

PENGARUH VARIASI REDUKSI KETEBALAN *COLD ROLLING* SERTA SUHU *ANNEALING* TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK ALUMINUM *ALLOY 6082-T6*

Rian Cahya Putra¹, Indri Yaningsih², Teguh Triyono²

¹Mahasiswa Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret
riancahyaputra@gmail.com

Abstract

The effects of the reduction of thickness and temperature annealing on the physical properties and mechanical properties of metal AA 6082 have been investigated in this study. Pressed force, and rolling time were constantly maintained. Annealing was carried out at 415°C for 150 minute to increase formability. Cold rolling was carried out at room temperature with varying thickness. The thickness was reduced from 3 mm to 2,5 mm, 2 mm, and 1,5 mm. the cold rolled samples ware annealed at various tempers in the range of 275°C, 325°C, and 375°C for 5 minute.

Vickers hardness test were performed to evaluate the mechanical properties of alloy and the microstructure were performed to evaluate the physical properties of alloy. The result shows that hardness in 50% (1,5 mm) whithout annealed reduction produce the highest hardness 115,56 Hv.it has been observed that that as the degree of cold rolling increase the value of hardness cause cold rolling can introduce high density of dislocations. Annealing can refine the grain size, especially the grain length, resulting lower hardness.

Keywords: *cold rolling, Aluminum Alloy 6082-T6, Annealing, Microstructure, hardness*

1. PENDAHULUAN

PENDAHULUAN

Pemanfaatan berbagai material logam dalam bidang industri semakin meningkat seiring dengan perkembangan di dunia industri sebagai contohnya adalah Aluminum *Alloy*. Pemanfaatan material Aluminum diantaranya struktur pesawat ruang angkasa, kapal laut, kereta api, peralatan rumah tangga dan komponen otomotif.. Aluminum sendiri termasuk logam yang ringan serta mempunyai kekuatan dan keuletan yang baik sehingga penggunaannya cukup luas dalam kehidupan manusia. Aluminum *Alloy* 6082-T6 merupakan jenis aluminum paduan terbaru dari penyempurnaan Aluminum *Alloy* 6061 dengan campuran magnesium-silika (Al-Mg-Si) dengan komposisi dari magnesium-silika sekitar 2% dan memiliki sifat dapat diperlakukan panas (Amari, 2013).

Ada beberapa cara untuk meningkatkan kekuatan mekanik dari Aluminum *Alloy*, salah satunya dengan pengerjaan dingin seperti, tempa, pengerolan, dan ekstruksi. Proses-proses tersebut merupakan proses manufaktur yang paling penting dalam dunia industri dewasa ini. *Metal rolling* adalah salah satu langkah penting dalam menciptakan lembaran-lembaran Aluminum baik dengan *hot rolling* atau *cold rolling*. Pada proses *metal rolling* didapatkan sifat mekanik yang beraneka ragam sesuai dengan besarnya reduksi ketebalan (Myron, 1987).

Proses *cold rolling* pada Aluminum memungkinkan mendapat kualitas lebih baik yang tidak dapat diperoleh dengan kerja panas seperti toleransi dan dimensi akibat penyusutan. Dengan demikian dimensi logam memiliki akurasi yang lebih baik dan permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan *hot rolling*. Keunggulan *cold rolling* adalah meningkatnya kekuatan mekanik dan kekerasan (Hatch, 1984). Namun setelah *cold rolling*, Aluminum lebih baik dipanaskan kembali dengan suhu tertentu dan didinginkan secara lambat (*annealing*) untuk menghilangkan efek yang tidak diinginkan dari proses *cold rolling*. Umamaheshwer dkk. (2014) telah meneliti pengaruh dari *cold rolling* disertai variasi suhu *annealing* pada Aluminum *alloy* 7075. Sebelum dilakukan *cold rolling*, Aluminum 7075 dipanaskan dahulu selama 150 menit dengan suhu 415°C, hal ini bertujuan untuk mereduksi kekerasan Aluminum *alloy*

7075. *Cold rolling* dilakukan dengan mengurangi ketebalan plat Aluminium 7075 dengan reduksi ketebalan 12%, 19%, dan 28% yang dilanjutkan dengan *annealing* pada temperatur 225°C, 275°C, dan 325°C selama 5 menit. Skema pengujian Umamaheshwer dkk. (2014) ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Pengujian tarik dan pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat mekanis Aluminium *alloy 7075*. Pada proses pengerolan, didapatkan hasil dimana semakin tinggi suhu *annealing* maka semakin tinggi keuletannya dan kekerasannya semakin menurun seiring dengan kenaikan suhu *annealing*. Sedangkan reduksi ketebalan berpengaruh terhadap peningkatan nilai kekerasan tetapi nilai keuletan semakin menurun.

