

## Peningkatan Sifat Mekanis Al-Mg-Si dengan Proses *Aging* untuk Aplikasi Selongsong Peluru

Dwita Suastiyanti<sup>1,a)</sup>, Bambang Agus Topan<sup>2,b)</sup>, Marlin Wijaya<sup>3,c)</sup>

<sup>1,2)</sup>Program Studi Teknik Mesin ITI ,  
Jl. Raya Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan-Banten, Indonesia, 15320

<sup>2)</sup>Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)-Puspiptek ,  
Jl. Raya Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan-Banten, Indonesia, 15320

<sup>a)</sup>dwita\_suastiyanti@iti.ac.id, <sup>b)</sup>bambangtopan32@gmail.com, <sup>c)</sup>marlin.wijaya@bppt.go.id

### Abstrak

Aluminium paduan Al-Mg-Si khususnya T6061 merupakan paduan yang pada umumnya diaplikasikan untuk otomotif dan alat-alat konstruksi. Penelitian ini diarahkan untuk peningkatan sifat mekanis khususnya kekerasan material T6061 untuk diaplikasikan sebagai selongsong peluru. Selama ini material untuk selongsong peluru banyak menggunakan kuningan yang mempunyai *density* yang lebih besar daripada aluminium padahal sebagai selongsong peluru diperlukan material yang ringan tetapi kuat sehingga dapat menembakan peluru dengan lancar dan mudah. Untuk peningkatan sifat mekanis dilakukan perlakuan panas *precipitation hardening* melalui proses pemanasan pada temperatur 500°C selama 1 jam kemudian dicelup di dalam air sampai mencapai temperatur kamar, setelah itu untuk peningkatan kekerasan dilakukan proses *aging* (penuaan) pada temperatur 90, 120, 150, 180 dan 210°C masing-masing selama 8,9 dan 10 jam. Karakterisasi aluminium setelah mengalami *precipitation hardening* adalah dengan melakukan pengujian kekerasan metode *Vickers* dan pengamatan struktur mikro. Dari hasil pengujian kekerasan diperoleh hasil bahwa kekerasan terus meningkat mulai dari temperatur *aging* 90°C sampai dengan temperatur *aging* 150°C. Kekerasan maksimum diperoleh pada temperatur *aging* 150°C sebesar 103 HV. Di atas temperatur 150°C terjadi penurunan kekerasan yang menandakan bahwa terjadi *over aging* pada temperatur di atas 150°C yang ditandai dengan makin membesarnya presipitat Mg<sub>2</sub>Si. Kondisi *aging* optimum yang dapat diterapkan untuk *precipitation hardening* T6061 yang diaplikasikan untuk selongsong peluru adalah temperatur *aging* 150°C selama 8, 9 dan 10 jam karena mempunyai nilai kekerasan sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

**Kata kunci:** T6061, *precipitation hardening*, *aging*

### Abstract

*Al-Mg-Si aluminum alloy especially T6061 is an alloy which is generally applied to automotive and construction equipment. This research is aimed at improving the mechanical properties, especially the hardness of the T6061 material to be applied as a bullet cartridge. So far, the material for bullet casings uses a lot of brass which has a greater density than aluminum whereas as bullet casings a light weight but strong material is needed so that it can fire bullets smoothly and easily. To improve the mechanical properties of precipitation hardening heat treatment is carried out through a heating process at a temperature of 500°C for 1 hour then dipped in water until it reaches room temperature, after that to increase the hardness the aging process is carried out at temperatures of 90, 120, 150, 180 and 210°C for 8.9 and 10 hours respectively. The characterization of aluminum after hardening precipitation is by testing the hardness of the Vickers method and observing the microstructure. From the results of the hardness test, it was found that the hardness continued to increase from the aging temperature of 90°C to the temperature of aging 150°C. The maximum hardness is obtained at aging temperature of 150°C of 103 HV. Above the temperature of 150°C there is a decrease in the hardness which indicates that there is over aging at temperatures above 150°C which is characterized by the enlargement of the Mg<sub>2</sub>Si precipitate. The optimum aging condition that can be applied to precipitation hardening T6061 that is applied to cartridge casings is the aging temperature of 150°C for 8, 9 and 10 hours due to having hardness for bullet cartridge*

