

Analisis Pengaruh Waktu *Precipitation Treatment* pada Paduan Aluminium Clad 2024 Terhadap Sifat Mekanik, Konduktivitas Listrik dan Struktur Mikro pada *Doubler Leading Edge Inboard Flap* Pesawat

Yafid Effendi^{1*}, Surya Agung Satriyo Nugroho², Ali Rosyidin³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang
Jl. Perintis Kemerdekaan I/33 Cikokol-Tangerang
E-mail: yafid_effendi@yahoo.com

Submitted Date: November 31, 2022

Reviewed Date: December 27, 2022

Revised Date: December 30, 2022

Accepted Date: December 31, 2022

Abstract

Aluminum is one of the most abundant metals in the earth's crust. This type of metal is widely combined with other elements to increase the strength of aluminum, so that aluminum is classified as one of the most abundant elements after oxygen (45.5%) and silicon (25.7%). Aluminum alloy clad 2024 is one type of aluminum alloy that is widely applied to aircraft doublers. A series of heat treatment processes for aluminum clad 2024 T0 to T42 conditions include a solution treatment process using a temperature of minutes with quenching using water cooling media with a maximum delay of 10 seconds and precipitation treatment with variations in natural aging time to optimize the mechanical properties of the alloy. 2024 T42 aluminum clad. Natural aging is one of the precipitation treatment processes carried out at room temperature with the aim of forming precipitates that can improve the mechanical properties of aluminum alloys. Aluminum clad 2024 T42 was stored at room temperature with variations in the natural aging process for 24 hours, 48 hours, 72 hours and 96 hours. This study aims to determine the effect of the time of the precipitation treatment process on the mechanical properties and electrical conductivity of aluminum alloy clad 2024 under T42 conditions and to determine the optimum time at which the mechanical properties are stable for production work efficiency. And analyze the microstructure of the aluminum alloy clad 2024 T42 condition which has undergone a heat treatment (precipitation treatment) process. And the test methods carried out directly at PT GMF Aeroasia Tbk include tensile tests, hardness tests, electrical conductivity tests and microstructure tests. Based on the results of this study, the efficient precipitation treatment (natural aging) is 48 hours by producing a tensile strength of 492.88 MPa, yield strength 335.26 MPa, elongation 12.51 %, hardness value of 62.16 HRB and conductivity value. electricity amounted to 31.61% IACS. Keywords: Aluminum clad 2024 alloy, Precipitation treatment (natural aging), Mechanical properties, Electrical conductivity, Microstructure

Abstrak

Aluminium adalah salah satu jenis logam yang keberadaannya paling banyak di kerak bumi. Jenis logam ini banyak dipadukan dengan unsur lain untuk dapat meningkatkan kekuatan dari aluminium, sehingga aluminium digolongkan sebagai salah satu unsur terbanyak setelah oksigen (45,5%) dan silikon (25,7%). Paduan aluminium clad 2024 adalah salah satu jenis paduan aluminium yang banyak diaplikasikan pada doubler pesawat terbang. Serangkaian proses heat treatment paduan aluminium clad 2024 T0 menjadi kondisi T42 meliputi proses solution treatment dengan quenching menggunakan media pendingin air dengan maksimum delay selama 10 second dan precipitation treatment dengan variasi waktu natural aging untuk mengoptimalkan sifat mekanik dari paduan aluminium clad 2024 T42. Natural aging adalah salah satu proses precipitation treatment yang dilakukan pada suhu ruang dengan tujuan untuk membentuk presipitat yang dapat meningkatkan sifat mekanik dari paduan aluminium. Paduan aluminium clad 2024 T42 disimpan pada suhu ruang dengan variasi waktu proses natural aging selama 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 96 jam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu proses precipitation treatment terhadap sifat mekanik dan konduktivitas listrik dari paduan aluminium clad 2024 kondisi T42 dan mengetahui waktu optimum dimana sifat mekanik dalam keadaan stabil untuk efisiensi kerja produksi. Dan menganalisa struktur mikro dari paduan aluminium clad 2024 kondisi T42 yang telah mengalami proses heat treatment (precipitation treatment). Dan metode pengujian yang dilakukan secara langsung di PT GMF Aeroasia Tbk meliputi uji tarik, uji kekerasan, uji konduktivitas listrik dan uji struktur mikro. Berdasarkan hasil penelitian ini, waktu precipitation treatment (natural aging) yang efisien yaitu selama 48 jam dengan

