

Evolusi Mikrostruktur Paduan Al 6061 Hasil Proses Canai Dingin Terhadap Sifat Mekanik

ALI ALHAMIDI¹, M. FITRULLAH², MIRNAWATI DEWI³

^{1,2,3}Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Univ. Sultan Ageng Tirtayasa
ali.alhamidi@ft-untirta.ac.id

ABSTRAK

Paduan Al 6061 diproses canai dengan reduksi 50%, 60% dan 70% selanjutnya di aging pada temperatur 200°C selama variasi waktu 1800, 3600, 5400, 7200 dan 10800 detik. Analisa mikrostruktur dan sifat mekanik dilakukan dengan optikal mikroskop dan Brinell Hardness Test (HBN). Bentuk mikrostruktur menunjukkan bahwa butiran memanjang setelah canai berubah menjadi berbentuk equiaxial. Analisa XRD menunjukkan hadirnya fase ke dua Mg₂Si dan Al₂FeSi nampak dalam peak XRD setelah canai dan aging. Hal ini nampak bahwa kekerasan meningkat dengan meningkatnya waktu aging dan menurun setelah aging selama 7200 detik. Nilai kekerasan tertinggi dicapai sebesar 121 HBN pada sampel yang direduksi 70% dan ading selama 7200 detik. Hal ini menjadi alasan bahwa kekerasan yang tinggi akibat hadirnya fraksi fase kedua setelah aging meningkat.

Kata kunci: canai, aging, fasa kedua, strain hardening, dislokasi

ABSTRACT

The Al 6061 were reduced of 50%, 60% and 70% by using cold roll and aged at 200°C for 1800, 3600, 5400, 7200 and 10800 s. Microstructural and mechanical properties was analysed using optical microstructure and Brinell hardness testing (BHN). Microstructure morphology shows that the elongated grains appear after cold rolling dan equiaxial grains after aging. X-Ray Diffraction (XRD) analysis show that the second phase of Mg₂Si and Al₂FeSi phases appear in Al 6061 after cold rolled and aging. Mechanical properties was measurement using Brinell hardness. The hardness are increased with increasing aged time dan decrease after aging for 7200 s . Highest hardness was achieved of 121 HBN at sample with reduction 70% in thickness and aging for 5400s. The high hardness should be reason due to presence of fraction of second phase after aging.

Keywords: rolling, aging, second phase, strain hardening, dislocation

1. PENDAHULUAN

Aluminium telah digunakan secara luas untuk komponen yang membutuhkan bobot ringan dan ketahanan korosi baik, termasuk dalam komponen industri pesawat terbang. Aluminium telah menjadi material pilihan untuk industri pesawat terbang sejak 1930 [1]. Umumnya, industri pesawat terbang menggunakan Al seri 2xxx dan 7xxx sebagai material untuk kompoen pesawat terbang. Namun sejak Al 6061 menjadi semakin luas aplikasinya dengan banyak keunggulan yang dimiliki seperti mampu bentuk baik, ketahanan korosi baik, mampu las baik, dan harga yang murah, Al 6061 menjadi sebuah alternatif material untuk komponen pesawat terbang, dalam hal ini bagian yang cocok adalah skin pesawat terbang. [1-3]. Tetapi, kelemahan dari Al 6061 dibandingkan dengan Al seri 2xxx dan 7xxx adalah kekuatan yang jauh lebih rendah. Untuk itu, diperlukan prosedur untuk meningkatkan sifat mekanik Al 6061. Dalam rangka mencapai sifat mekanik maksimum, dibutuhkan prosedur perlakuan panas yang cocok. Salah satu metode yang efektif adalah dengan proses canai dingin dan aging. Perlakuan panas adalah salah satu metode alternatif yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanpa proses alloying (pemaduan). Dalam penelitian ini, heat treatment yang digunakan adalah canai dingin dan aging. Proses canai dingin menyebabkan deformasi pada material yang ditandai dengan berkurangnya ketebalan material. Ketika proses deformasi, terjadi pergerakan dislokasi/slip pada internal material. Konsentrasi dislokasi menjadi semakin tinggi, maka sifat mekanik akan meningkat. Berbeda dengan proses canai dingin, penguatan material melalui proses aging, dihasilkan melalui penguatan presipitasi. Mg₂Si adalah presipitat yang terbentuk pada Al 6061 setelah aging. Presipitat ini berperan dalam menghalangi pergerakan dislokasi, sehingga akan meningkatkan sifat mekaniknya. Ketika canai dingin dikombinasikan dengan aging, keduanya akan saling melengkapi satu sama lain.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh proses canai dingin dan aging terhadap mikrostruktur dan sifat mekanik Al 6061. Meskipun proses canai dingin dan aging pada Al 6061 telah banyak diteliti sebelumnya, pemahaman tentang kedua proses ini masih belum lengkap karena komposisi, proses dan parameter yang digunakan berpengaruh terhadap hasil yang didapatkan.

