

ANALISIS STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK PADUAN AL 2014 HASIL PROSES AGING DENGAN VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN

Muhammad Didi Endah Pranata¹⁾, Alfirano¹⁾, Jajat Mujiat²⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

²⁾ PT. Dirgantara Indonesia (Persero)

email: anginbelantara@gmail.com, alfirano@ft-untirta.ac.id, jajat_m@indonesian-aerospace.com

Abstrak

Paduan Aluminium banyak digunakan pada industri manufaktur dirgantara sebagai bahan struktur karena sifatnya yang ringan dan kuat. Banyak penelitian yang sudah dilakukan terkait dengan aluminium seri 2xxx, namun masih sedikit yang meneliti tentang Al 2014. Al 2014 merupakan salah satu bahan baku yang digunakan sebagai skin wing. Sebelum diaplikasikan, Al 2014 harus mengalami proses heat Treatment yaitu natural aging yang membutuhkan waktu selama 96 jam untuk mendapatkan sifat mekanik yang optimum. Penelitian dilakukan untuk menganalisis perubahan struktur mikro, mendapatkan kombinasi waktu tahan dan temperatur aging paduan Al 2014. Paduan Al 2014 hasil fabrikasi dilakukan proses Solution Heat Treatment pada temperatur 500°C dengan waktu tahan 25 menit. Proses dilanjutkan dengan Quenching dengan media air kemudian dilakukan pemanasan aging pada berbagai temperatur dan waktu tahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur aging dapat mempercepat laju pengintian dan pertumbuhan presipitat. Hal ini ditunjukkan dengan singkatnya waktu yang dibutuhkan paduan untuk mencapai kekerasan optimum sebesar 152.62 VHN pada temperatur 180°C dengan waktu tahan 8 jam. Hal ini sesuai dengan uji metalografi dan SEM-EDS yang menunjukkan terbentuknya presipitat yang halus, rapat dan seragam. Adapun nilai kuat tarik paduan Al 2014 pada kondisi optimum yaitu sebesar 45.485 Kgf/mm².

Kata Kunci: aluminium paduan 2014, Solution Heat Treatment, penuaan, presipitat

I. PENDAHULUAN

Aluminium adalah bahan pembuat komponen pesawat terbang, yang memanfaatkan sifat ringan dan kuatnya. Kedua sifat tersebut merupakan syarat utama suatu material dapat dijadikan bahan dasar struktur pesawat terbang. Terdapat beragam paduan aluminium, namun seri 2014 merupakan paduan kedua terbanyak yang dipergunakan pada hampir keseluruhan rangka pesawat terbang yang diproduksi oleh PT. Dirgantara Indonesia, setelah seri 7075^[1].

Paduan aluminium tersebut membutuhkan beberapa proses untuk meningkatkan kekuatan material sebelum dipergunakan sebagai bahan struktur pesawat terbang. Salah satu cara yang dapat ditempuh untuk meningkatkan kekuatan suatu paduan logam, yaitu melalui proses perlakuan panas (heat treatment). Harendranath melakukan penelitian yang menyimpulkan bahwa perlakuan aging hanya menambah kekerasannya, yang berakibat pada penurunan keuletan material sehingga sukar dibentuk^[2].

Penelitian tentang pengaruh temperatur aging dan orientasi butiran terhadap sifat mekanis Al2014 juga dilakukan

oleh Korda dan Taufik. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa peningkatan temperatur aging dapat mempercepat laju pengintian dan pertumbuhan presipitat^[3].

Hal ini ditunjukkan dengan singkatnya waktu yang dibutuhkan paduan untuk mencapai kekerasan optimum. Hal ini sesuai dengan hasil uji metalografi yang menunjukkan perubahan ukuran klaster presipitat yang berpengaruh terhadap kekuatan paduan. Ketahanan suatu material terhadap gaya dipengaruhi oleh jumlah presipitat yang terbentuk pada paduan. Dalam hal ini dapat mempengaruhi nilai kekuatan dan kekerasan material. Dengan menggunakan *artificial aging* dengan pemilihan waktu yang tepat akan menghasilkan kekuatan mekanik yang maksimal^[4].

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh temperatur dan waktu tahan aging terhadap struktur mikro dan sifat mekanis (kekerasan dan kekuatan) pada paduan Al 2014. Dari hasil penelitian dapat direkomendasikan temperatur dan waktu tahan aging yang optimum paduan Al 2014.

II. TEORI DASAR

Penamaan untuk sistem standar paduan aluminium yang digunakan dalam pemenuhan berbagai kebutuhan, berikut akan disampaikan detail penjelasan mengenai tiap golongan aluminium tersebut antara lain:

2.1 Wrought Alloys dan Casting Alloys

Suatu produk hasil dari proses pembuatan logam aluminium serta kemudian dipadu menggunakan unsur tertentu pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua golongan yang tentunya memiliki aplikasi yang berbeda. Golongan pertama adalah *wrought Alloys* yang merupakan bentuk fisik aluminium setelah proses biasanya dicetak dalam bentuk ingot. Setelah pencetakan, paduan akan dibentuk sesuai dengan kebutuhan melalui proses pembentukan secara fisik misalnya *rolling*, *forging*, dsb untuk memperoleh bentuk tertentu. Golongan kedua adalah *casting alloys* yaitu golongan paduan dimana paduan aluminium secara langsung dicetak menjadi bentuk yang diinginkan tanpa melalui proses pembentukan fisik terlebih dahulu.