menghasilkan kekuatan tarik 492,88 MPa, kekuatan luluh 335,26 MPa, elongasi 12,51 %, nilai kekerasan sebesar 62,16 HRB dan nilai konduktivitas listrik sebesar 31,61 %IACS.

Kata kunci: Paduan aluminium clad 2024, Precipitation treatment (natural aging), Sifat mekanik, Konduktivitas listrik, Struktur mikro.

I. Pendahuluan

Aluminium (Al) merupakan salah satu jenis logam yang paling banyak di kerak bumi. Al yang ada di bumi banyak digunakan karena memiliki sifat-sifat dasar yang penting yaitu ringan, tahan korosi, penghantar listrik dan panas yang baik, mudah difabrikasi, dan aluminium juga banyak diaplikasikan sebagai material teknik. Sebanyak 8,3% dari seluruh masa padat yang ada pada kerak bumi merupakan Al, sehingga Al digolongkan sebagai salah satu unsur terbanyak setelah oksigen (45,5%) dan silikon (25,7%). Paduan Al terdiri dari beberapa seri. Seri tersebut merepresentasikan banyaknya kandungan dari unsur paduan dan aluminium itu sendiri.

Salah satu seri paduannya adalah Al clad seri 2024 dimana seri paduan ini didominasi dengan paduan unsur tembaga yang banyak diaplikasikan pada doubler pesawat. Mengoptimalkan sifat mekanik pada paduan Al clad seri 2024 dapat dilakukan dengan menggunakan proses heat treatment. Serangkaian proses *heat treatment* meliputi *solution treatment*, *quenching*, dan *precipitation treatment* untuk mendapatkan kondisi akhir yaitu T42.

Berdasarkan aturan perbaikan pesawat Boeing 737-800 di PT GMF-Aeroasia Tbk. yang mengacu pada BAC5602 untuk mendapatkan sifat mekanik paduan aluminium yang sesuai dengan kondisi tersebut, perlu dilakukan proses precipitation treatment selama empat hari. Melihat waktu proses precipitation treatment yang tidak sebentar, membuat proses produksi menjadi tidak efisien. Banyak komponen pesawat B737-800 yang dibuat tetapi waktu pembuatannya melewati batas waktu maintenance yang ditentukan.

II. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif. Pengambilan data dilakukan dengan cara observasi dan interview. Observasi melalui akses internet untuk mencari data-data yang dibutuhkan serta dari data penelitian di PT GMF Aeroasia yang berkaitan dengan topik yang dibahas. Interview dengan pengumpulan data informasi penulis dengan cara pengamatan secara langsung ke lapangan.

Data dikumpulkan sejak bulan Juni 2021 di PT GMF AeroAsia, Jl. GMF Aeroasia, RT.001/RW.010, Pajang, Benda, Kota Tangerang, Banten. Kemudian, dilakukan pengujian dari data tersebut.

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Aluminium clad 2024 T0 ketebalan 0.071 inch - PN : AMS4461-0.071. Digunakan sebagai bahan untuk membuat spesimen pengujian.



Gambar 1. Aluminium clad 2024 T0 0.071 inch

- b) Furnace - PN : SAKAE SM-ELC-AD. Digunakan untuk melakukan proses heat treatment.