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh tekstur anisotropi pada sifat mekanik lembaran paduan Mg-0,6% Zr-1.0%Cd oleh Tao dkk. (2014). Lembaran paduan dengan ketebalan 16 mm direduksi menjadi 1,6 mm dengan metode *unidirectional rolling* dan *cross rolling* dilakukan dengan metode *hot rolling* pada suhu 693°K dengan skema pengerolan ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Setelah proses pengerolan dilakukan *annealing* pada suhu 623°K selama 3 jam. Pada *cross rolling*, tekstur basal yang lebih lemah dan butiran *grains* terlihat berhamburan. Sedangkan pada *unidirectional rolling*, tekstur basal lebih jelas dan butiran *grains* lebih rata. Selain itu pada *cross rolling* didapatkan sifat mekanik yang lebih rendah dari pada *unidirectional rolling* yang diakibatkan butiran *grains* pada *unidirectional rolling* yang lebih tertata.

Telah dilakukan penelitian mengenai *Cold rolling* dengan tujuan mendapatkan kekuatan plat paduan Mg-3Gd-1Zn yang lebih tinggi. Parameter yang digunakan adalah reduksi ketebalan plat antara 5%-45% dari ketebalan awal 3 mm dan variasi lama waktu *annealing* antara 30 menit hingga 60 menit pada suhu 350°C dan pengujian mikro dilakukan menggunakan *optical microscopy* (OM). Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu *annealing* maka semakin tinggi

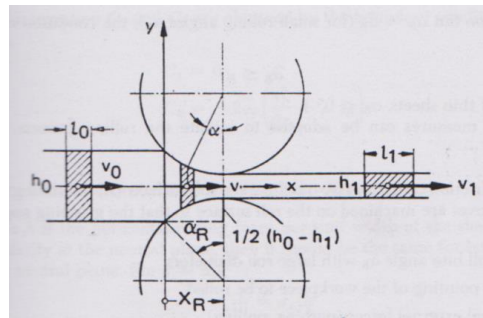
keuletannya tetapi kekerasannya semakin berkurang yang diakibatkan mengecilnya ukuran butir pada struktur mikro plat paduan Mg-3Gd-1Zn. Selain itu semakin besar reduksi ketebalan maka kekuatannya semakin tinggi hal ini disebabkan intensitas dislokasi semakin tinggi dan ukuran *grains* semakin lebar (Di dkk, 2013).

Penelitian ini menggabungkan proses *cold rolling* dan *annealing* untuk memperoleh Aluminium *alloy* 6082 yang lebih tipis dan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari kekuatan semula serta tidak mengubah sifat kimianya sehingga bila diaplikasikan pada kendaraan atau konstruksi dapat mereduksi berat dan meningkatkan kekuatan mekaniknya sekaligus mereduksi berat kendaraan atau konstruksi, sedangkan proses *annealing* bertujuan untuk mengembalikan ukuran butir kristal menjadi lebih bulat, meningkatkan keuletan, dan mengurangi tegangan sisa yang bisa menyebabkan Aluminium *Alloy* 6082 menjadi getas.

Cold Rolling

Cold Rolling adalah proses pengerolan untuk menipiskan material yang dilakukan dibawah suhu rekristalisasi, *Cold Rolling* dilakukan pada suhu ruangan. Pada pengerjaan dingin diperlukan gaya yang lebih besar dari pada pengerjaan panas dan mengakibatkan sifat mekanis logam akan meningkat dengan signifikan. Pada proses pengerolan dingin (*Cold Rolling*) terjadi perubahan deformasi dan perubahan butir dari butir *equiaxed* menjadi butir yang memanjang. Jumlah pengerjaan dingin yang dapat dialami logam tergantung kepada kekuatan logam tersebut, semakin ulet suatu logam, maka makin besar pengerjaan dingin yang dapat dilakukan. Logam murni relatif lebih mudah mengalami deformasi daripada logam paduan, hal ini karena penambahan unsur paduan cenderung meningkatkan kekuatan mekanis dan kekerasan dari logam murni tersebut. Skema *cold rolling* ditunjukkan pada Gambar 1.