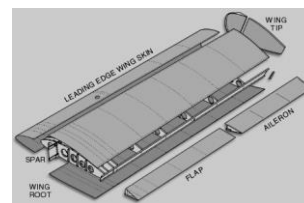
2.2 Non-heat treatable alloys dan Heat treatable alloys

Paduan aluminium dengan unsur pemuad tertentu tentunya akan menghasilkan sifat yang berbeda baik secara fisik maupun kimia. Salah satu perbedaan utama yang dihasilkan atas penambahan beberapa pemuad antara lain kemampuan untuk paduan tersebut diperkuat melalui proses perlakuan panas. Beberapa pemuad menghasilkan paduan yang tidak dapat diperkuat melalui perlakuan panas yang kemudian kita kenal dengan *non-heat treatable alloys*. Untuk kategori ini mekanisme penguatan hanya dapat dilakukan dengan pengerjaan dingin.

Hal ini berbeda untuk beberapa paduan yang menghasilkan *heat treatable alloys* atau paduan yang dapat diperkuat melalui proses perlakuan panas tertentu. Perlakuan panas akan memberikan perubahan pada mikrostruktur sehingga terjadi perubahan sifat mekanik paduan. Selain dapat diperkuat dengan perlakuan panas, pengerjaan dingin juga dapat diberlakukan untuk paduan jenis ini.

2.3 Paduan Aluminium 2014

Paduan Al 2014 merupakan material yang banyak digunakan untuk industri pesawat terbang khususnya untuk *fuselage* dan *leading edge wing skin* dari pesawat terbang Airbus. *Leading edge wing skin* merupakan bagian pertama pada sayap pesawat yang pertama kali terkena aliran udara. *Lead edge* sendiri berfungsi sebagai pemberi gaya angkat pada kecepatan rendah dan memberikan gaya hambat pada saat mendarat [1]. Paduan ini merupakan pengembangan dari paduan Al 2017 hasil modifikasi pemaduan silikon yang menyebabkan Al 2014 lebih sensitif terhadap *artificial aging* [5].



Gambar 1. *Leading Edge Wing*[1]

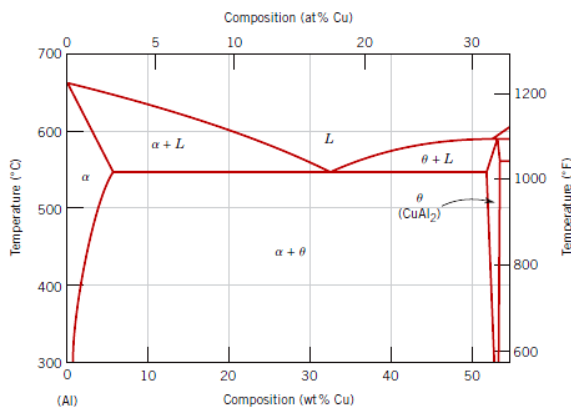
2.4 Perlakuan Panas Aluminium

Paduan Al 2014 merupakan paduan yang *heattreatable* atau dapat diperkuat dengan penuaan. Namun untuk melakukan penuaan atau perlakuan panas presipitasi tersebut diperlukan serangkaian perlakuan panas lainnya, yaitu: perlakuan panas pelarutan (*solution heattreatment*) dan laku panas kejut (*quenching*) [6].

Perubahan yang terjadi pada proses perlakuan panas paduan Al 2014 didasarkan pada kelarutan bahan pemuad, dimana kelarutannya berbanding lurus dengan temperatur. Semakin tinggi temperatur perlakuan panas pelarutannya, maka akan semakin tinggi pula kelarutan unsur pemuad di dalam logam dasarnya [7]. Hal ini dapat dilihat pada diagram fasa paduan Al 2014 dalam Gambar 2.

Bila kemudian paduan didinginkan dengan cepat akan terjadi larutan padat lewat jenuh dengan kandungan bahan pemuad yang lebih besar dari harga kesetimbangannya, sehingga mendorong pembentukan fasa θ (Al_2Cu). Proses perlakuan panas yang dilakukan untuk merekayasa struktur dari paduan Al-Cu dapat dikerjakan dengan

menggunakan panduan dari diagram fasa Al-Cu.



Gambar 2. Diagram Fasa Paduan Al-Cu [5]

2.5 Solution Heat Treatment

Solution heat treatment adalah proses perlakuan panas dimana paduan akan dipanaskan pada temperatur dibawah temperatur eutektik. Proses *solution heat treatment* memiliki tujuan untuk meningkatkan maksimum kelarutan dari senyawa terlarut menjadi larutan padat pada temperatur dibawah temperatur eutektik kemudian ditahan pada durasi yang cukup untuk terbentuknya larutan padat.