Gambar 2. Furnace

Spesifikasinya dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Spesifikasi Furnace	
Furnace SAKAE SM-ELC-AD	
1	Dimensi dalam Lebar 2165 mm x Kedalaman 1200 mm x Tinggi 1600 mm
2	Sensor termokopel proses industri
3	Kontrol pemanasan proporsional penuh oleh SCR Power Regulator
4	Dumper udara dapat disesuaikan secara manual

c) Tensile Tester - PN : GT-7001-LC50. Digunakan untuk menentukan nilai uji tarik dari spesimen.



Gambar 3. Tensile Tester

Spesifikasinya dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2. Tensile Tester	
Tensile Tester GT-7001-LC50	
1	Capacity 500 kN
2	Speed 0.01 - 70 mm/min
3	Display metode by computer
4	Load resolution 1/500000
5	Load akurasi ±1%
6	Driving metode by hydraulic system

d) Rockwell Hardness Tester - PN : HR 400. Digunakan untuk menentukan nilai uji kekerasan dari spesimen.



Gambar 4. Rockwell Hardness Tester

Spesifikasinya dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3. Spesifikasi Hardness Tester	
Rockwell Hardness Tester HR 400	
1	Standard JIS B 7726 ISO6508-2
2	Dimensions 235(W) x 516 (D) x 780(H) mm
3	Minimum reading 0.1HR indication.
4	Total test force duration 3-60s setting or manual operation
5	Maximum specimen height 180 mm
6	Maximum specimen depth 165 mm

e) Conductivity Tester - PN : Sigmatest 2.069. Digunakan untuk menentukan nilai uji konduktivitas dari spesimen.

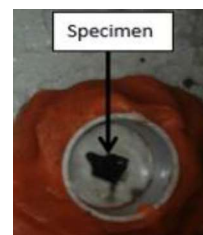


Gambar 5. Conductivity Tester

Spesifikasinya dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. Spesifikasi Hardness Tester	
Conductivity Tester Sigmatest 2.069.	
1	Range from 0.5 to 65 μm (1% to 112% IACS)
2	Distance correction up to 500 μm (0.02 inch)
3	Memiliki variasi frekuensi (60 / 120 / 240 / 480 / 960 kHz)
4	Remote control via RS-232 interface
5	Data transfer to PC-based applications via compact flash card

f) Cetakan Mounting - PN : GMF/0014-TV. Digunakan untuk membuat mounting spesimen pengujian struktur mikro



g) Resin - PN : AW106HV953UCAN. Digunakan sebagai bahan pembuatan

mounting spesimen untuk pengujian struktur mikro..



Gambar 7. Resin

- h) Microscope Optic Olympus - PN : OLYMPUS U-TV-5C-3. Digunakan untuk melakukan pengujian struktur mikro dari spesimen.



Gambar 8. Microscope Optic Olympus

Spesifikasinya dapat dilihat pada tabel berikut ini:

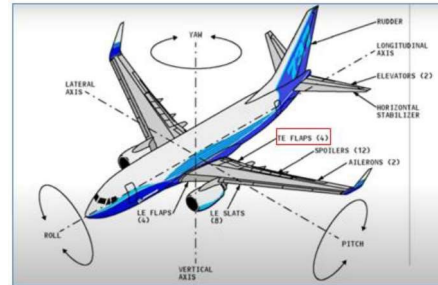
Tabel 5. Spesifikasi Microscope Optic Olympus

Microscope Optic Olympus OLYMPUS U-TV-5C-3.	
1	Head Trinocular, 30 inclined and rotatable 360
2	Eyepieces: 10x/20mm FOV
3	Nosepiece: Reversed, quadruple
4	Plan Achromat 4x, 10x, 40x, or 4x,10x, 40x, & 100x Oil
5	Stage Rackles mechanical stage
6	Abbe condenser : NA1.25/ W.D.- (4 X- 100 X)
7	Interpupillary adjustment 48-75 mm

- i) Struktur Doubler Leading Edge Inboard Flap Boeing 737-800.