PENGARUH VARIASI REDUKSI KETEBALAN *COLD ROLLING* SERTA SUHU *ANNEALING*
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK ALUMINUM *ALLOY 6082-T6*



Gambar 1 Skema *cold rolling* (Myron, 1986)

Dengan: h_0 : ketebalan awal

H_1 : ketebalan akhir

L_0 : lebar sebelum masuk *roll*

L_1 : lebar setelah keluar *roll*

V_0 : kecepatan sebelum masuk *roll*

V_1 : kecepatan setelah keluar *roll*

t_0 : tebal awal

t_1 : tebal setelah keluar *roll*

r : reduksi

Asumsi dalam pengerjaan *cold rolling*:

1. Koefisien gesekan μ dianggap konstan.
2. Semua bagian metal terdeformasi merata.
3. *Volume metal* tetap, baik sebelum pengerolan ataupun sesudah pengerolan.

Kecepatan *roll* dianggap konstan

Annealing

Perlakuan panas yang umum dilakukan pada paduan aluminium adalah *Annealing* dan penguatan pengendapan (*Precipitation Hardening*). Proses *Annealing* sendiri pada logam Al dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu: *Anneal* proses, *Anneal* Homogenisasi dan *Anneal Stress Relief*.

1. *Anneal Proses*

Prosedur dan fungsi *Anneal* pada aluminium sama seperti yang dilakukan pada baja, hanya rentang temperatur prosesnya lebih rendah, yaitu sekitar 150°-250°C, sedangkan laju pendinginannya adalah 28°C/jam sampai suhunya sama dengan suhu ruangan.

2. *Anneal Homogenisasi*

Proses ini akan menghomogenisasi struktur yang tidak seragam akibat proses pengerolan, sehingga sifat mekanik paduan akan seragam pada setiap bagian. Temperatur *Anneal* yang digunakan bervariasi tergantung pada paduannya, biasanya lebih tinggi dibandingkan temperatur pada *Anneal Proses*

3. *Anneal Stress Relieft*

Proses *Anneal* ini penting untuk mendapatkan dimensi yang lebih presisi pada komponen aluminium. Waktu *Anneal Stress Relieft* dibutuhkan sekitar 15 menit. *Anneal Stress Relieft* dilakukan setelah proses permesinan untuk menghilangkan tegangan sisa. *Anneal Stress Relieft* akan menurunkan sifat mekanis paduan Aluminium, sehingga harus dilakukan hanya sebatas tercapai nilai optimalnya.

Mekasisme penguatan Aluminium

Aluminium dapat diubah sehingga memiliki kekuatan yang lebih tinggi sesuai dengan kebutuhan dan aplikasinya, mekanisme penguatan aluminium dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Penguatan regangan

Pengerasan regangan (*strain hardening*) adalah penguatan yang terjadi ketika logam dideformasi plastik. Apabila logam diregang sampai terjadi deformasi plastis, maka logam tersebut akan mengalami pengerasan regangan. hal ini berakibat peningkatan kekuatan mekanisnya.

2. Penguatan larutan padat

penguatan larutan padat (*solid solution streng hardening*) adalah penguatan yang terjadi akibat penambahan unsur paduan, yang larut dalam bentuk larutan padat substitusi atau larutan padat intertisi.

3. Penguatan presipitasi

Pengerasan presipitasi (*presipitation hardening*) adalah penguatan yang terjadi akibat munculnya fasa baru berupa senyawa antarlogam (*intermetallic*). Pembentukan fasa baru dipicu oleh penambahan unsur paduan pada logam yang membentuk larutan padat.

