



PENGARUH PARAMETER TERKONTROL PADA PROSES *ACCUMULATIVE ROLL BONDING (ARB)* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR ALUMINIUM SERI 6 (AA6061)

Agus Pramono^{1*}, A. Ali Alhamidi² dan Ravina Nur Fadila³

¹Department of Metallurgy Engineering, Faculty of Engineering, Sultan Ageng Tirtayasa Untirta
Jl. Jenderal Sudirman Km. 3 Cilegon, Banten 42435, Indonesia

*Email : agus.pramono@untirta.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 03/10/2018
Naskah Direvisi 12/10/2018
Naskah Disetujui 15/10/2018
Naskah Online 17/10/2018

ABSTRAK

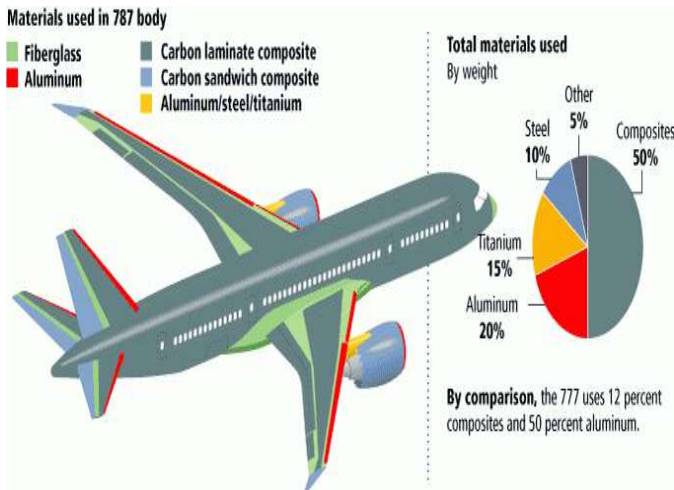
Perkembangan ilmu dan teknologi dewasa ini menuntut adanya material yang mempunyai kekuatan tinggi, mampu bentuk yang tinggi, tahan korosi dan komposisi kimia yang sesuai dengan kebutuhan sifat mekanis. Penggunaan Aluminium seri 6 (AA6061) yang digunakan sebagai aplikasi pesawat terbang karena spesifikasi sifat mekanik, tahan korosi dan formabilitas yang tinggi telah memenuhi kriteria standar komponen, oleh karena itu, diperlukan metode untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan suatu material, salah satunya metode *Severe Plastic Deformation (SPD)*, yang digunakan pada penelitian ini yaitu *accumulative roll bonding (ARB)* yang merupakan salah satu metode SPD yang diketahui mampu menghasilkan butir halus/*ultrafine grained (UFG)*. Dalam penelitian ini, bahan AA6061 direduksi 50% dengan proses ARB dengan variasi temperature *pre-heating* 300°C, 400°C, 500°C serta variasi siklus 1, 3, dan 5 menggunakan waktu selama 20 menit. Sifat mekanik hasil proses ARB diketahui dengan pengujian tarik dan kekerasan, sedangkan mikrostruktur diamati dengan pengujian metalografi serta pengujian scanning electron microscope (SEM). Hasil uji tarik pada temperatur 300°C dengan siklus 5 lebih besar dibandingkan dengan 400°C dan 500°C yaitu sebesar 105.95 MPa dan hasil uji tarik terendah yaitu sebesar 75.57 MPa pada temperatur 400°C dengan siklus 1. Hasil uji keras tertinggi pada temperatur 300°C dengan siklus 5 yang dicapai yaitu sebesar 39.94 HV. Dan hasil terendah yaitu 34,82 HV pada temperatur 500°C dengan siklus 1. Adapun struktur mikro menunjukkan hasil ukuran butir yang semakin kecil seiring meningkatnya siklus, hal tersebut menyebabkan kekuatan dan kekerasan hasil proses ARB meningkat. Pemanasan pada temperatur 300°C siklus 5 menghasilkan ukuran butir terkecil sebesar 2.2 µm mendekati butir halus yang dipersyaratkan, yaitu: 1µm sedangkan ukuran butir terbesar pada sampel non perlakuan sebesar 4.1 µm.