Perlakuan panas pelarutan atau lebih dikenal dengan *solution heat-treatment* merupakan langkah awal dalam proses penguatan presipitasi. Fungsi dari perlakuan panas pelarutan adalah untuk memaksimalkan kelarutan unsur-unsur pepadu seperti Cu, Mg, dan Si di dalam matriksnya (aluminium). Semakin tinggi kandungan Cu di dalam matriks, semakin besar *driving force* untuk presipitasi pada suhu yang lebih rendah sehingga sifat mekanisnya menjadi lebih baik. Fasa $CuAl_2$ tidak larut pada suhu tinggi dan dapat terendapkan sebagai presipitat yang dapat meningkatkan kekuatan paduan secara keseluruhan. Perlakuan panas pelarutan Al 2014 dapat dilakukan pada rentang suhu $500^{\circ}C$ hingga $505^{\circ}C$ [8].

2.6 Quenching

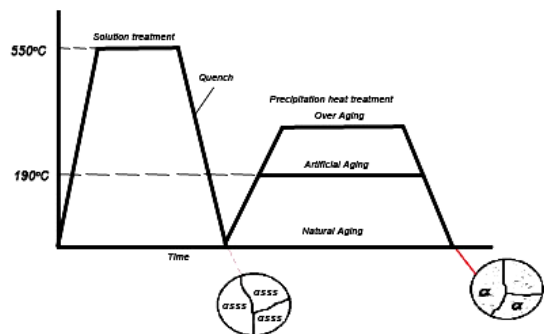
Quenching atau pendinginan kejut merupakan proses lanjutan dari proses *solution heat treatment*. Pada proses *solution heat treatment*, setelah waktu penahanan pada temperatur tertentu tercapai maka untuk mempertahankan *solid solution* tersebut maka paduan akan didinginkan dengan laju yang sangat cepat sehingga atom – atom tidak dapat

berdifusi dan akhirnya akan membentuk *supersaturated solid solution*.

Media dari *quenching* sangat bervariasi menyesuaikan proses yang diinginkan dan pertimbangan teknis lainnya untuk mendukung pencapaian spesifikasi dari paduan yang diproses. Media *quenching* yang paling sering digunakan adalah air. Kecepatan dari pendinginan juga ditentukan oleh konduktivitas dan panas spesifik dari paduan yang diproses. Pendinginan kejut (*quenching*) merupakan tahap kedua pada proses penguatan presipitasi. Saat waktu pendinginan semakin singkat atom-atom unsur pepadu tidak sempat berdifusi ke matriks sehingga menyebabkan matriks dalam keadaan lewat jenuh (*oversaturated*). Semakin besar derajat kelewatjenuhan matriks paduan, semakin besar pula laju pengintiannya [9].

2.7 Presipitat Hardening (Aging)

Aging adalah proses dekomposisi dari senyawa dalam paduan pasca mengalami *quenching* dalam bentuk *supersaturated solid solution*. Hal ini terjadi dikarenakan untuk kondisi *supersaturated solid solution* secara mikro fasa ini tidak stabil sehingga pada waktu tertentu akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi senyawa ini kemudian akan kembali meningkatkan kekuatan dari paduan khususnya untuk aluminium.



Gambar 3. Proses Presipitat Hardening (Aging) [10].

Setelah *solution heat treatment* dan *quenching* tahap selanjutnya dalam proses *age hardening* adalah *aging* atau penuaan. Perubahan sifat-sifat dengan berjalanya waktu pada umumnya dinamakan *aging* atau penuaan. *Aging* sendiri dibagi menjadi tiga tipe yakni *natural aging*, *artificial aging* dan *over aging*. *Natural aging* adalah *aging* yang dilakukan pada temperatur kamar sedangkan *artificial aging* dilakukan pada temperatur tertentu. *Over aging* adalah saat proses

penuaan dilakukan dalam waktu yang terlalu lama atau temperatur terlalu tinggi, pada tahap ini presipitat dan matriks dalam keadaan seimbang. *Over aging* ini dapat menurunkan kekuatan yang telah dicapai sebelumnya. Kondisi *over aging* merupakan kondisi yang tidak diinginkan.

2.8 Mekanisme Penguatan Presipitat

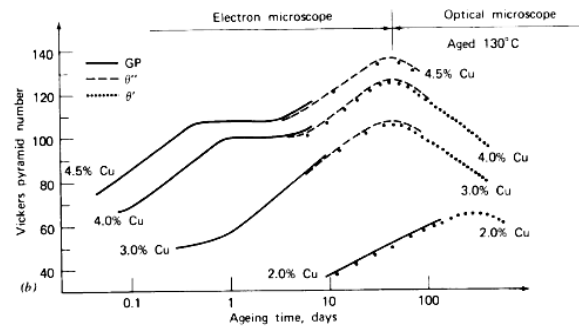
Penguatan presipitasi bertujuan untuk memunculkan fasa-fasa presipitat penguat (fasa kedua) yang tersebar merata di dalam matriks paduan. Dalam proses penguatan presipitasi paduan Al 2014 maupun yang sekelasnya, dapat diidentifikasi lima jenis struktur yang dapat terbentuk, yaitu: GP1, GP2, dan θ'' , θ' , θ (Al_2Cu)^[11].