2. METODE PENELITIAN

Material yang digunakan berasal dari sumber X (*as-received*) dengan komposisi sebagaimana Table 1.

Tabel 1. Komposisi kimia Aluminium 6061

Si	Mg	Fe	Cu	Cr	Zn	Ti	Unsur lain	Al
0,63	0,98	0,19	0,18	0,05	0,10	0,08	0,15	Balance

Karakterisasi sampel dilakukan dengan pengamatan metalografi, analisa X-ray Diffraction (XRD), uji kekerasan dan ketahanan aus. Pengamatan metalografi dilakukan dengan mikroskop optik tipe Olympus BX51M. Sebelum dilakukan pengamatan, dilakukan preparasi

material dengan tahapan grinding, polishing dan etching (etsa). Grinding dilakukan dengan mesin grinding dan kertas ampelas (Silicon carbide) dimulai dengan 320 grit, 500 grit, 600 grit, 800 grit, 1000 grit, dan 1200 grit dengan kecepatan grinding 240 rpm selama 1-2 menit. Tahap selanjutnya adalah polishing, dilakukan dengan mesin polishing menggunakan diamond spray 1 mikron. Tahap terakhir adalah etsa, dilakukan menggunakan etsa Keller Reagent dengan komposisi larutan terdiri dari 25ml H₂O; 5ml HF; 7,5ml HCl dan 12,5 HNO₃. Material dicelupkan selama 50-60 detik. Kemudian pengamatan dilakukan dengan mikroskop optik. Analisa X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan menggunakan gelombang anoda Cu. Uji kekerasan Brinell dilakukan menggunakan indentor bola baja berdiameter 2,5 mm dan beban 62,5 kg dengan waktu 75 detik. Kemudian sampel dilakukan solution treatment selama 3600 detik pada temperatur 530°C dan dilakukan quenching air es. Setelah dilakukan solution treatment, sampel harus disimpan dalam freezer untuk membuatnya tetap dingin sehingga mencegah terjadinya natural aging. Setelah itu, sampel dilakukan canai dingin dengan reduksi ketebalan 50%, 60% dan 70% dengan mesin canai skala laboratorium. Sampel hasil proses canai dilakukan proses aging di dalam muffle furnace pada temperatur 200°C dengan waktu 1800, 3600, 5400 dan 10800 detik, kemudian didinginkan diudara.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1. Menunjukkan hasil analisa X-Ray Diffraction (XRD) Al 6061 hasil proses canai dingin dan aging untuk reduksi: (a) 50%, (b) 60%, (c) 70%, dengan masing-masing waktu aging 1800 (a), 3600 (b), dan 5400 detik (c) termasuk sampel as-solution treatment.