**Keywords:** T6061, *precipitation hardening*, *aging*

## I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi sekarang ini telah menghasilkan berbagai kreasi dalam segala hal, yang bertujuan untuk memudahkan segala aktifitas manusia. Ada berbagai macam senjata militer yang tersedia, mulai dari senjata api laras pendek, hingga senjata api laras panjang. Komponen dari senjata api yang banyak diproduksi di Indonesia umumnya adalah peluru senjata api. Peluru senjata api diproduksi agar memudahkan pasokan persenjataan militer, maka diharapkan peluru senjata api didesain secara efektif dan efisien serta menggunakan material komponen berkualitas.

Pada proses peledakan yang terjadi di dalam selongsong peluru, tenaga yang dihasilkan oleh bubuk mesiu saat peledakan sangatlah tinggi. Jika selongsong tidak mampu menahan daya ledak dari proses pembakaran tersebut, dapat dipastikan selongsong dapat pecah. Agar tidak terjadi kejadian tersebut maka diharuskan mengetahui kekuatan dari selongsong tersebut dan diperlukan material yang kuat dan ringan. Selongsong juga dimaksimalkan untuk mampu menahan gaya dari pelatuk senapan dan hasil pembakaran bubuk mesiu. Dengan adanya gaya tersebut selongsong harus mampu menerima beban tersebut.

Umumnya selongsong peluru terbuat dari logam paduan kuningan *cartridge brass*, yaitu logam paduan antara unsur tembaga dan seng dengan komposisi 70% tembaga dan 30% seng yang mengalami pengerolan[1]. Akan tetapi kuningan merupakan material yang berat dan tidak mempunyai kekuatan yang memadai untuk menahan daya ledak peluru.

Dari penelitian Widyantoro dan E. Kurniawan (2018) yang melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur *aging* terhadap paduan aluminium seri 6061 terhadap nilai kekerasan dan kekuatan *impact*, ternyata proses *aging* dapat meningkatkan nilai kekerasan, dimana peningkatan maksimum pada temperatur 185°C. Proses *aging* juga dapat meningkatkan kekuatan *impact* pada temperatur 175°C. Temperatur 175°C merupakan temperatur optimum untuk meningkatkan kekuatan *impact*, bila melebihi temperatur tersebut akan mengalami penurunan kekuatan *impact* pada temperatur 185°C[2].

Dari penelitian Hendri Sukma (2018) yang melakukan penelitian tentang pengaruh penuaan terhadap peningkatan kekerasan material komposit aluminium, ternyata terjadi peningkatan nilai kekerasan dengan semakin tingginya temperatur dan lamanya waktu *aging*, nilai kekerasan pada temperatur *aging* 200°C lebih rendah dari pada nilai kekerasan pada temperatur *aging* 180°C dan relatif sama dengan kekerasan pada temperatur *aging* 140°C[3].

Pada penelitian ini, dicoba menggunakan material pengganti kuningan untuk selongsong peluru yaitu aluminium paduan Al-Mg-Si tipe T6061. Untuk peningkatan sifat mekanis T6061 dilakukan dengan proses perlakuan panas *precipitation hardening* yang diawali dengan pemanasan (*solution treatment*) pada 500°C selama 1 jam, kemudian dicelup ke dalam media

air. Peningkatan kekerasan diperoleh melalui proses *aging* setelah pencelupan, yaitu pada temperatur 90, 120, 150 dan 180 dan 210°C masing-masing selama 8, 9 dan 10 jam. Dari parameter-parameter yang digunakan tersebut akan ditentukan kondisi yang paling optimum untuk pencapaian kekerasan T6061 yang sesuai dengan standar kebutuhan selongsong peluru.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Material Aluminium Paduan Al-Mg-Si