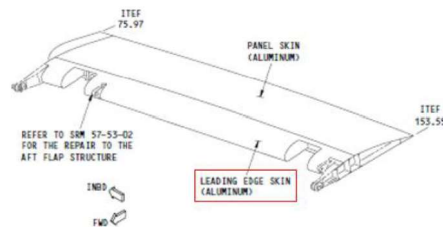
Penggunaan doubler membutuhkan pemilihan material yang sesuai dengan kebutuhan sifat mekaniknya dan seringkali menggunakan material yang sama dengan komponen ata strukturnya. Pada pesawat B737-800 material yang digunakan seperti aluminium terlebih dahulu di *heat*

treatment untuk menaikkan kekerasan dan kekuatannya. Pada proses *heat treatment* untuk kasus *doubler* di pesawat Boeing standar yang digunakan adalah BAC 5602 dan BAC 5694 untuk standar uji keras.



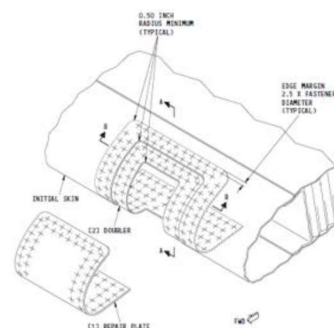
Gambar 9. General View Struktur Leading Edge Inboard Flap

Detail view untuk struktur *Leading Edge Inboard Flap*:



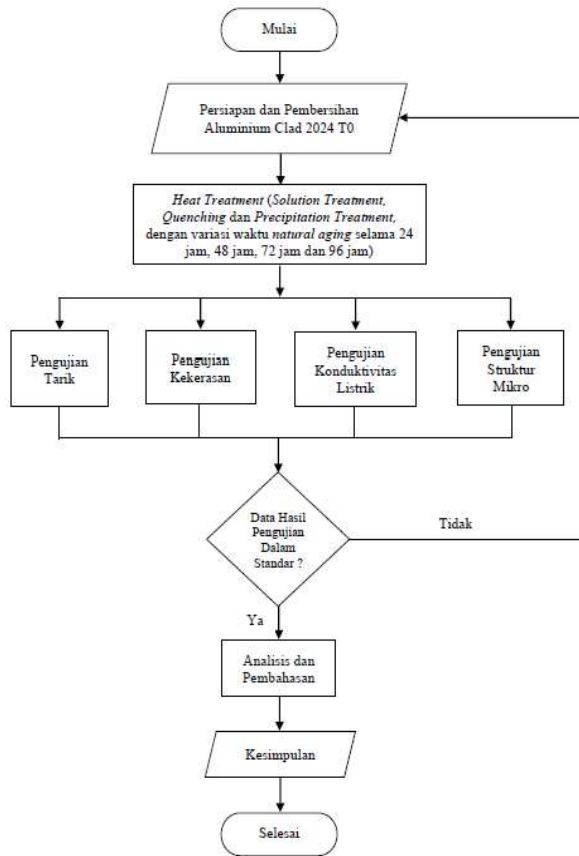
Gambar 10. Struktur *Leading Edge Inboard Flap*

Detail view untuk *Doubler Leading Edge Inboard Flap*:



Gambar 11. *Doubler Leading Edge Inboard Flap*

Langkah diagram Alir Penelitian dapat dilihat pada Gambar 12 sebagai berikut:



Gambar 12. Diagram Alir Penelitian

III. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan variasi berupa waktu proses *heat treatment* (*natural aging*) yaitu 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam. Spesimen yang sebelumnya telah diberi perlakuan *solution treatment* menggunakan suhu 920 T selama 45 menit dengan *quenching* menggunakan media pendingin air dengan maksimum *delay* selama 10 second. Kemudian dibiarkan di udara terbuka pada suhu ruang yang dimana perlakuan tersebutlah yang disebut dengan proses *natural aging*. (Sumber: *Boeing Specification of BAC5602 - Heat Treatment of Aluminum Alloys. Rev: (AG) 28-Jun-2019*).