Kata kunci: Accumulative Roll bonding (ARB), AA6061, UFG, SEM, Preheating, Kekuatan dan Kekerasan

1. PENDAHULUAN

Dalam industri pesawat terbang material paduan AA 6061 sudah banyak di aplikasikan pada pembangunan struktur pesawat seperti sayap dan badan pesawat (H. Abramovic, 2017), karena AA6061 memiliki sifat ketangguhan yang baik, mampu las baik, harga yang murah, ringan dan ketahanan korosi yang baik namun

kekuatannya masih medium (Pramono, 2017). Untuk memenuhi standar sebagai komponen pada pesawat terbang, paduan AA 6061 harus memiliki kekuatan atau kekerasan yang tinggi, untuk itu diperlukan sebuah *treatment* dalam rangka perluasan aplikasi dari AA 6061, terutama dalam bidang industri pesawat terbang (H. Abramovic, 2017).



Gambar 1. Material-material yang biasa digunakan untuk konstruksi pesawat terbang (H. Abramovich, 2017)

Jika dilihat dari tingkat kecelakaan, pesawat terbang merupakan sebuah fenomena yang cukup mengkhawatirkan. Jumlah kasus kecelakaan pesawat terbang kian meningkat dari tahun ke tahun. Adapun salah satu penyebab terbesar kecelakaan pesawat adalah banyaknya jam terbang yang mengakibatkan komponen-komponen pesawat terbang mengalami penurunan kekuatan dan rawan terjadi kegagalan. Kegagalan pada komponen terjadi dapat disebabkan karena umur komponen yang sudah mencapai batas *life time* atau yang belum mencapai batas *life time*. Kegagalan sebelum mencapai batas *life time* dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya korosi, *crack* pada material, desain yang kurang tepat, dan adanya cacat pada material. Oleh sebab itu dalam penelitian ini diharapkan material AA6061 dapat meningkatkan kekuatan dengan metode *severe plastic deformation* (SPD) atau disebut juga deformasi plastis menyeluruh yang efektif untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis dan penyesuaian karakteristik paduan logam konvensional. (Pramono, 2014)

Metode SPD banyak ditemukan pada pembuat logam berkekuatan tinggi dengan berbagai macam bentuk sampel. Diantaranya termasuk *equal channel angular pressing* (ECAP), *high pressure torsion* (HPT), *multi-axial forging* (MAF), dan *accumulative roll bonding* (ARB). Diantara beberapa proses tersebut ARB bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik material sehingga menghasilkan butir yang halus, dengan proses variasi siklus ARB hingga 8 kali pada material AA6061 maka akan menghasilkan butiran 0.5µm atau mencapai 500 nm (Srinivasan, 2006).

Dalam proses ARB dua lembar material yang ditumpuk dan direduksi 50%, kemudian dua lembar material yang telah *diroll* tersebut dipotong menjadi dua bagian yang sama besar dan ditumpuk kembali seperti dimensi awal kemudian *diroll* kembali sehingga ketebalannya berkurang setengahnya dari tebal awal. Proses ini terus berulang-ulang sehingga regangan yang sangat besar bisa diperoleh dan akan memberikan deformasi plastis yang besar yang dapat memberikan

efek pada struktur mikro dan sifat material (A. Pramono, 2015).

Penelitian ini mengacu pada penelusuran sifat mekanik terhadap struktur mikro berdasarkan pengaruh variasi *temperatur preheating* dan variasi siklus pengerolan. Perubahan mikrostruktur juga akan diteliti dengan menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui distribusi presipitat dan hasil pengamatan SEM untuk mengetahui morfologi butir yang mencapai butir halus (UFG).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Material AA6061 dilakukan proses *Accumulative Roll Bonding* dengan ukuran 100x20x2 mm. Komposisi kimia AA 6061 ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia AA6061

Fe	Cu	Si	Zn	Mn	Mg	Cr	Ti	Al
0.2	0.19	0.64	0.05	0.06	1.0	0.15	0.07	Bal.