Jika dianggap sebagai suatu proses maka perubahan fasa dalam matriks paduan Al 2014 ketika diberi perlakuan panas dapat dituliskan sebagai berikut:

Larutan padat lewat jenuh \rightarrow GP1 zone \rightarrow GP2 zone (θ'') \rightarrow θ' \rightarrow θ (Al_2Cu)

Presipitat-presipitat yang tidak berada dalam kesetimbangan (GP1, GP2, dan θ'') merupakan presipitat-presipitat yang koheren. Kehadiran presipitat presipitat tersebut akan meningkatkan kekuatan paduan. Namun apabila telah terbentuk suatu endapan fasa θ yang stabil maka kekuatannya akan turun dan menandakan paduan berada dalam kondisi *over-aged*^[8].

Penguatan tertinggi disebabkan karena kehadiran fasa koheren GP2 (θ''). Pada fasa yang koheren dengan matriksnya, pergerakan dislokasi harus dilakukan dengan memotong presipitat (*dislocation cutting*). Energi yang dibutuhkan untuk melakukan *cutting* cukup besar sehingga dislokasi sulit bergerak dan memberikan penguatan terhadap paduan. proses pembentukan fasa-fasa di atas dapat dijelaskan melalui Gambar 4. Kehadiran fasa θ'' akan menurunkan koherensi antarmuka presipitat dengan matriks. Pada tahap terakhir adalah ketika fasa θ'' bertransformasi menjadi kesetimbangan fasa inkoheren, CuAl_2 (θ). Pada antarmuka yang inkoheren dengan matriksnya, dislokasi tidak akan memotong presipitat, melainkan membusur dan mengitarinya dengan meninggalkan loop dislokasi di sekeliling presipitat tersebut^[9].



Gambar 4. Kurva kekerasan paduan Al-Cu terhadap waktu *aging* pada temperatur *aging* 130 °C^[12].

III METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini sampel berupa plat paduan Al 2014 dalam bentuk spesimen uji tarik ASTM E8 dengan tebal 1 mm sebanyak 36 spesimen. Penelitian ini dimulai dengan proses *Solution Heat Treatment* dengan temperatur 500°C selama 25 menit untuk memaksimalkan kelarutan unsur-unsur pepaduan. Selanjutnya dilakukan *Quenching* dengan air selama 12 detik untuk mendapatkan kondisi optimum bagi pengendapan yang akan dilakukan sesudahnya.

Penelitian dilanjutkan *Artificial Aging* pada temperatur 100, 140, 180 dan 220°C dengan variasi waktu 4, 6, 8, 10 jam. Pengerasan paduan dapat dicapai dengan perlakuan panas presipitasi. Pada proses ini lama pemanasan dan temperatur yang digunakan akan mempengaruhi hasil percobaan. Untuk mengetahui peningkatan kekuatan, kekerasan serta perubahan struktur mikro maka dilakukan pengujian pada sebelum dan sesudah proses perlakuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi. Pengujian yang dilakukan antara lain uji tarik untuk mengetahui kekuatan, uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan yang dihasilkan dari proses. Pengujian metalografi untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada paduan hasil proses *aging*. Pengujian dilakukan menggunakan mikroskop optik dan SEM-EDS HITACHI SU3500.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

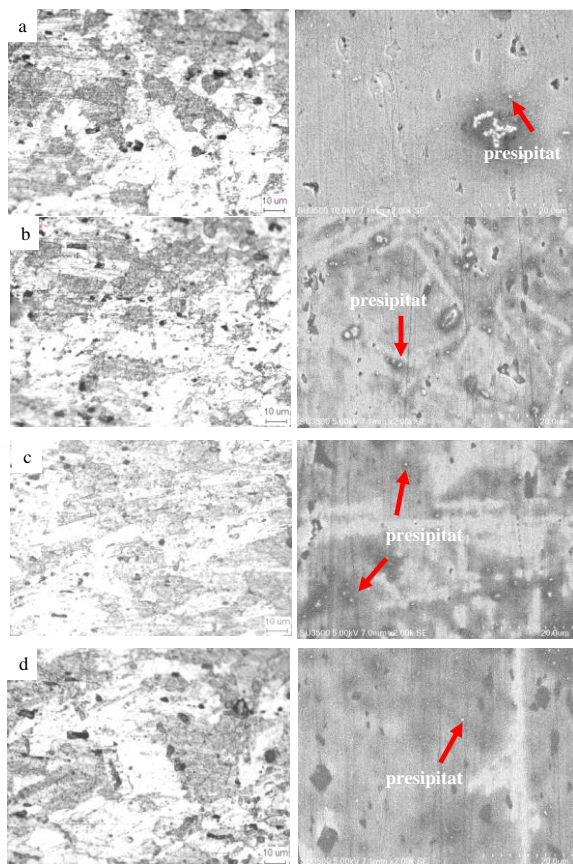
Sampel ini dilakukan preparasi dan proses *heat treatment* berupa *Solution heat treatment*, *quenching* dan *artificial aging* mendapatkan hasil waktu dan temperatur *aging* dengan beberapa variasi temperatur dan waktu tahanan. Adapun komposisi paduan Al 2014 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Paduan Aluminium 2014

Bahan	Kandungan Unsur (%)				
	Cu	Mn	Si	Mg	Zn, Ni, Cr, Pb, & Ti
Al 2014	4.4	0.8	0.8	0.4	<0,5

4.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 1000 kali dan didukung dengan pengamatan menggunakan *Scanning Electron Microscop* (SEM) dengan perbesaran 2000 kali.