Setelah dilakukannya proses *natural aging* selama variasi waktu tersebut, spesimen dilakukan uji tarik untuk mengetahui sifat mekanik material yang meliputi kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan elongasi dari spesimen. (Sumber : Callister, 1991).

Proses *heat treatment* pada dasarnya tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik material tetapi juga kekerasan dan konduktivitas listrik. (Sumber: *ASM*

Handbook, Volume 2 1990 and Nunes, 2001).

3.1 Pengaruh Waktu Proses *Precipitation Treatment* Terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik Dari Paduan Aluminium Clad 2024 Kondisi T42.

Data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 6. Dari pengujian tarik didapatkan nilai tensile strength, yield strength, elongation after fracture, uji kekerasan dan uji konduktivitas listrik pada setiap spesimen paduan aluminium clad 2024 T42.

Tabel 6. Data pengujian aluminium clad 2024 T42

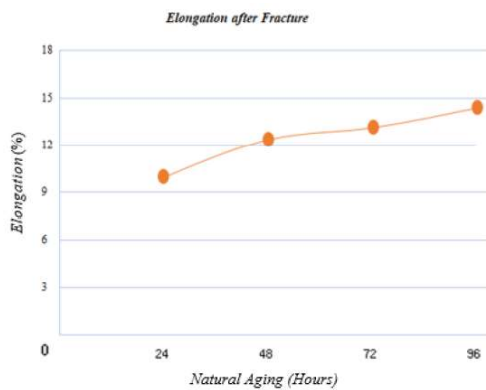
No	Pengujian yang dilakukan	Data	Hasil Pengujian dengan Variasi Waktu Natural Aging				Standar	
			24 jam	48 jam	72 jam	96 jam	Minimal	Standar
1		σ_{ut} (MPa)	426,79	492,88	499,26	507,79	Minimal 415	ASM Handbook
2		σ_y (MPa)	263,03	335,26	339,59	344,37	Minimal 250	Volume 2
3	Uji tarik	Elongation after fracture (%)	10,02	12,51	13,81	14,75	12-15%	(Rafael et al., 1990)
4	Uji Kekerasan	Hardness (HRB)	55,64	62,16	63,58	65,36	57-83,5%	
5	Uji Konduktivitas Listrik	Conductivity (%IACS)	33,92	31,61	31,08	30,01	28,5-32	Document BAC 5946

Berdasarkan Tabel 6 nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh masih masuk dalam batas standar ASM Handbook Volume 2, 1990. Dengan standar minimal untuk nilai kekuatan tarik sebesar 415 MPa dan kekuatan luluh minimal sebesar 250 MPa. Besarnya nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh pada spesimen terus meningkat dari waktu natural aging selama 24 jam sampai 96 jam dan mulai stabil pada waktu natural aging selama 48 jam ke 72 jam, karena dari hasil nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh terlihat tidak ada perubahan yang cukup besar. Seiring berjalannya waktu natural aging, presipitat yang terbentuk akan semakin banyak dan merata penyebarannya. Hal tersebutlah yang membuat terhambatnya dislokasi dan meningkatkan nilai dari kekuatan tarik dan kekuatan luluh dari material tersebut. Grafik Uji tarik juga dapat dilihat pada gambar berikut ini:



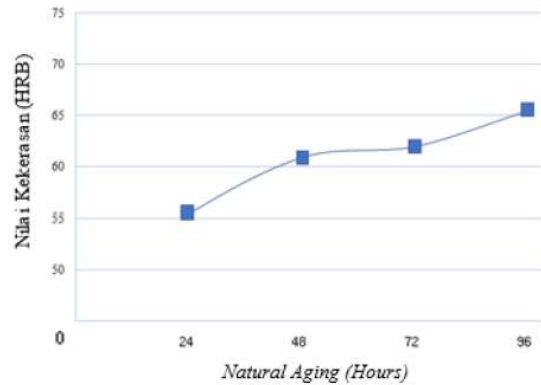
Gambar 13. Grafik Ultimate Tensile Strength dan Yield Strength

Sedangkan untuk melihat grafik elongationnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



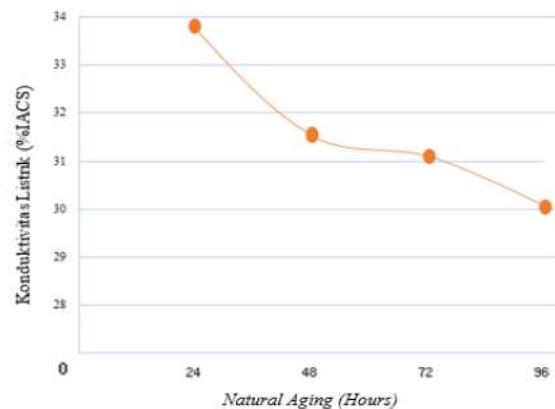
Gambar 14. Grafik Nilai Elongation after Fracture.

Kemudian standar nilai kekerasan berdasarkan Boeing BAC5946 untuk spesimen yang diuji adalah 57-83,5 HRB. Dengan demikian, spesimen yang memiliki nilai kekerasan yang diizinkan yaitu pada proses perlakuan heat treatment dengan waktu natural aging selama 48 jam hingga 96 jam. Bahwa pada dasarnya semakin lama proses natural aging, presipitat yang terbentuk akan semakin banyak. Presipitat sendiri merupakan cacat kisi berbentuk partikel - partikel halus yang terdistribusi merata pada semua bagian paduan aluminium. Terbentuknya presipitat akan membuat terhambatnya gerak dislokasi sehingga semakin banyak presipitat terbentuk, kekerasan dari paduan aluminium akan semakin meningkat. Grafik terkait nilai kekerasan juga dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 15. Grafik Nilai Kekerasan.

Adapun untuk standar nilai konduktivitas listrik berdasarkan standar Boeing BAC5946 adalah 28,5-32% IACS untuk range nilai konduktivitas listriknya. Nilai konduktivitas listrik tertinggi karena tidak ada senyawa lain yang menghambat aliran presipitat pada spesimen. Kemudian spesimen dengan waktu natural aging selama 48 jam hingga 96 jam memiliki nilai konduktivitas sesuai dengan standar. Dengan demikian spesimen yang memiliki nilai konduktivitas terendah karena mengalami proses aging. Proses aging menyebabkan timbulnya presipitat sehingga menurunkan nilai konduktivitas listrik. Grafik terkait nilai konduktivitas listrik juga dapat dilihat pada gambar berikut ini:



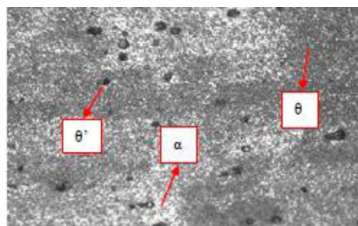
Gambar 16. Grafik Nilai Konduktivitas Listrik.