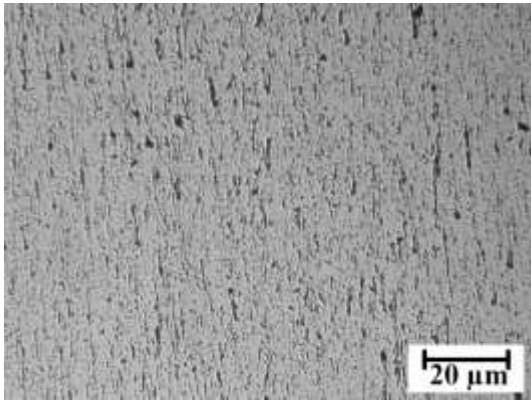
Sampel dilakukan preparasi dengan menyikat permukaan menggunakan sikat kawat yang bertujuan untuk menghilangkan oksida yang ada dipermukaan AA6061 kemudian dilanjutkan dengan membersihkan menggunakan cairan aseton untuk mencegah menempelnya pengotor. Kemudian sampel direkatkan menggunakan rifet. Sampel yang sudah dipreparasi dipanaskan pada variasi temperatur *preheating* sebesar 300°C, 400°C dan 500°C selama 20 menit, kemudian melakukan pengerolan spesimen dengan reduksi 50% pada variasi siklus 1, 3 dan 5.

Pengujian tarik menggunakan alat uji tarik *shimadzu* AG-250 Knx Plus. Pengujian *microhardness* menggunakan alat *Clark Instrument Inc* beban 10kgf. Pengujian dilakukan pada lima titik di setiap sampel. Pengamatan struktur mikro AA6061 dilakukan setelah dilakukan proses ARB menggunakan alat mikroskop optik olympuss U-MSSP4 dan SEM-EDAX JSM-6510LA.

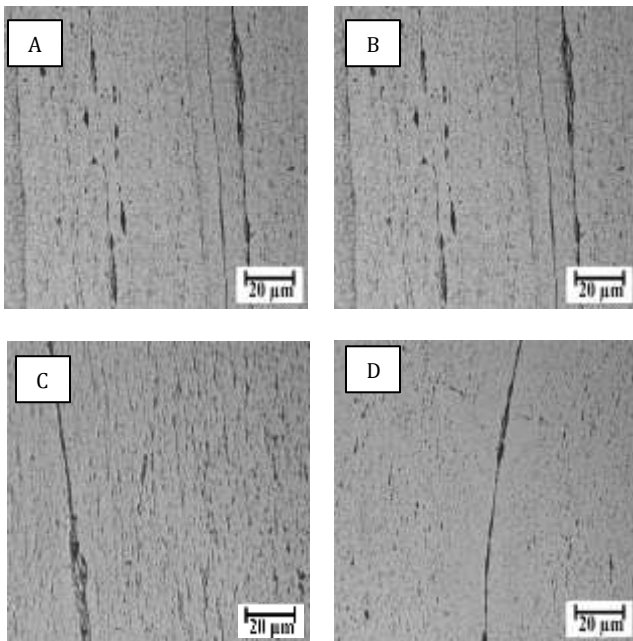
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Struktur Mikro

Perubahan struktur mikro pada AA6061 sebelum dilakukan proses ARB dapat diamati menggunakan mikroskop optik dan *scanning electron microscopes* (SEM). Gambar 1. Menunjukkan struktur mikro AA6061 sebelum diproses ARB (*as received*) dengan batas butir berbentuk *equaxial* dan ukuran butir pada kondisi awal masih besar dan kasar dengan rata-rata ukuran butir 4,1 µm.



Gambar 2. Mikrostruktur AA 6061 as received



Gambar 3. Mikrostruktur AA 6061 Setelah Proses ARB (A) siklus 5 temperatur 300°C (B) siklus 3 temperatur 300°C (C) siklus 1 temperatur 400°C (D) siklus 1 temperatur 500°C

Pada gambar 3. (a,b,c,d) menunjukkan mikrostruktur AA6061 yang memiliki ukuran butir masing-masing 2.2 μm; 2.9 μm; 3.2 μm; dan 3.3 μm. Menurut Nobuhiro Tsuji untuk membentuk *ultrafine grain* pada proses *accumulative roll bonding* (ARB) harus mencapai < 1 μm. Dalam penelitian ini *ultrafine grain* belum tercapai karena mekanisme penghalusan butir belum terjadi secara signifikan dan proses *accumulative roll bonding* (ARB) dilakukan sampai dengan 8 siklus untuk membentuk *ultrafine grain* pada AA 6061. (S.H. Lee, 2001).