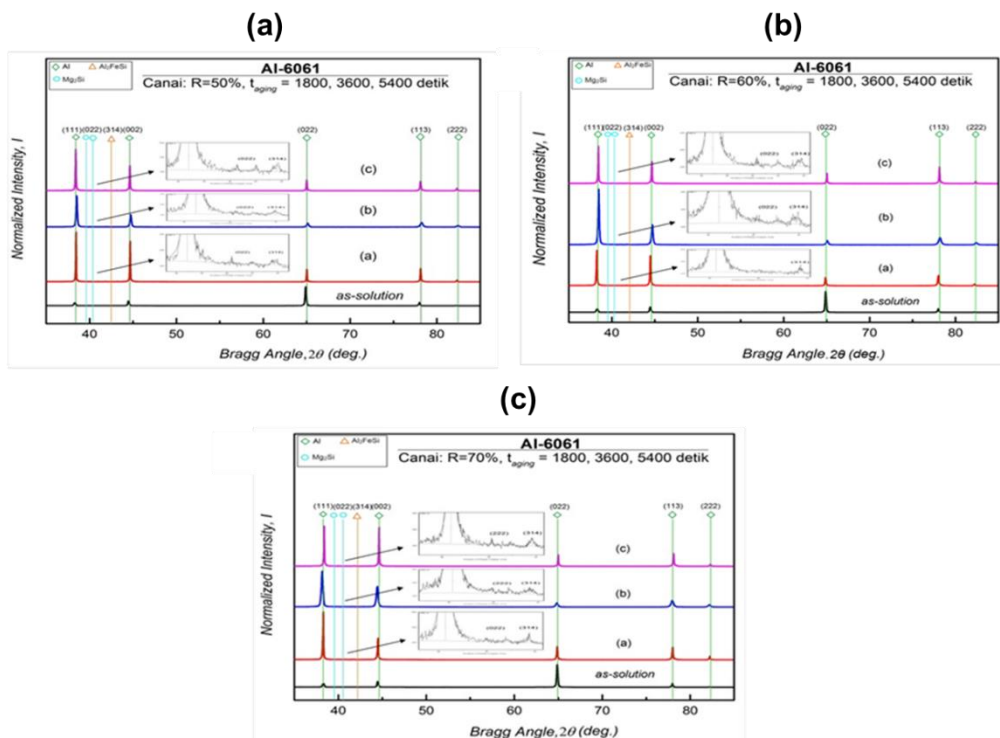
Analisa XRD menunjukkan terdapat tiga fasa pada Al 6061 setelah proses canai dan aging dan single phase pada Al 6061 as solution. Fasa-fasa tersebut antara lain Al, Mg₂Si, dan Al₂FeSi. Fasa Mg₂Si dan Al₂Fesi disebut sebagai fasa kedua pada Al 6061. Namun, fasa kedua tersebut hadir dalam intensitas peak yang sangat rendah, sehingga pada gambar tidak terlihat peak tersebut. Oleh karena itu, dilakukan pembesaran gambar untuk peak fasa kedua tersebut yang ditunjukkan oleh anak panah seperti yang terlihat pada Gambar 2a, 2b dan 2c. Sedangkan untuk Al 6061 as solution, hanya ditemukan single phase, yaitu Al. seperti yang diketahui, bahwa tujuan proses solution treatment pada Al 6061 sebelum proses canai dan aging adalah untuk menyetarakan fasa yang terdapat pada sampel dengan melarutkan seluruh fasa keduanya, sehingga hanya ditemukan single phase Al dan butir kembali tumbuh menjadi butiran baru.

Fasa kedua ini hadir baik pada Al 6061 canai reduksi 50%, 60% atau 70%. Secara keseluruhan, fasa kedua ini ditemukan pada semua sampel dengan bidang kisi yang sama. Baik pada reduksi 50%, 60% atau 70%, jika ditinjau perbedaan dari waktu aging, tidak terlihat perbedaan intensitas peak yang signifikan. Kecuali pada reduksi 60% pada waktu aging 1800 detik, peak fasa kedua Mg₂Si tidak muncul (Gambar 2b) dan baru muncul pada waktu aging 3600 detik dan 5400 detik.

Intensitas peak Al tertinggi pada Al 6061 setelah proses canai dan aging berada pada posisi Bragg Angle 38,4090 dengan bidang kisi (111) untuk reduksi 50%, 60% dan 70%. Sedangkan untuk Al 6061 as solution, intensitas peak Al tertinggi berada pada Bragg Angle 64,9820 dengan bidang kisi (022). Hal ini menunjukkan bahwa fraksi volume Al tertinggi berada pada

bidang kisi (022) pada Al 6061 as solution dan pada bidang kisi (111) untuk Al 6061 hasil proses canai dan aging.

