29 |
| Gambar 3. 12 Pengukuran Diagonal Penekanan | 30 |
| Gambar 3. 13 Mounting Resin pada Sampel Uji..... | 31 |
| Gambar 3. 14 Tool Set Cold Working Expansion Hole GMF Aeroasia | 33 |
| Gambar 3. 15 Penggunaan Langsung Tools Cold Working Expansion Pada Frame 40 Pesawat Airbus A330 Oleh Penulis..... | 33 |
| Gambar 3. 16 Alat Pemetong Plat GMF Aeroasia | 34 |
| Gambar 3. 17 Mesin Grinding dan Polishing GMF Aeroasia | 34 |
| Gambar 3. 18 Digital Optical Microscope GMF Aeroasia..... | 35 |
| Gambar 4. 1 Pengujian Mikro Vickers Hardness | 37 |
| Gambar 4. 2 Indentasi 4 Al 7075 T6 Tebal 0.07 in Normal Plate..... | 39 |
| Gambar 4. 3 Indentasi 2 Plat Al 7075 T6 Tebal 0.07 in Cold Worked Plate | 40 |
| Gambar 4. 4 Indentasi 3 Plat Al 7075 T3 Tebal 0.04 in Normal Plate..... | 42 |
| Gambar 4. 5 Indentasi 1 Plat Al 7075 T3 Tebal 0.04 in Cold Worked Plate | 43 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. 6 Struktur Mikro Aluminium 7075 T3 Ketebalan 0.04 in Normal Plate (Kiri) dan Coldworked Plate (Kanan) | 44 |
| Gambar 4. 7 Struktur Mikro Aluminium 7075 T6 Ketebalan 0.07 in Normal Plate (Kiri) dan Coldworked Plate (Kanan) | 45 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Karakteristik Aluminium vs Tembaga | 5 |
| Tabel 2. 2 Komposisi Aluminium alloy seri 7xxx..... | 6 |
| Tabel 2. 3 Heat Treatment dan Temper Aluminium..... | 7 |
| Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Plat Normal Al 7075 T6 Tebal 0.07 in..... | 38 |
| Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Plat Cold Work Al 7075 T6 Tebal 0.07 in..... | 39 |
| Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Plat Normal Al 7075 T3 Tebal 0.04 in..... | 41 |
| Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Plat Cold Work Al 7075 T3 Tebal 0.04 in..... | 42 |