Adapun untuk standar nilai konduktivitas listrik berdasarkan standar Boeing BAC5946 adalah 28,5-32% IACS untuk range nilai konduktivitas listriknya. Nilai konduktivitas listrik tertinggi karena tidak ada senyawa lain yang menghambat aliran presipitat pada spesimen. Kemudian

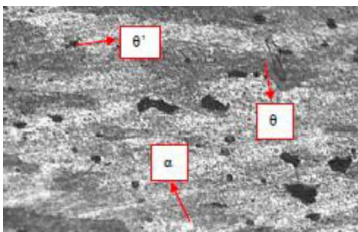
spesimen dengan waktu natural aging selama 48 jam hingga 96 jam memiliki nilai konduktivitas sesuai dengan standar. Dengan demikian spesimen yang memiliki nilai konduktivitas terendah karena mengalami proses aging. Proses aging menyebabkan timbulnya presipitat sehingga menurunkan nilai konduktivitas listrik. Grafik terkait nilai konduktivitas listrik juga dapat dilihat pada gambar berikut ini:

3.2 Pengaruh Waktu Proses Precipitation Treatment Terhadap Struktur Mikro Dari Paduan Aluminium Clad 2024 Kondisi T42

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan gambar dilakukan dengan perbesaran 200X kemudian diambil gambarnya di daerah permukaan yang ingin diamati. Daerah berwarna fasa α , daerah butiran berwarna gelap merupakan presipitat θ , sedangkan daerah berwarna gelap merupakan daerah fasa θ . (Sumber : Al-Baihaqy, 2020).



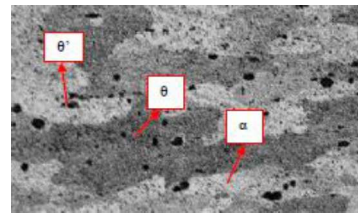
Gambar 17. Struktur Mikro dengan *Natural Aging* selama 24 Jam.



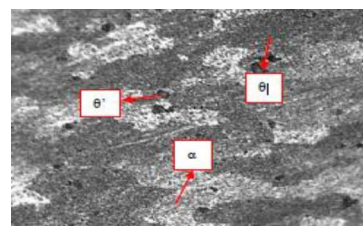
Gambar 18. Struktur Mikro dengan *Natural Aging* selama 48 Jam.

Perubahan struktur mikro dari perlakuan waktu *natural aging* selama 24 jam fasa α menyebar lebih merata. Perubahan terlihat dari semakin banyaknya fasa θ yang terbentuk saat proses *natural aging* selama 48 jam sampai 96 jam, sehingga fasa θ semakin rapat dan menyebar

secara merata pada material. Sehingga, semakin semakin lama waktu *natural aging* menyebabkan struktur mikro yang dihasilkan lebih banyak presipitat (fasa θ).



Gambar 19. Struktur Mikro dengan *Natural Aging* selama 72 Jam.



Gambar 20. Struktur Mikro dengan *Natural Aging* selama 96 Jam.

IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Proses precipitation treatment dengan variasi waktu natural aging memberikan pengaruh terhadap aluminium clad 2024 kondisi T42 yang disebabkan karena, semakin lama waktu precipitation treatment (natural aging) maka sifat tarik, sifat luluh, elongasi dan nilai kekerasannya meningkat tetapi nilai konduktivitasnya menurun. Sehingga didapat waktu yang efisien dalam proses precipitation treatment (natural aging) adalah selama 48 jam, dimana memiliki ultimate tensile strength 492,88 MPa, yield strength 335,26 MPa, elongation 12,51 %, nilai kekerasan 62,16 HRB dan nilai konduktivitas listrik sebesar 31,61% IACS masih dalam batas yang diizinkan berdasarkan ASM Handbook Volume 2 dan BAC 5946.
2. Variasi waktu disetiap spesimen juga memberikan pengaruh terhadap struktur mikro dari aluminium clad terindikasi dilihat dari hasil uji struktur mikro, dimana

fasa tersebut merupakan presipitat yang mempengaruhi sifat mekanik dari paduan aluminium. Semakin lama waktu proses precipitation treatment (natural aging) terbentuk semakin banyak dan persebarannya semakin merata. Hal tersebut menjadi alasan meningkatnya sifat tarik, sifat luluh nilai elongasi dan nilai kekerasan dari aluminium clad 2024 T42.