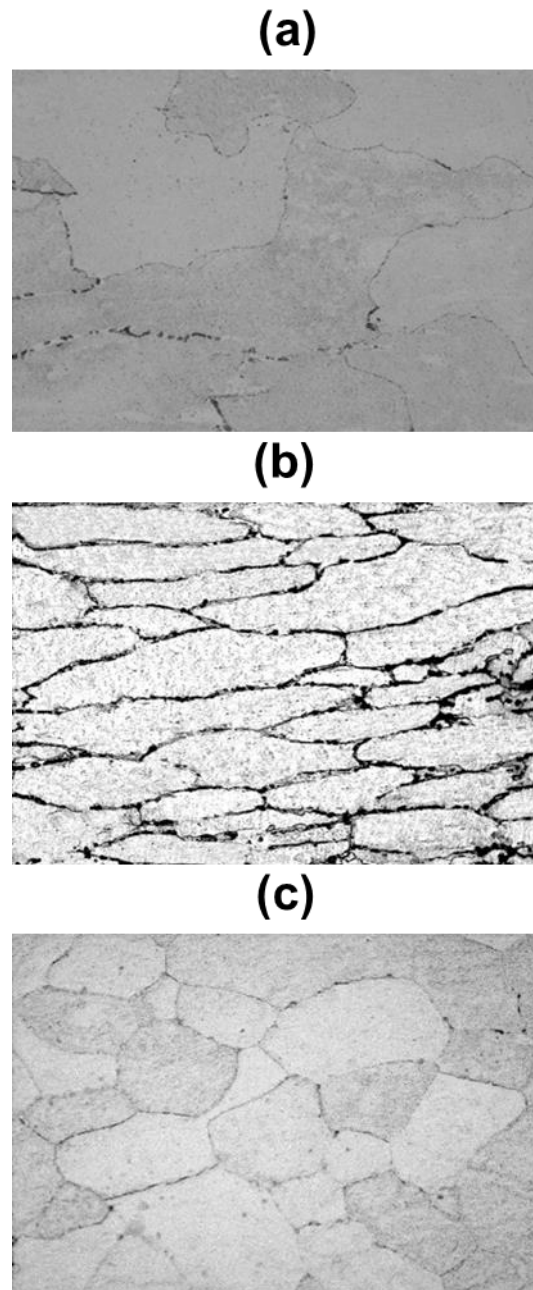
Lebar peak pada hasil analisa XRD secara keseluruhan tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Seperti yang diketahui, bahwa semakin lebar peak, maka regangan kisi semakin besar yang nantinya akan mempengaruhi sifat mekanik material [4-5]. Namun yang terjadi pada Al 6061 ini tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa peranan fasa kedua tidak terlalu berpengaruh terhadap sifat mekanik Al 6061.



Gambar 1. Hasil analisa X-Ray Diffraction (XRD) paduan Al-6061 setelah proses canai dingin untuk reduksi: (a) 50%, (b) 60%, dan (c) 70%, dengan masing-masing waktu aging 1800 (a), 3600 (b), dan 5400 detik termasuk sampel as-solution treatment

Sedangkan Gambar 2. Menunjukkan mikrostruktur Al 6061: (a) as received, (b) setelah canai dingin, (c) setelah canai dingin dan aging. Mikrostruktur Al 6061 berbentuk equiaxial pada kondisi as-received, kemudian berubah menjadi pipih setelah proses canai dan kembali menjadi equiaxial setelah proses aging dengan ukuran butir berada pada skala mikron. Butir Al 6061 as received adalah butir sangat kasar berukuran sekitar 200 μm dan setelah mengalami proses canai dingin dan aging butir berubah menjadi equiaxial dengan ukuran sekitar 36,28 μm . Ukuran butir menjadi lebih halus setelah proses solution treatment. Hal ini disebabkan karena proses ini dilakukan di atas temperatur rekristalisasi. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan perlakuan pada sampel sebelumnya dan untuk menghasilkan butiran baru yang lebih halus dan kisi baru bebas regangan. Pada saat proses rekristalisasi selesai, butir yang tumbuh telah menggantikan semua butir yang mengalami regangan. Apabila