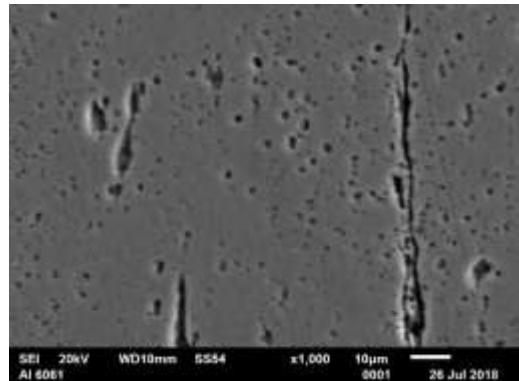
Pada gambar 3. terlihat bagian hitam pada AA6061 disebabkan oleh larutan etsa untuk pengamatan metalografi menggunakan konsentrasi yang tinggi sehingga mengakibatkan terkikisnya beberapa bagian permukaan AA6061. Oleh karena itu, fenomena itu kemungkinan dikatakan sebagai porositas (N.R Sakthivel, 2015).

Pada gambar 3. terlihatnya garis *interface* yang menandakan bahwa sampel belum menyatu atau proses

difusi antar plat tidak berjalan maksimal. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu beban yang diterima oleh sampel kurang, permukaan *bonding* kotor, dan kecepatan *rolling* (Pramono, 2016).

3.2 Uji SEM EDAX

Berdasarkan pengamatan SEM material AA6061 pada siklus 1 temperatur 300°C dapat dilihat pada gambar 4.4 nampak garis *interface*, terlihatnya garis *interface* menandakan sampel belum menyatu secara sempurna.



Gambar 4. Hasil SEM AA 6061 siklus 1 Temperatur 300°C

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kurang sempurna laminasi yaitu diantaranya beban pada saat proses *rolling* sangat berpengaruh dalam terbentuknya garis *interface* pada material hasil ARB. Selama proses ARB terjadi delaminasi antar plat. Masih terdapat lapisan oksida pada permukaan sampel dapat menghambat terjadinya laminasi.

Adapun ketidaksempurnaan selama proses ARB akibat dari fenomena delaminasi yaitu kegagalan dalam material yang dilaminasi, yang mengarah pada pemisahan lapisan dan terjadi karena kelebihan tegangan geser dalam material. Pada gambar 4.4 nampak ada garis yang hilang pada *interface*. Garis hilang ini (*Missing line*) adalah bagian yang menyatu sempurna akibat proses *rolling*, hadirnya garis *missing line* ini sebagai tanda sempurna kualitas *bonding* dan juga dapat meningkatkan kekuatan material (A. Pramono, 2016).

3.2 Microhardness

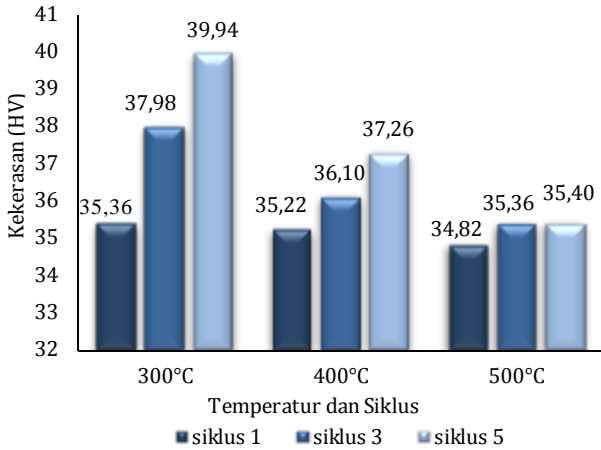
Nilai *microhardness* pada AA6061 terjadi peningkatan dari setiap siklusnya dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai kekerasan AA 6061 Proses ARB

Temperatur (°C)	Nilai kekerasan (HV)		
	Siklus 1	Siklus 3	Siklus 5
300	35,36	37,98	39,94
400	35,22	36,10	37,26
500	34,82	35,36	35,40