Uji Hipotesis

Uji hipotesis merupakan prosedur yang berisi sekumpulan aturan yang menuju kepada suatu keputusan apakah akan menerima atau menolak hipotesis mengenai parameter yang telah dirumuskan sebelumnya. Hipotesis merupakan pernyataan atau dugaan mengenai ukuran (misalnya rerata atau variansi) yang ada di satu atau lebih populasi. Sejalan dengan pengertian parameter, maka hipotesis menduga nilai parameter disatu atau lebih populasi.

Pada umumnya, hipotesis dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu hipotesis nol dan hipotesis alternatif. Pada dasarnya hipotesis nol adalah hipotesis yang menyatakan tidak adanya perbedaan atau tidak adanya korelasi (hubungan). Sebaliknya, hipotesis alternatif adalah hipotesis yang menyatakan adanya perbedaan atau adanya korelasi. Hipotesis nol dilambangkan dengan H_0 . Hipotesis alternatif dilambangkan dengan H_1 (atau H_a). Penolakan hipotesis nol mengakibatkan penerimaan hipotesis alternatif. Begitu juga sebaliknya.

Uji hipotesis ini menggunakan aturan keputusan untuk "menolak" atau "tidak menolak" hipotesis yang diajukan, dengan menyatakan taraf signifikansi yang digunakan. Taraf signifikansi dinyatakan dalam persen (%). Persentase itu menunjukkan besarnya kemungkinan kekeliruan dalam kesimpulan yang menolak hipotesis *null* dibawah pengandaian hipotesis nul itu benar. Taraf kekeliruan tersebut sering disebut kesalahan tipe I atau taraf kesalahan alfa (α). Jika peneliti menentukan taraf signifikansi 5%, maka berarti peneliti bersedia menerima kemungkinan

kesalahan menolak hipotesis *null* yang benar sebanyak-banyak 5%. Komplemen dari taraf signifikansi adalah taraf kepercayaan. Untuk taraf signifikansinya 5%, taraf kepercayaannya sebesar 95%.

Analisis Variansi (ANAVA)

Prosedur ANAVA (Analisis Variansi) atau ANOVA (*Analysis of Variance*) merupakan suatu prosedur yang dilihat dari variansi-variansi yang muncul karena adanya beberapa perlakuan untuk menyimpulkan ada atau tidaknya perbedaan rerata pada populasi tersebut. Jika dikaitkan dengan rancangan eksperimen, prosedur uji ini bertujuan untuk menguji ada atau tidaknya perbedaan efek beberapa perlakuan (faktor) terhadap variabel terikat (Yamin, 2009).

Analisis variansi memiliki 2 tipe yaitu :

1. Analisis variansi 1 jalan : yaitu metode untuk menguraikan keragaman total data menjadi komponen-komponen yang mengukur berbagai sumber keragaman dengan menggunakan *one way ANOVA* dengan satu perlakuan.
2. Analisis variansi 2 jalan : yaitu metode untuk menguraikan keragaman total data menjadi komponen-komponen yang mengukur berbagai sumber keragaman dengan menggunakan *two way ANOVA* dengan dua perlakuan.

2. METODE PENELITIAN

Aluminum *Alloy* 6082 yang telah dipotong dengan ukuran 100 X 30 X 3 mm dipanaskan dalam tungku sampai pada suhu 415° selama 150 menit untuk mereduksi kekerasan dan meningkatkan keuletannya sesuai jurnal Umamaheshwer dkk. (2014). Selain itu juga untuk menghilangkan tegangan sisa yang masih terkandung didalamnya. Setelah selesai proses pemanasan, Aluminum *Alloy* 6082 didinginkan didalam tungku sampai suhunya sama dengan temperatur ruangan.

Plat Aluminum *Alloy* 6082 direduksi tiga kali menggunakan metode *multi pass rolling* dengan pengurangan masing-masing menjadi 2,5 mm (16,7%), 2 mm (33%), dan 1,5 mm (15%). Selanjutnya dilakukan *annealing* dengan variasi suhu 275°C, 325°C dan 375°C selama 5 menit. Selain itu logam induk juga diuji. Variasi pengujian ditunjukkan pada Tabel 1 dan jumlah spesimen yang diuji ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Variasi pengurangan ketebalan dengan suhu *Annealing*