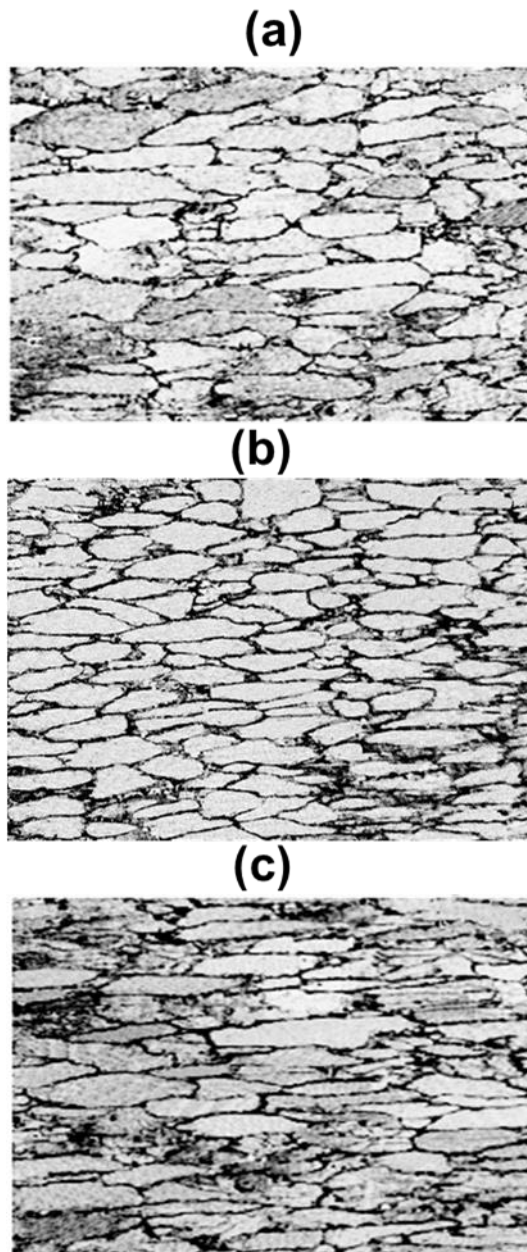
temperatur dinaikkan, butir yang berukuran besar akan membesar dengan cara mengkonsumsi butir dengan ukuran yang lebih kecil, sehingga ukuran butir yang lebih kecil tersebut perlahan-lahan akan menyusut lalu hilang sama sekali.



Gambar 2. Mikrostruktur paduan Al-6061 pada kondisi (a) *as-received*, (b) setelah canai, (c) setelah aging

Gambar 3. Menunjukkan mikrostruktur Al 6061 setelah canai dingin untuk reduksi ketebalan: (a) 50%, (b) 60%, dan (c) 70%. Butir hasil proses canai menunjukkan elongated grain dan paling pipih pada reduksi ketebalan 70%. Rata-rata ukuran butir hasil proses canai dingin adalah 34,6 μm . Pada dasarnya, tidak terjadi penghalusan ukuran butir pada Al 6061 tersebut,

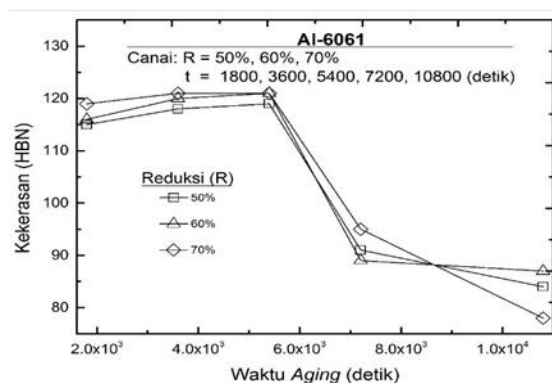
karena temperatur perlakuan yang digunakan di bawah temperatur rekristalisasi kecuali saat proses solution treatment. Butir-butir hanya terelongasi menjadi bentuk yang lebih pipih dan memanjang ke arah proses canai dan setelah proses aging, butir berubah bentuk menjadi equiaxial.



Gambar 3. Mikrostruktur paduan Al-6061 setelah proses canai (a) reduksi 50%, (b) reduksi 60%, (c) reduksi 70%

Gambar 4. Al 6061 as received memiliki nilai kekerasan yang rendah. Namun, setelah dilakukan solution treatment, nilai kekerasan meningkat dan meningkat lagi setelah canai dingin. Bila