Gambar 5 Struktur Mikro Sampel Aging Temperatur 180 °C menggunakan Mikroskop Optik dan SEM dengan Variasi Waktu Tahan: a) 4 jam, b) 6 jam, c) 8 jam dan d) 10 jam

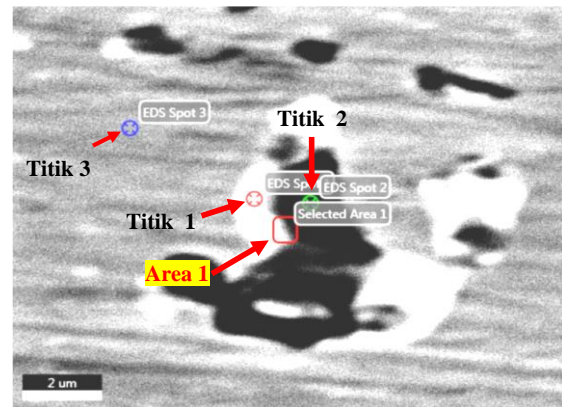
Perlakuan panas *aging* akan membuat sifat mekanik logam menjadi lebih baik. Hal ini dikarenakan perubahan struktur mikro akibat dari pembentukan presipitat [23]. Dari pengamatan struktur mikro dapat dilihat bahwa terjadi perubahan struktur mikro pada paduan aluminium 2014 hasil *aging*. Dibandingkan sebelum dilakukan proses *aging*, struktur mikro mengalami perubahan

ukuran menjadi lebih halus seiring dengan berjalannya waktu pemanasan.

Gambar 5 menyajikan hasil pengamatan struktur mikro paduan Al 2014 hasil proses *aging* pada temperatur 180°C dengan variasi waktu tahan 4, 6, 8 dan 10 jam. Hasil pengamatan menunjukan perubahan struktur mikro yang terjadi, menghasilkan perubahan jumlah partikel presipitat yang meningkat seiring berlangsungnya waktu tahan. Hal ini terjadi karena presipitat terus terbentuk pada temperatur 180 °C seiring dengan berjalannya waktu tahan yang berlangsung pada proses *aging*.

Fasa-fasa koheren GP1 dan GP2 (θ'') lebih banyak terbentuk pada temperatur *aging* yang lebih rendah. Fasa-fasa yang koheren ini memberikan kontribusi lebih baik terhadap penguatan Al 2014 karena ketika suatu kisi presipitat koheren dengan matriksnya, dislokasi akan lebih sulit untuk bergerak^[9].

Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dapat dilihat bahwa presipitat yang terbentuk pada logam Aluminium paduan 2014 semakin bertambah seiring dengan berjalannya waktu *aging*.



Gambar 6 Hasil Pengamatan Presipitat

Tabel 2. Persen Atom Hasil Pengamatan Presipitat

Unsur	% atom			
	1	2	3	Area 1
Al	89.88	82.19	95.55	78.6
Cu	7.31	13.42	1.59	18.03
Si	0.97	2.11	1.19	1.58
Mg	1.72	1.95	1.49	1.57
Mn	0.1	0.3	0.16	0.18

Pada temperatur 180⁰ C dengan waktu tahan 8 jam terdapat pembentukan persipitat yang cukup rapat dan banyak sehingga membuat sifat mekanis logam Aluminium paduan 2014 menjadi naik dan berada pada nilai optimum. Ini disebabkan karena persipitat yang terbentuk semakin banyak dan ukuran yang kecil.

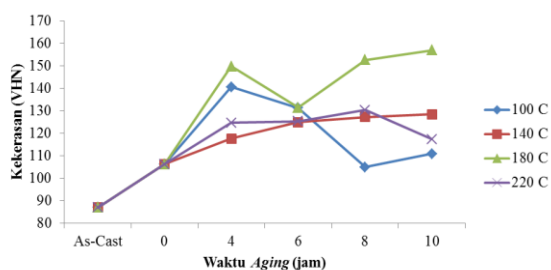
Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan SEM-EDS dapat diketahui bahwa persipitat yang terbentuk adalah θ'' yang memiliki komposisi 18,03% atom Cu. Hal ini sesuai dengan komposisi yang dimiliki oleh persipitat θ'' yang memiliki $\pm 17\%$ atom Cu [6]. Persipitat ini yang dapat menyebabkan sifat mekanik paduan Al 2014 berada pada kondisi optimum.

4.2 Hasil Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan sebanyak tiga titik pada setiap sampelnya. Dari ketiga hasil uji kekerasan tersebut dihitung rata-rata yang ditulis dalam skala VHN (*Vickers Hardness Number*). Uji kekerasan dilakukan dari *As-Cast*, *Solution Treatment* dan proses *aging* dengan variasi temperatur dan waktu tahan.