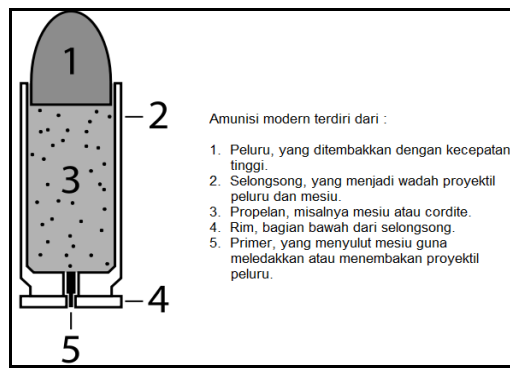
Aluminium paduan merupakan aluminium yang ditambah dengan elemen paduan. Elemen paduan yang biasa digunakan seperti tembaga, magnesium, silikon, seng, bismuth, timbal, boron, nikel, titanium, chromium, vanadium, dan zirconium. Tujuan dari penambahan elemen paduan salah satunya adalah untuk meningkatkan sifat mekanis aluminium. Paduan aluminium dikelompokkan menjadi dua kelompok utama yaitu kelompok produk *casting* dan produk *forging (wrought)*. Jenis aluminium paduan saat ini sangat banyak dan tidak menutup kemungkinan ditemukannya lagi jenis aluminium paduan baru, oleh karena itu dibuatlah sistem penamaan sesuai dengan komposisi dan karakteristik aluminium paduan tersebut untuk memudahkan pengklasifikasiannya. Aluminium paduan diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Standard *Aluminium Association (AA)* di Amerika menggunakan penandaan dengan empat angka.

Paduan Al-Mg-Si mempunyai kekuatan yang kurang baik sebagai bahan tempa dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya. Tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan lain-lain. Salah satu paduan seri 6000 adalah 6061 yang banyak digunakan untuk rangka konstruksi, otomotif dan sekarang banyak diarahkan untuk keperluan ketahanan militer[4,5,6]. Seri 6000 magnesium dan silikon sebagai elemen paduan utama mempunyai sifat antara lain kekuatan sedang, ketahanan korosi yang baik, kemampuan las yang baik, dan kinerja proses yang baik (pembentukan ekstrusi yang mudah).

### B. Selongsong Peluru

Selongsong peluru atau *patrun* adalah benda yang merupakan wadah yang membungkus proyektil peluru dan terdiri dari propelan (biasanya bubuk mesiu), rim, dan primer. Bubuk mesiu berfungsi sebagai pencetus ledakan yang mendorong proyektil peluru dengan energi kinetik. Selongsong peluru secara keadaannya mengunci ruang pembakaran amunisi dari segala arah kecuali pada bagian bawah selongsong. Setelah pelatuk senapan ditarik, pin pemicu tembakan akan memukul primer (Gambar 1) dan memicu percikan api yang terjadi akibat pukulan pin, primer akan membakar gas pada bubuk mesiu. Gas yang terbakar dari bubuk mesiu mendorong proyektil peluru lepas dari selongsong-nya. Setelah peluru terlepas, tekanan pada selongsong akan hilang dan menjadikan selongsong tersebut terlontar keluar dari ruang pembakaran. Persyaratan standar yang ditetapkan

perusahaan untuk sifat mekanis selongsong peluru mengacu pada standar NATO SS109, yaitu 80-95 Hardness Vickers[7]



Gambar 1. Struktur dari Amunisi Peluru

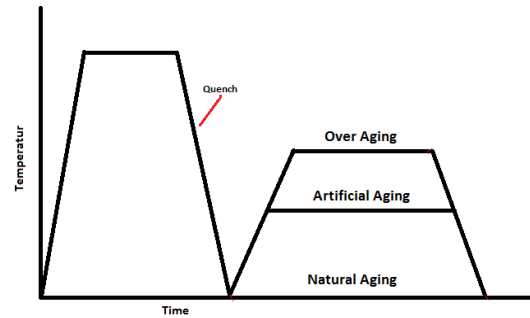
Bahan selongsong (Gambar 2) terbuat dari lembaran kuningan atau tembaga yg di-“punch” (ditekan) dengan menggunakan alat punch. Selongsong peluru adalah benda yang merupakan wadah yang membungkus proyektil atau anak peluru dan terdiri dari propelan (biasanya bubuk mesiu), rim, dan primer. Bubuk mesiu berfungsi sebagai pencetus ledakan yang mendorong proyektil peluru dengan energi kinetik. Selongsong peluru baru di kenal pada penggunaan amunisi senjata api modern. Senapan api jenis awal seperti senapan kopak, senapan lontak atau pemuras belum mengenal penggunaan "selongsong" pada sebuah peluru.