Jika dilihat pada tabel 2. temperatur 300°C memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 39,94 HV pada siklus 5. Sedangkan pada temperatur 400°C dan 500°C nilai kekerasan pada siklus 5 sebesar 37,26 dan 35,40 HV. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, proses

preheating pada temperatur 300°C memiliki nilai kekerasan tertinggi jika dibandingkan pada temperatur 400°C dan 500°C. Hal ini menunjukkan dengan semakin halusnnya ukuran butir, kekerasan akan semakin meningkat. Berbeda dengan temperatur 400°C dan 500°C nilai kekerasan mengalami penurunan.



Gambar 5. Grafik huungan antara siklus dan kekerasan

Ketika AA6061 mengalami deformasi plastis pada saat proses ARB, maka akan terjadi distorsi kisi yang diakibatkan oleh mekanisme *strain hardening*. Mekanisme *strain hardening* akan membuat dislokasi bergerak dan mengalami penumpukan dislokasi pada AA 6061. (A. Pramono, 2015).

Pada dasarnya proses ARB memiliki dua mekanisme penguatan logam, mekanisme itu adalah *strain hardening* dan *grain refinement*. (Tsuji, 2002). Pada tahap awal *strain hardening* atau *dislocation hardening* memiliki peranan utama dalam meningkatkan kekuatan dan menurunkan elongasi pada logam, penghalusan butir belum terjadi pada tahap awal proses ARB. (M.Rezaei, 2011)

3.3 Uji Tarik

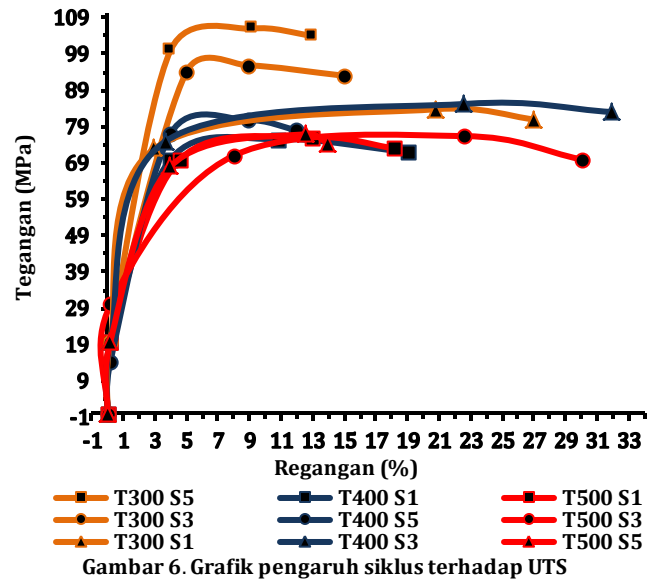
Pengujian tarik AA6061 dilakukan dengan standart ASTM A370-16. Adapun nilai *ultimate tensile strength* (UTS), *max strain* dan elongasi dapat dilihat pada table 3

Tabel 3. Data nilai kekuatan tarik pada material AA 6061

Temperatur (°C)	Variasi siklus	UTS (MPa)	Elongasi (%)	Max strain (%)
300	1	83,76	29,12	20,76
	3	95,84	21,96	8,88
	5	105,95	12,76	9,10
400	1	75,57	22,64	10,84
	3	80,72	9,92	8,86
	5	85,25	30,80	22,64
500	1	76,05	12,80	13,00
	3	76,38	26,20	22,55
	5	76,97	16,88	12,58

Pada tabel 3. nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) pada AA6061 pada temperatur 300°C siklus 1 UTS sebesar 83,76 MPa, pada siklus 3 sebesar 95,84 MPa, dan pada siklus 5 sebesar 105,95 MPa. Dalam penelitian