Tabel 3. Hasil Uji Kekerasan

Waktu Tahan (jam)	Nilai Kekerasan Tiap Temperatur (VHN)			
	100 °C	140 °C	180 °C	220 °C
<i>Solution Heattreatment</i>	106.3	106.3	106.3	106.3
4	140.62	117.69	149.72	124.64
6	131.3	124.89	131.43	125.31
8	104.99	127.29	152.64	130.41
10	110.89	128.52	156.89	117.34



Gambar 7. Grafik Rata-rata Nilai Kekerasan Paduan Al 2014 dengan Variasi Waktu Tahan dan Temperatur Proses *Aging*.

Gambar 4.6 menyajikan hasil pengujian kekerasan pada paduan Al 2014 dengan variasi temperatur dan waktu tahan proses *aging*. Uji kekerasan dilakukan dari *As-Cast*, *Solution Treatment* dan proses *aging* dengan variasi temperatur dan waktu tahan. Dari grafik dapat dilihat perubahan nilai kekerasan *As-Cast*, *Solution Treatment* dan hasil proses *aging*. Nilai kekerasan yang dihasilkan tiap temperatur berbeda-beda karena perubahan struktur mikro yang terjadi selama proses juga berbeda. Nilai kekerasan paduan Al 2014 pada *As-Cast* sebesar 87.1 VHN dan pada hasil *Solution Treatment* sebesar 106.3 VHN

Pada temperatur 100 °C nilai kekerasan mengalami kenaikan dari nilai kekerasan *As-Cast* dan hasil *Solution Treatment*. Pada waktu tahan 4 jam nilai kekerasan sebesar 140.62 VHN, tapi pada waktu tahan 6 dan 8 jam nilai kekerasan paduan Al 2014 menjadi turun sebesar 131.3 VHN dan 104.9 VHN. Nilai kekerasan meningkat pada waktu tahan 10 jam menjadi 110.89 VHN. Ini disebabkan karena pada proses *aging* belum terbentuk persipitat yang bisa meningkatkan kekerasan. Persipitat mulai terbentuk pada waktu tahan 6, 8 dan 10 jam. Persipitat yang terbentuk sedikit sehingga tidak terlalu mempengaruhi sifat mekanik.

Pada temperatur 140 °C nilai kekerasan yang dihasilkan meningkat seiring dengan perlakuan yang diberikan. Ini dapat dilihat dari hasil kekerasan pada waktu tahan 4 jam sebesar 117.69 VHN terus meningkat sampai waktu tahan 10 jam sebesar 128.52 VHN. Hal ini disebabkan mulai terbentuknya persipitat pada proses *aging* tapi persipitat yang terbentuk masih sedikit.

Pada temperatur 180 °C nilai kekerasan yang meningkat setelah dilakukan proses *aging* dengan waktu tahan 6, 8 dan 10 jam yaitu sebesar 131.43 VHN, 152.64 VHN dan 156.89 VHN. Hal ini terjadi karena terjadi kekerasan meningkat seiring dengan berlangsungnya transformasi fasa metastabil yang terbentuk akibat proses *aging*. Fasa inilah yang membentuk persipitat yang dapat meningkatkan sifat mekanik paduan Al 2014. Berdasarkan hasil pengamatan SEM-EDS, ada indikasi bahwa persipitat yang terbentuk adalah θ'' yang dapat meningkatkan sifat mekanik pada kondisi optimum. Presipitat yang terlarut dalam paduan aluminium, maka

presipitat akan menghambat terjadinya dislokasi yang mengakibatkan terjadinya peningkatan sifat mekanis material tersebut, sehingga gaya yang dibutuhkan untuk mendeformasi material tersebut semakin besar [9].

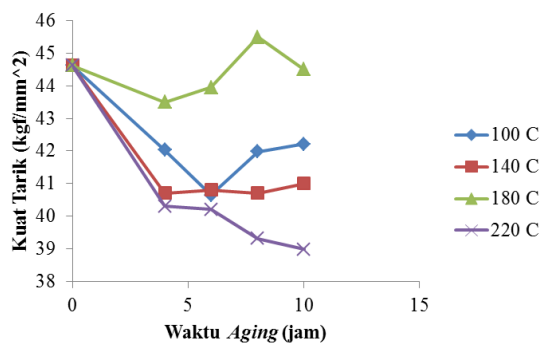
Pada temperatur 220 °C nilai kekerasan terus meningkat seiring dengan berlangsungnya waktu tahan 4 jam sampai 8 jam sebesar 124.64 VHN dan 130.41 VHN. Ini disebabkan karena pengintian yang terjadi dapat membentuk persipitat yang dapat meningkatkan nilai kekerasan pada paduan Al 2014. Tetapi pada waktu tahan 10 jam kekerasan yang dihasilkan menurun menjadi 117.34 VHN. Dalam hal ini ada indikasi bahwa waktu tahan telah memasuki zona *over aging* yang menyebabkan nilai kekerasan menurun. Dari pengujian kuat tarik menghasilkan nilai kekuatan yang terus turun seiring lamanya waktu tahan proses *aging*. Hal ini ada indikasi bahwa adanya perubahan ukuran persipitat yang semakin besar mengakibatkan nilai kuat tarik menjadi semakin turun.