Gambar 2. Selongsong Peluru

C. Perlakuan Panas Aluminium Paduan

Perlakuan panas pada aluminium paduan dikenal dengan nama *precipitation hardening* yang dimulai dengan proses pemanasan (*solution treatment*) kemudian diikuti dengan proses pencelupan dalam media pendingin (air). Setelah itu dilakukan proses *aging* (penuaan) untuk peningkatan kekerasan aluminium paduan. Tidak semua aluminium paduan dapat dilakukan perlakuan panas untuk peningkatan kekerasan/kuatannya. Aluminium paduan yang dapat dilakukan proses perlakuan panas adalah aluminium paduan seri 2xxx, 6xxx dan 7xxx. Tahapan proses perlakuan panas aluminium paduan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahapan Proses Precipitation Hardening

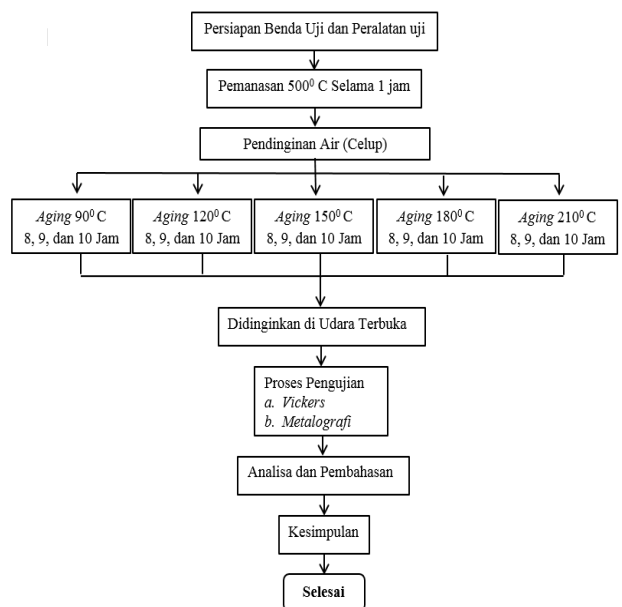
Kondisi *over aging* terjadi jika panas yang diberikan pada saat *aging* berlebihan atau waktu *aging* terlalu lama. Akibat dari kondisi ini adalah terjadi penurunan kekerasan kembali yang diakibatkan endapan  $Mg_2Si$  yang semula halus dan tersebar merata menjadi tumbuh membesar dan terlokalisasi pada tempat tertentu saja.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan persiapan material dan peralatan laboratorium yang diperlukan (*furnace/dapur pemanas, gergaji potong, coolant, stopwatch*) yang diikuti dengan tahap-tahap selanjutnya mengacu pada diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Proses perlakuan panas dilakukan di Laboratorium Rekayasa Material – Institut Teknologi Indonesia dan pengujian karakterisasi sampel dilakukan di B2TKS – Puspiptek Serpong. Material uji T6061 mempunyai komposisi kimia seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Unsur Paduan T6061

Mg	Si	Cu	Cr	Fe	Mn	Zn	Ti	Lain2
0,8-1,2	0,4-0,8	0,15-0,4	0,04-0,35	0,7	0,15	0,25	0,15	<0,15



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Proses pemanasan dilakukan pada temperatur 500°C selama 1 jam dimana pada kondisi temperatur tersebut material berada pada fasa tunggal  $\alpha$ . Proses *aging* dilakukan pada variasi temperatur 90,120,150,180 dan 210°C masing-masing selama 8, 9 dan 10 jam. Karakterisasi dilakukan melalui pengujian kekerasan metode *Vickers* dan pengamatan metalografi untuk mengetahui morfologi dan ukuran presipitat  $Mg_2Si$  yang terbentuk.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