Daftar Pustaka

- Al Baihaqy, L. H., & Winiasri, L. (2020). Pengaruh *Heat Treatment Dan Quenching* Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Aluminium Alloy 2024-t3. *Jurnal Penelitian*, 5(1), 1-10.
- ASM Handbook, Volume 2 (1990) : *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials ASM Handbook Committee*, p 62-122.
- Boeing Specification of BAC5602 - *Heat Treatment of Aluminum Alloys*. Rev: (AG) 28-Jun- 2019.
- Boeing Specification of BAC5946 - *Temper Inspection of Aluminum Alloys*. Rev: (AA) 09 JUL 2001
- Boeing 737-800 *Structural Repair Manual* 57-53-01 Repair 6. Rev.72 / 10 March 2021
- Caesarti, Astri Widya. Pengaruh *Aging Dan Cladding* Pada Paduan Aluminium 2024 Terhadap Sifat Mekanik, Konduktivitas Listrik Dan Ketahanan Korosi Untuk Aplikasi Skin Wing Pesawat. Diss. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- Callister, W. D. (1991). *Materials Science And Engineering: an Introduction (2nd Edition)*. John Willey and Sons. United State of America. A. International, ASTM E18 Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials.
- El Fakir, Omer, et al. "*Numerical study of the solution heat treatment, forming, and in-die quenching (HFQ) process on AA5754.*" *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 87 (2014): 39-48..
- Ihsan, Emira Eldina., Gusdikal Candra., & Nandi Firdaus (2010). *Aluminium*. 2. 2.
- Jensen., & Chenoweth. (1991). *Applied Strength of Materials, Fourth Edition*. McGraw-Hill. England
- Kumayasari, M. F., & Sultoni, A. I. (2017). Studi Uji Kekerasan *Rockwell Superficial vs Micro Vickers*. 2. 2.
- Mikhaylovskaya, A. V., et al. "*Superplasticity of clad aluminium alloy.*" *Journal of Materials Processing Technology* 243 (2017): 355-364.
- Mulyadewi, Anggraeni. *Pengaruh Waktu Proses Heat Treatment (Natural Aging) Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Paduan Aluminium 2024 Kondisi T3 Menjadi T42 Untuk Pembuatan Komponen Pesawat Terbang*. Diss. Universitas Brawijaya, 2018.
- Murugan, V. K., & Mathews, P. K. (2013). *Effect of tempering behavior on heat treated medium carbon (C 35 Mn 75) steel*. *International Journal of Innovative Research in Science, engineering and technology*, 2(4), 945-9540.
- Nunes, R., Adams, J. H., Ammons, M., & Avery, H.S. (2001). *ASM Handbook Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials*. ASM International. United State of America.
- Purnomo. (2017). *Material Teknik*. CV Seribu Bintang. Malang.
- Rifai, Damhuji, et al. "*Investigation the effect of heat treatment on brass defect measurement using Eddy Current Testing.*" *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1874. No. 1. IOP Publishing, 2021.
- Rochman, R., Hariyati, P., & Purbo, C. (2010). *Karakterisasi Sifat Mekanik dan Pembentukan Fasa*

*Presipitat pada Aluminium Alloy
2024 T 81 Akibat Perlakuan
Penuaan.* 8. 2

- Sofyan, Bondan T. (2010). *Pengantar Material Teknik*. Salemba Teknika. Jakarta.
- Sumanto, Ruwana Iftitah, and I. Nyoman Sudiasa. "Pengaruh Elastisitas dan Kekerasan Terhadap Konduktivitas Listrik Untuk Aluminium Alloy 2024." *JURNAL FLYWHEEL 8.1* (2017): 45-50.
- Surdia, T., & Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan 4, Pradnya Paramita, Jakarta. Wessel, J.K. (2004). *Handbook of Advanced Materials*, Wiley-Interscience, USA..
- Van Vlack; Djaprie, S., 1992, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, PT. Erlangga, Jakarta.