4.3 Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan sebanyak dua kali untuk setiap variable percobaan.

Tabel 4 Data Hasil Pegujian Tarik

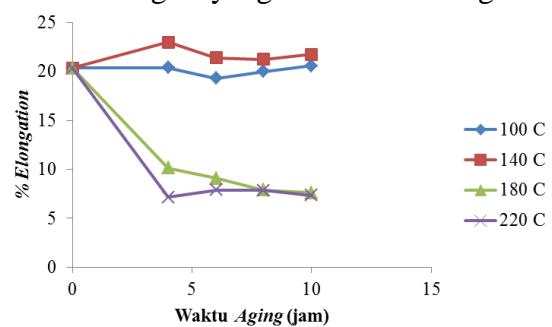
Waktu Tahan (jam)	Nilai Kekuatan Tiap Temperatur (Kgf/mm ²)			
	100 °C	140 °C	180 °C	220 °C
<i>Solution Heattreatment</i>	44.625	44.625	44.625	44.625
4	42.025	40.71	43.495	40.305
6	40.65	40.805	43.95	40.205
8	41.975	40.71	45.485	39.32
10	42.21	41.005	44.495	38.99



Gambar 8 Grafik Hubungan Kekuatan Tarik pada Berbagai Temperatur dengan Variasi Waktu Tahan.

Kekuatan dihitung dengan mengukur lebar dan tebal pada *gage length*, kuat luluh (*yield strength*), kuat tarik (*tensile strength*) dan % elongasi. Data nilai kuat tarik paduan Al 2014 sebelum dan sesudah mengalami proses *artificial aging* untuk berbagai temperatur dan waktu tahan disajikan pada tabel 4 dan gambar 8.

Pada gambar 9 disajikan pengaruh waktu pemanasan terhadap nilai persen elongasi dari variasi percobaan yang telah dilakukan Secara umum, nilai kekuatan akan berbanding terbalik dengan % elongasi pada logam. Semakin kuat logam maka semakin kecil % elongasi yang dimiliki oleh logam



Gambar 9 Grafik Hubungan % Elongasi

Pada temperatur 100 °C persipitat mulai terbentuk pada waktu tahan 6, 8 dan 10 jam. Persipitat yang terbentuk sedikit sehingga tidak terlalu mempengaruhi sifat mekanik. Hal ini juga terjadi pada nilai kekuatan yang dihasilkan. Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik menurun setelah dilakukan aging dengan waktu tahan 4 dan 6 jam yakni sebesar 42.025 Kgf/mm² dan 40.65 Kgf/mm². Tapi pada waktu tahan 8 dan 10 jam kembali meningkat yaitu sebesar 41.97 Kgf/mm² dan 42.21 Kgf/mm².

Pada temperatur 140 °C nilai kuat tarik menurun setelah dilakukan proses aging. Ini disebabkan karena perlakuan panas yang dilakukan pada paduan Al 2014 yang dapat menyebabkan sifat mekanik menjadi turun. Pada temperatur ini juga belum terbentuk persipitat sehingga tidak dapat meningkatkan nilai kuat tarik paduan Al 2014. Nilai kuat tarik menurun pada waktu tahan 4 jam yaitu sebesar 40.71 Kgf/mm² dan rata-rata meningkat seiring dengan lama waktu tahan dengan nilai kuat tarik pada 10 jam sebesar 41.005 Kgf/mm². Hal ini disebabkan karena adanya indikasi bahwa temperatur pemanasan

ini berada dibawah temperatur optimum sehingga laju pengintian mejadi lambat ^[14].

Pada temperatur 180 °C nilai kuat tarik meningkat hingga waktu tahan 8 jam sebesar 45.485 Kgf/mm²,tapi pada waktu penahanan 10 jam kekuatan menurun menjadi 44.5 Kgf/mm². Pada waktu tahan 10 jam mengalami penurunan kuat tarik menjadi 44.5 Kgf/mm² karena penggabungan atau pengerasan persipitat yang menjadi koheren dengan matriknya. Ini sesuai dengan hasil penelitian Rotinsulu, yang menyatakan bahwa pada perlakuan panas Aluminium tercapainya kekerasan optimum pada temperatur *aging* tertentu disebabkan terbentuknya presipitat metastabil yang optimal yang menghalangi pergerakan dislokasi.

Sedangkan jika temperatur *aging* ditingkatkan setelah tercapai titik optimum maka kekerasan dan kekuatan cenderung akan menurun. Hal ini dikarenakan oleh penggabungan atau pengerasan presipitat yang menjadi koheren dengan matriknya. Ini terjadi karena pada temperatur yang lebih tinggi dan waktu tahan lebih lama kemungkinan untuk terbentuknya fasa-fasa koheren semakin kecil dibandingkan fasa-fasa inkoheren, seperti θ' dan θ (CuAl₂). Semakin banyak jumlah fasa inkoheren dalam matriks, maka dislokasi akan semakin mudah bergerak ^[3].