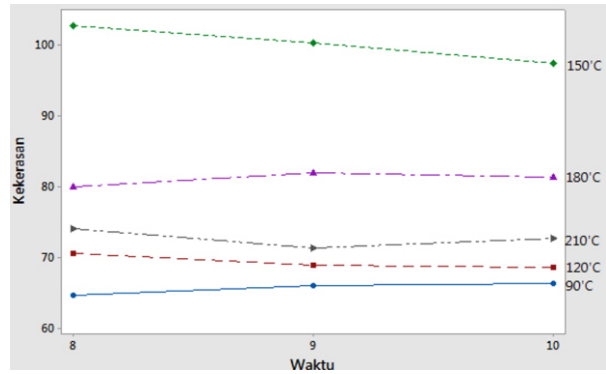
*A. Hasil Uji Kekerasan*

Dari hasil uji kekerasan dengan metode *Vickers* diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

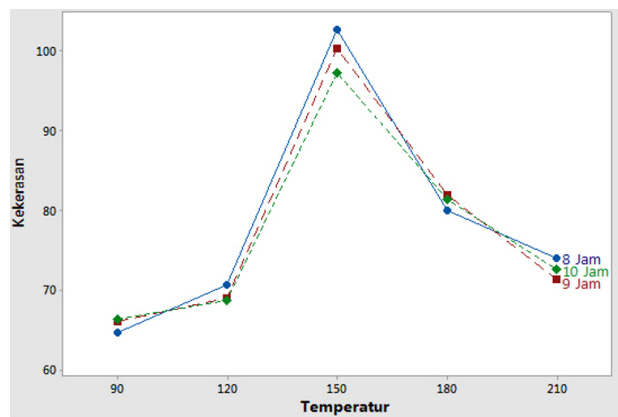
**Tabel 2.** Hasil Uji Kekerasan untuk Semua Parameter *Aging*

No	Waktu (jam)	titik	Temperatur (°C)				
			90	120	150	180	210
Nilai kekerasan awal			50				
1	8	1	66	71	106	80	75
		2	65	71	102	78	75
		3	63	70	100	82	72
	Rata-rata	65	71	103	80	74	
2	9	1	66	69	99	84	72
		2	66	69	102	80	72
		3	66	69	100	82	70
	Rata-rata	66	69	100	82	71	
3	10	1	67	68	99	82	72
		2	66	96	97	82	74
		3	66	69	96	80	72
	Rata-rata	66	67	97	81	73	

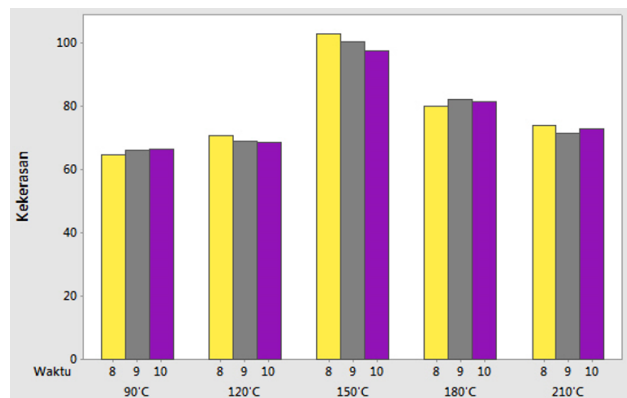
Tabel 2 menunjukkan bahwa makin lama waktu *aging* untuk temperatur *aging* yang sama tidak menunjukkan keteraturan naik dan turunnya nilai kekerasan, akan tetapi perubahan yang signifikan terjadi jika dilihat dari perubahan temperatur *aging*. Pada temperatur *aging* mulai dari 90°C sampai dengan 150°C terlihat adanya peningkatan kekerasan yang signifikan yaitu 65-103 HV untuk waktu *aging* 8 jam, nilai kekerasan 55-100 HV untuk waktu *aging* 9 jam dan nilai kekerasan 66-97 HV untuk waktu *aging* 10 jam. Akan tetapi jika temperatur *aging* dinaikkan menjadi 180°C akan terjadi penurunan kekerasan dari yang sebelumnya demikian pula jika temperatur *aging* dinaikkan kembali menjadi 210°C terjadi penurunan kekerasan dari kekerasan yang diperoleh pada temperatur *aging* 180°C. Fenomena ini yang disebut dengan *over aging* dimana terjadi kelebihan panas akibat temperatur *aging* yang terlalu tinggi. Nilai kekerasan yang dicapai pada setiap temperatur *aging* berkaitan erat dengan morfologi presipitat  $Mg_2Si$  yang terbentuk dan akan dibahas pada hasil pengamatan metalografi. Data-data pada Tabel 1 yang menunjukkan naik turunnya nilai kekerasan dapat diilustrasikan pula dengan grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 5, 6 dan 7.