ini kekuatan material lebih cenderung meningkat di setiap siklusnya

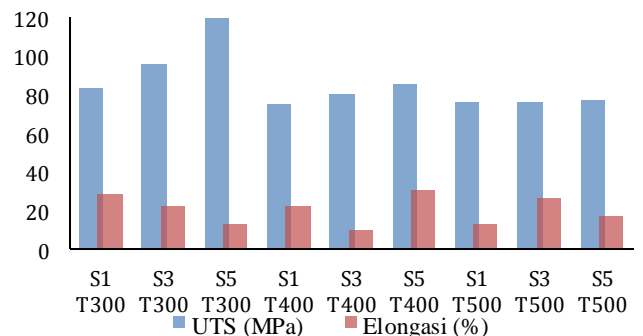


Gambar 6. Grafik pengaruh siklus terhadap UTS

Pada temperatur 400°C nilai kekuatan pada siklus 1 sebesar 75,57 MPa. Pada siklus 3 dan siklus 5 didapatkan nilai UTS sebesar 80,72 MPa, 85,25 MPa. Dapat dilihat bahwa semakin meningkat jumlah siklus, kekuatan tarik meningkat. Dan sebaliknya, semakin sedikit siklus maka semakin kecil nilai kekuatan tariknya. (M. R. Rezaei, dkk.2011).

Pada temperatur 500°C peningkatan nilai kekuatan tidak terlalu jauh, dilihat pada siklus 1 sebesar 76,05 MPa, 76,38 MPa siklus 3, dan siklus 5 sebesar 76,97 MPa. Walaupun jumlah siklus meningkat kekuatan tarik juga ikut meningkat, tapi pada temperatur 500°C nilai kekuatannya lebih rendah dibandingkan pada temperatur 300°C dan 400°C. Hal ini bisa terjadi karena terlalu tinggi temperatur *preheating* yang digunakan sehingga dislokasi mudah bergerak yang diikuti dengan menurunnya kekuatan (Tan, 2014).

Menurunnya kekuatan pada sampel AA6061 bisa dikarenakan temperatur *preheating* telah masuk ke dalam *dynamic recrystallization*. Temperatur *dynamic recrystallization* adalah awal terjadinya pertumbuhan butir dan *dendrit* yang dapat menurunkan nilai kekerasan dan kekuatan (A. Pramono, 2015)



Gambar 7. Nilai elongasi (%) setiap siklus dan temperature

Pada Gambar 7. temperatur 300°C siklus 1 dan siklus 3 nilai % elongasi meningkat seiring dengan menurunnya kenaikan kekuatan tarik. Dapat dilihat pada Tabel 4.4 dapat dilihat nilai % elongasi pada siklus 1 temperatur 300°C sebesar 29,12%. Pada siklus 3 dan siklus 5 nilai % elongasi sebesar 21,96% dan 12,76%. Nilai % elongasi menurun dengan adanya kenaikan kekuatan tarik, hal ini dikarenakan semakin kuat suatu material maka material tersebut cenderung getas.

Pada temperatur 400°C nilai % elongasi meningkat seiring dengan kenaikan kekuatan tarik, dilihat pada gambar 4.8 siklus 1 nilai % elongasi sebesar 22,64% dan menurun secara drastis pada siklus 3 sebesar 9,92% dan meningkat pada siklus 5 sebesar 30,80%. Diliteratur seharusnya seiring meningkatnya kekuatan maka nilai % elongasi menurun. Sehingga data pada temperatur 400°C siklus 1, 3, dan 5 tidak sesuai dengan literatur dan material tersebut cenderung ulet, sehingga material mudah untuk pertambahan panjangnya.