Pada temperatur 220 °C nilai kekuatan terus menurun seiring dengan berlangsungnya waktu tahan 4 jam sampai 8 jam sebesar 40.305 Kgf/mm² menjadi 38.99 Kgf/mm². Hal ini ada indikasi bahwa adanya perubahan ukuran persipitat yang semakin besar mengakibatkan nilai kuat tarik menjadi semakin turun.

Kekuatan dan kekerasan sangat dipengaruhi oleh morfologi endapan (partikel) yang terjadi yakni^[27]:

- a). Partikel halus dengan jarak yang rapat, maka dislokasi sukar bergerak, sehingga diperoleh kekuatan material yang tinggi.
- b). Partikel berukuran sedang dan tersebar pada jarak yang agak jauh, dislokasi relatif mudah bergerak, sehingga kekuatan material menjadi agak rendah.
- c). Partikel besar dan tersebar pada jarak yang sangat jarang, maka dislokasi sangat mudah bergerak, sehingga kekuatan materialnya sangat rendah.

Untuk kriteria minimal sifat mekanik untuk aplikasi paduan Al 2014 sebagai *leading*

edge wing skin, yaitu nilai kekerasan berkisar antara 120 - 160 VHN dan kuat tarik sebesar 42 - 46 Kgf/mm² ^[1]. Temperatur dan waktu tahan kondisi optimum berada pada temperatur 180⁰ C dengan waktu tahan 8 jam karena memiliki nilai kekerasan dan kuat tarik tertinggi dan masuk dalam kriteria minimal. Nilai kekernan dan kuat tarik yang didapat pada kondisi optimum ini sebesar 152.64 VHN dan 45.485 Kgf/mm².

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dalam paduan Al 2014, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil SEM-EDS pada paduan Al 2014 dengan variasi waktu tahan dan temperatur *aging* yang optimum menghasilkan struktur berupa presipitat Al₂Cu dengan fasa θ'' .
2. Nilai kekerasan dan kuat tarik paduan Al 2104 meningkat seiring dengan bertambahnya waktu *aging*. Nilai kekerasan dan kuat tarik optimum pada proses *aging* pada T= 180 dan waktu tahan 8 jam sebesar 152.64 VHN dan 45.485 Kgf/mm².
3. Temperatur dan waktu tahan yang sebaiknya digunakan pada dunia industri untuk mendapatkan sifat mekanik yang optimum yaitu pada T= 180⁰ C dan waktu tahan 8 jam sesuai dengan data minimal yang dibutuhkan untuk kekerasan sebesar 120 – 160 VHN dan kuat tarik sebesar 42.828 – 46.906 Kgf/mm².

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. Dirgantara Indonesia, Bandung
- [2] Harendranath C S, 2002, *Improvement in Fatigue Properties After TMA Treatment*, Trans. IIM 35 415
- [3] Korda, Akhmad A., dan Taufik, Tania.,2010.Studi Pengaruh Temperatur Aging dan Orientasi Butiran Terhadap Sifat Mekanik Paduan Al 2014.Program Studi Teknik Metalurgi ITB.Bandung
- [4] Brook C.R., dkk. 1991. *ASM Handbook vol. 4 Heat Treating*. Detroit: ASM International.De Garmo, E. P. 1997. *Materials and Processes In Manufacturing*. John Wiley and Sons, Inc.
- [5] Hatch, J.E., Ed.,1984. *Aluminum: Properties and Physical Metallurgy*. ASM International. Ohio.

- [6] A.L. Greer, et al., Modelling of Inoculation of Metallic Melts: Application to Grain Refinement of Aluminium by Al-Ti-B, *Acta Materialia*, 48 (2000), p.2823-2835. ASM Handbook. 1991. "Heat Treating Volume 4"
- [7] ASM Handbook. 1990. "Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials"
- [8] Chepko, Corin., Dhanhani, Jaseem., Figueroa, Carlos., Landis Codi. 2000. *An Experimental and Analytical Study of the Properties of Precipitation Hardening Aluminium Alloys*. University of the Pacific School of Engineering, USA
- [9] Porter, D.A., and Easterling, K.E., 1991. *Phase Transformation in Metals and Alloys*, 2nd edition. Chapman & Hall. London.
- [10] E. Totten, George, dan MacKenzie, D. Scott. 2003. *Handbook of Aluminium vol 1 Physical Metallurgy and Processes*. Marcel Dekker, Inc. New York
- [11] Tata Surdia, Shinroku Saito, 2005, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, hal 129-135, 289-32.
- [12] Reed-Hill, R.E. (1973). *Physical Metallurgy Principle, 2nd.ed.* Wadsward, California, 101
- [13] Mursalin, Pratapa S, dan Faisal H, 2009. Pengaruh Perlakuan Panas Aging Terhadap Perilaku Korosi Paduan Aluminium Seri 6061 Dalam Larutan 0,05M HCL. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya-Indonesia
- [14] Porter D.A and K. E Easterling. 1981. *Phase Transformation in Metals and Alloys*. Van Nostrand Reinhold. UK
- [15] Sinaga, Ramli. (1998). Meningkatkan Sifat Mekanik Bahan Aluminium Paduan (Al-Mg-Si). Prosiding Pertemuan Ilmiah Saina Materi III. Serpong-Tangerang