**Gambar 5.** Pengaruh Waktu *Aging* Terhadap Kekerasan Pada Temperatur *Aging* Yang Berbeda



**Gambar 6.** Pengaruh Temperatur *Aging* Terhadap Kekerasan Pada Waktu *Aging* Yang Berbeda



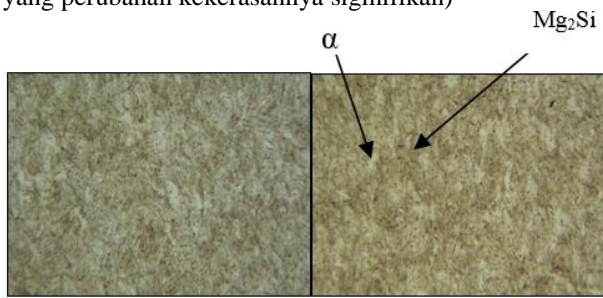
**Gambar 7.** Pengaruh Temperatur dan Waktu *Aging* Terhadap Kekerasan

Secara garis besar, Gambar 5,6 dan 7 menunjukkan bahwa kondisi *over aging* terjadi pada temperatur di atas 150°C dan kekerasan maksimum diperoleh pada temperatur 150°C yaitu 103 HV untuk waktu *aging* 8 jam, 100 HV untuk waktu *aging* 9 jam dan 97 HV untuk waktu *aging* 10 jam.

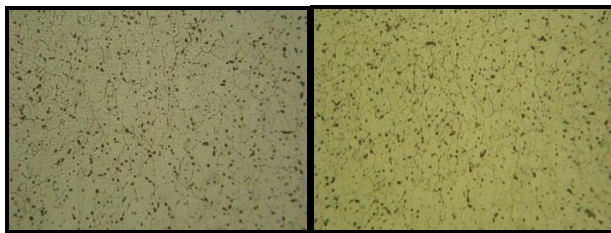
*B. Pengamatan Metalografi*

Dari hasil pengamatan metalografi diperoleh bentuk morfologi presipitat  $Mg_2Si$  untuk kondisi sebelum dan

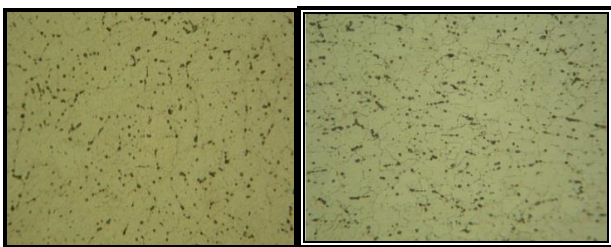
sesudah terjadi *over aging* seperti ditunjukkan pada Gambar 8,9,10 dan 11(diambil contoh beberapa gambar yang perubahan kekerasannya signifikan)



**Gambar 8.** Presipitat  $Mg_2Si$  (daerah gelap) dan  $\alpha$  (daerah terang) Pada Temperatur *Aging*  $90^\circ C$  dan Waktu *Aging* 8, 9 Jam (Kekerasan Terendah)



**Gambar 9.** Presipitat  $Mg_2Si$  dan  $\alpha$  (daerah terang) Pada Temperatur *Aging*  $150^\circ C$  dan Waktu *Aging* 8, 9 Jam (Kekerasan Tertinggi)