Pada temperatur 500°C nilai % elongasi pada siklus 1 sebesar 12,8% , pada siklus 3 dan siklus 5 sebesar 26,20% dan 16,88%. Dari data temperatur 500°C pada siklus 1, 3 dan 5 nilai % elongasi lebih cenderung naik turun, hal ini tidak sesuai dengan literatur yang menyatakan semakin meningkatkannya kekuatan maka menurunkan nilai % elongasi. (W. Ullah. 2006). Hal tersebut bisa dikarenakan temperatur terlalu tinggi dan menyebabkan keuletan material meningkat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan Penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Adapun hasil dari setelah proses ARB pada variasi temperatur *preheating* 300°C siklus 5 memiliki nilai UTS 105,955 MPa dan kekerasan tertinggi sebesar 39,94 HV, dan temperatur *preheating* 400°C siklus 5 memiliki nilai UTS 85,2527 MPa dan kekerasan sebesar 37,26 HV, sedangkan nilai UTS dan kekerasan pada temperatur *preheating* 500°C siklus 5 sebesar 76,97 MPa 35,40 HV. Adapun nilai UTS dan kekerasan terendah pada temperatur 400°C siklus 1 sebesar 75,57 MPa; 34,82 HV.
2. Hasil pengamatan mikrostruktur dari paduan AA6061 *as-received* nampak tidak seragam dan cenderung berbentuk *equiaxial* dan butiran juga terlihat kasar. Adapun hasil dari proses ARB masih terdapat *interphase yang* menandakan sampel belum menyatu secara sempurna atau proses difusi antar plat tidak berjalan maksimal. Dan juga adanya *missing line* sebagai tanda sempurnanya kualitas *bonding* dan juga dapat meningkatkan kekuatan material.
3. Variasi temperatur *preheating* berpengaruh terhadap nilai ukuran butir dan kekerasan. Pada penelitian ini variasi temperatur 300°C memiliki nilai kekuatan dan kekerasan meningkat dengan seiring meningkatnya jumlah

siklus. Hal ini juga dilihat hasil rata-rata perhitungan ukuran butir terkecil dihasilkan dari variasi temperature 300°C pada siklus 5 sebesar 2.2 µm dengan kekerasan 39.94 HV.

5. DAFTAR PUSTAKA

- A. Pramono, L. Kollo, K. Kallip, R. Veinthal, J. K Gomon. Heat treatment of ultrafine grained high-strength aluminum alloy, *Key Engineering Materials* 604 (2014) 273-276.
- A. Pramono, L. Kollo, K. Kallip, R. Veinthal, J. K Gomon. Heat Treatment of Ultrafine Grained AA6061 Consolidation by Equal Channel Angular Pressing. *Applied Mechanics and Materials*. 771 (2015) 252-256.
- A. Pramono, L. Kollo, and R. Veinthal, "Microstructure of AA7075 Based Composite by Accumulative Roll Bonding Process," vol. 1123, pp. 114–118. 2015.
- A. Pramono, L. Kollo and R. Veinthal. Aluminum based composite by novel process: repetitive press roll bonding (RPRB), *Procedia Chemistry*, 16. 2015. 473-479.
- A. Pramono, L. Kollo, dan R. Veinthal, "Hot and Cold Regions During Accumulative Roll Bonding of Al/Al₂O₃", *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, (2016) 65, 2, 132–137.
- A. Pramono, A. Milandia, K. Nugraha and M. Fawaid. Aluminum alloys by ECAP Consolidation for Industrial Application. *Vanos-Journal of Mechanical Engineering Education*. Vol 2. No.2 December 2017. Pp. 117-126.
- H. Abramovich. *Stability and Vibrations of Thin-Walled Composite Structures*. 1st Edition. 2017 Woodhead Publishing
- M. R. Rezaei, M. R. Toroghinejad, and F. Ashrafizadeh, "Journal of Materials Processing Technology Effects of ARB and ageing processes on mechanical properties and microstructure of 6061 aluminum alloy," vol. 211, pp. 1184–1189, 2011.
- N. R Sakthivel, S Saravanamurugan, BB Nair, V Sugumaran. Machine learning approach to the prediction of surface roughness using statistical features of vibration signal acquired in turning M Elangovan, *Procedia Computer Science*. 2015. 50, 282-288.
- N. Tsuji, Y. Saito, H. Utsunomiya, and S. Tanigawa, "Ultra-Fine Grained Bulk Steel Produced by Accumulative Roll," vol. 40, no. 7, pp. 795–800, 1999.

S. H. Lee, Y. Saito, T. Sakai, and H. Utsunomiya, "*Microstructures and mechanical properties of 6061 aluminum alloy processed by accumulative roll-bonding*," vol. 325, pp. 228–235, 2002.

Srinivasan, R., Chaudhury, P. K., Cherukuri, B., Han, Q., Swenson, D., Gros, P., 2006, "Continuous Severe Plastic Deformation Processing of Aluminum Alloys", Wright State University.

W. Ullah, "Development of Ultra-Fine Grained Aluminium By Severe Plastic Deformation Master of Technology in," 2006.