ditinjau dari mikrostrukturnya, Al 6061 as received memiliki butir berukuran sangat kasar, tetapi setelah dilakukan solution treatment, butir mengalami rekristalisasi membentuk butiran baru yang single phase yang lebih halus, sehingga nilai kekerasannya meningkat. Sedangkan ketika Al 6061 diberikan treatment selanjutnya, yaitu canai dingin, Al 6061 mengalami deformasi plastis yang menyebabkan butirnya terelongasi menjadi berbentuk pipih. Ketika Al 6061 mengalami deformasi plastis oleh canai dingin, maka akan terjadi penumpukan dislokasi pada Al 6061 dan juga terjadi peregangan kisi. Hal-hal tersebut yang menyebabkan terjadinya peningkatan sifat mekanik Al 6061. Hal ini juga dinyatakan oleh penelitian-penelitian yang sebelumnya dilakukan pada Al 5083 [6], Al 6061 [7] dan komposit AA1050/AA6061 [8]. Proses solution treatment menghasilkan butiran baru yang bebas regangan dan berukuran lebih halus karena dilakukan pada temperatur di atas temperatur rekristalisasi. Semakin halus butiran, maka semakin banyak terdapat batas butir yang merupakan tempat nukleasi butiran baru. Apabila total luas batas butir semakin banyak, maka material akan semakin kuat, karena batas butir berfungsi untuk menghalangi pergerakan dislokasi, sehingga semakin sulit dislokasi untuk bergerak. Hal ini konsisten dengan hasil pengujian kekerasan dan hasil metalografi yang dilakukan. Nilai kekerasan setelah solution treatment meningkat dari kondisi awal. Bila ditinjau dari mikrostrukturnya, Mikrostruktur Al 6061 setelah canai dingin dan aging berukuran lebih halus dari kondisi *as received*. Hal tersebut yang menyebabkan nilai kekerasan meningkat.



Gambar 4 menunjukkan grafik nilai kekerasan untuk Al 6061 setelah canai dingin dan aging.

Deformasi plastis dengan proses canai dingin menyebabkan kenaikan energi dalam pada logam dalam bentuk kerapatan dislokasi yang tinggi. Kerapatan dislokasi/penumpukan dislokasi yang terjadi menyebabkan semakin banyaknya regangan kisi. Regangan kisi ini menyebabkan ketidakaturan kisi. Tingkat ketidakaturan pada kisi akan menyebabkan peningkatan sifat mekanik paduan Al [3]. Hal ini konsisten bila ditinjau dari nilai kekerasan yang didapat. Nilai kekerasan meningkat setelah dilakukan proses canai dingin pada Al 6061. Gambar 4 menunjukkan data nilai kekerasan Al 6061 setelah proses canai dingin dan aging. Hal ini sesuai dengan hasil analisa XRD yang telah dilakukan. Secara keseluruhan, analisa XRD menunjukkan bahwa terdapat fasa lain selain Al yaitu Mg₂Si dan Al₂FeSi. Fasa lain ini yang disebut sebagai fasa kedua dan Mg₂Si adalah presipitat yang terbentuk dari Al 6061 hasil proses aging. Presipitat berperan dalam meningkatkan sifat mekanik Al 6061 dengan cara menghalangi pergerakan dislokasi pada Al saat dikenakan deformasi. Oleh karena itu, Al akan menjadi semakin kuat [1-3,9-12]. Namun, pada penelitian ini, nilai kekerasan tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan. Kemungkinan terjadi karena kurang efektifnya

proses aging pada Al 6061 yang mengakibatkan presipitat tidak menyebar merata pada Al 6061 atau disebabkan oleh ukuran presipitat yang besar [4,13-15]. Nilai kekerasan meningkat seiring dengan penambahan besar reduksi dan juga meningkat seiring dengan penambahan waktu aging. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada Al 6061 canai reduksi 70% dengan waktu aging 5400 detik yaitu sebesar 121 HBN. Selain mengalami kenaikan, nilai kekerasan juga mengalami penurunan. Nilai kekerasan semakin menurun seiring dengan penambahan waktu aging setelah mencapai puncak nilai kekerasan. Dari grafik dapat dilihat bahwa setelah Al 6061 dilakukan aging pada waktu 7200 dan 10.800 detik, nilai kekerasannya menurun. Hal ini konsisten untuk semua variabel reduksi. Nilai kekerasan terendah pada Al 6061 canai reduksi 70% dengan waktu aging 10.800 detik. Fenomena menurunnya nilai kekerasan saat proses aging setelah mencapai puncak tertingginya dinamakan over aging [10]. Menurut Demir H & Gündüz S [2]. Penambahan waktu aging dapat menurunkan nilai kekerasan. Hal ini disebabkan karena bergabungnya presipitat menjadi partikel berukuran yang lebih besar yang mengakibatkan penghalang pergerakan dislokasi menjadi semakin lemah, sehingga sifat mekanik akan menurun. Hal tersebut juga dinyatakan pada penelitian sebelumnya untuk Al 6061 [11, 14] dan Al 6063 [12].