**Gambar 10.** Presipitat  $Mg_2Si$  dan  $\alpha$  (daerah terang) Pada Temperatur *Aging*  $180^\circ C$  dan Waktu *Aging* 8, 9 Jam (Kondisi *over aging*)

Kekerasan pada temperatur awal *aging*  $90^\circ C$  menunjukkan nilai yang paling rendah disebabkan karena pada kondisi tersebut diperoleh presipitat  $Mg_2Si$  yang masih kasar (Gambar 8). Ketika temperatur *aging* dinaikkan menjadi  $150^\circ C$  terjadi perubahan ukuran presipitat yang signifikan dimana ukuran presipitat menjadi sangat halus dan terdistribusi merata (Gambar 9). Pada kondisi ini diperoleh nilai kekerasan yang paling tinggi. Akan tetapi jika temperatur *aging* ditingkatkan lagi menjadi  $180^\circ C$  terjadi perubahan ukuran presipitat yaitu lebih besar daripada yang diperoleh pada temperatur *aging*  $150^\circ C$  (Gambar 10). Pada kondisi ini nilai kekerasan menurun dari sebelumnya (temperatur *aging*  $150^\circ C$ ). Fenomena ini yang disebut dengan kondisi *over aging*.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kekerasan maksimum dicapai pada temperatur *aging*  $150^\circ C$  dan waktu *aging* 8 jam yaitu sebesar 103 HV.
2. Terjadi kondisi *over aging* pada temperatur *aging* di atas  $150^\circ C$
3. Pada kondisi nilai kekerasan maksimum, diperoleh ukuran presipitat  $Mg_2Si$  yang paling halus
4. Pada kondisi *over aging*, presipitat  $Mg_2Si$  tumbuh membesar dan lebih besar daripada temperatur *aging* sebelumnya.
5. Parameter yang direkomendasikan untuk diterapkan pada perlakuan panas *precipitation hardening* aluminium T6061 adalah temperatur *aging*  $150^\circ C$  selama 8, 9 dan 10 jam karena pada kondisi tersebut diperoleh nilai kekerasan yang mendekati nilai kekerasan standar (80-95 HV).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi – Puspiptek Serpong yang telah memberikan dukungan finansial baik dalam bentuk penyediaan sampel maupun pengujian/karakterisasi sampel.

## REFERENSI

- [1] I. Basori, B. Sofyan, Initial observation on the characteristics of small caliber cartridge case before and after firing, *Conference Paper Seminar Nasional Mesin dan Teknologi Kejuruan Universitas Negeri Jakarta*, 2015.
- [2] Widyantoro, E. Kurniawan, Pengaruh variasi temperatur *aging* terhadap aluminium 6061 terhadap uji impak, kekerasan dan struktur mikro, *Diploma Thesis, Repository Institut Teknologi Sepuluh November*, 2018
- [3] H. Sukma, D. Rahmalina, E.A. Pane, A. Gantina, Pengaruh proses penuaan untuk meningkatkan kekerasan material komposit matriks aluminium, *Flywheel Jurnal Teknik Mesin Untirta*, Vol. 4, No. 1, 2018, 49-55
- [4] L.A.N. Wibawa, , Disain dan analisis kekuatan rangka meja kerja (workbench) Balai Lapan Garut menggunakan metode elemen hingga, *JTM-ITI (Jurnal Teknik Mesin ITI)*, Vol. 3, No. 1, 2019, 13-17
- [5] A. Naafila, A. Purnowidodo, P.H. Setyarini, Pengaruh waktu solution treatment terhadap kekuatan tarik aluminium paduan AA 7075-T6, *Prosiding Seniati*, Vol. 5, No. 4, 2019, 215-220
- [6] M.A. Qubro, A.M. Sakti, Analisis warna dan kekerasan dari pemberian kadar garam (NaCl) pada proses pengecoran propeller dengan material aluminium (Al 6061), *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, Vol. 6, No. 2, 2017, 44-50
- [7] E. Febriyanti, A. Suhadi, D. Priadi, R. Riastuti, Analisis mampu bentuk bahan baku selongsong amunisi Cu-Zn 70/30 setelah deformasi pada suhu  $500^\circ C$ , *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 2015, Vol.9, No.3.