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Morfologi mikrostruktur dari elongated grain ke equaxial grain setelah proses canai dilanjutkan dengan proses aging.
2. Nilai kekerasan Al 6061 meningkat dari 115 HBN (setelah canai dingin) menjadi 121 HBN (setelah aging), hal yang sama juga terjadi pada ketahanan aus Al 6061 yang laju keausannya lebih lambat dari $6,209951 \times 10^{-6}$ (Al 6061 as received) menjadi $4,775436 \times 10^{-6}$ (Al 6061 setelah canai dan aging). Hal ini disebabkan mekanisme strain hardening dan hadirnya fasa kedua Mg_2Si dan Al_2FeSi .
3. Penurunan kekerasan terjadi setelah waktu aging 7200 dan 10800 detik, hal ini mungkin disebabkan terjadinya over aging.

DAFTAR RUJUKAN

Tan, Evren, and Bilgehan Ögel. "Influence of heat treatment on the mechanical properties of AA6066 alloy." *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 31.1 (2007): 53-60.

Demir, Halil, and Süleyman Gündüz. "The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy." *Materials & Design* 30.5 (2009): 1480-1483.

Mrówka-Nowotnik, G. "Influence of chemical composition variation and heat treatment on microstructure and mechanical properties of 6xxx alloys." *Archives of materials science and engineering* 46.2 (2010): 98-107.

Alhamidi, A., Edalati, K., Horita, Z., Hirosawa, S., Matsuda, K., & Terada, D. (2014). Softening by severe plastic deformation and hardening by annealing of aluminum–zinc alloy: Significance of elemental and spinodal decompositions. *Materials Science and Engineering: A*, 610, 17-27

Alhamidi, A., Edalati, K., & Horita, Z. (2013). Production of nanograined intermetallics using high-pressure torsion. *Materials Research*, 16(3), 672-678.

Rezaei, Mohammad Reza, Mohammad Reza Toroghinejad, and Fakhreddin Ashrafizadeh. "Production of nano-grained structure in 6061 aluminum alloy strip by accumulative roll bonding." *Materials Science and Engineering: A* 529 (2011): 442-446.

Muruganandam, D., S. Ravikumar, and S. L. Das. "Mechanical and micro structural behavior of 2024–7075 aluminium alloy plates joined by friction stir welding." *Frontiers in Automobile and Mechanical Engineering (FAME)*, 2010. IEEE, 2010

Su, L., Lu, C., Tieu, A. K., Deng, G., & Sun, X. (2013). Ultrafine grained AA1050/AA6061 composite produced by accumulative roll bonding. *Materials Science and Engineering: A*, 559, 345-351.

Toroghinejad, Mohammad Reza, Fakhreddin Ashrafizadeh, and Roohollah Jamaati. "On the use of accumulative roll bonding process to develop nanostructured aluminum alloy 5083." *Materials Science and Engineering: A* 561 (2013): 145-151.

Ilangovan, M., S. Rajendra Boopathy, and V. Balasubramanian. "Microstructure and tensile properties of friction stir welded dissimilar AA6061–AA5086 aluminium alloy joints." *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 25.4 (2015): 1080-1090.

Kim, H. H., S. H. Cho, and C. G. Kang. "Evaluation of microstructure and mechanical properties by using nano/micro-indentation and nanoscratch during aging treatment of rheo-forged Al 6061 alloy." *Materials Science and Engineering: A* 485.1 (2008): 272-281.

De Silva, G. I. P., and W. C. Perera. "Improvement of the Mechanical Properties of Aluminum 6063 T5 Extrudates by Varying the Aging Condition Cost-Effectively." *SAITM Research Symposium on Engineering Advancements (SAITM–RSEA 2012)*. 2012.

Risanti, D. D., Yin, M., del Castillo, P. R. D., & van der Zwaag, S. (2009). A systematic study of the effect of interrupted ageing conditions on the strength and toughness development of AA6061. *Materials Science and Engineering: A*, 523(1), 99-111.

Ozturk, F., Sisman, A., Toros, S., Kilic, S., & Picu, R. C. (2010). Influence of aging treatment on mechanical properties of 6061 aluminum alloy. *Materials & Design*, 31(2), 972-975

ALI ALHAMIDI¹, M. FITRULLAH², MIRNAWATI DEWI³