PENGARUH VARIASI REDUKSI KETEBALAN *COLD ROLLING* SERTA SUHU *ANNEALING*
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK ALUMINUM *ALLOY 6082-T6*

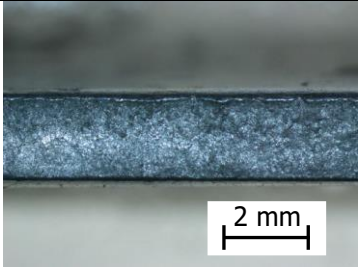
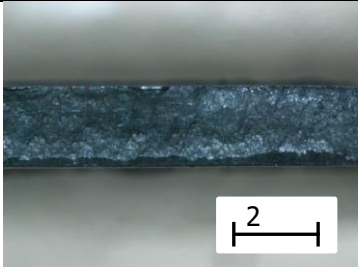
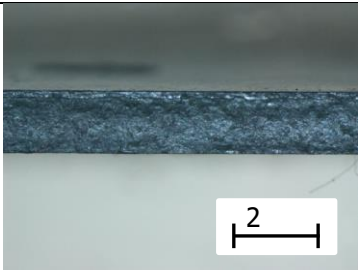
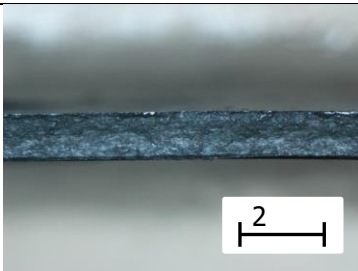
No	Ketebalan Plat (mm)	Temperatur <i>annealing</i> (°C)
1	logam induk	Tanpa <i>anneal</i>
2	2,5	Tanpa <i>anneal</i>
3	2,5	275
4	2,5	325
5	2,5	375
6	2	Tanpa <i>anneal</i>
7	2	275
8	2	325
9	2	375
10	1,5	Tanpa <i>anneal</i>
11	1,5	275
12	1,5	325
13	1,5	375

Pengujian yang dilakukan meliputi pengamatan struktur mikro, foto makro, dan pengujian kekerasan *microvicker*. Pengujian *kekerasan microvickers* berdasarkan ASTM E92. Struktur mikro menggunakan mikroskop mikro dengan larutan etsa Modified Poulton's Reagent

HASIL DAN ANALISA

3.1. Foto Makro

Foto makro digunakan untuk melihat penampang samping hasil *cold rolling* berdasarkan variasi pengurangan dimensi sebelum melalui *annealing*. Foto makro juga bertujuan untuk melihat kemungkinan terjadi keretakan pada spesimen. Gambar dari perubahan dimensi setelah proses pengerolan ditunjukkan pada Gambar 2

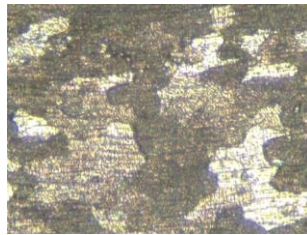
Ketebalan	Foto Makro
3 mm	
2,5 mm	
2 mm	
1,5 mm	

Gambar 2 Foto makro hasil *cold rolling*

Dari Gambar 2 tidak terjadi keretakan, hal ini menunjukkan bahwa proses *multipass rolling* aman digunakan untuk AA 6082-T6, tidak adanya keretakan disebabkan proses *annealing* sebelum dilakukan pengeloran. Dengan proses tersebut dapat menurunkan tegangan sisa, mempermudah proses pembentukan, serta dapat meningkatkan keuletan (Myron, 1987).

3.2. Hasil Uji Mikro

Uji struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik pada penampang melintang spesiment hasil *cold rolling* untuk mengetahui perubahan bentuk batas butir. Sebelum dilakukan pengamatan dengan mikroskop optik spesimen dietsa terlebih dahulu dengan menggunakan larutan *modified poulton's reagent* (40 ml HNO₃, 42.5 ml Aquades, 30 ml HCl, 2,5 ml HF dan 12 g CrO₃) dengan waktu pencelupan selama 30 detik.



Gambar 3 Struktur mikro logam induk AA 6082-T6

Gambar menunjukkan perubahan struktur mikro menjadi lebih bulat seiring meningkatnya suhu *anneal*, selain itu *annealing* pada aluminum seri 6 akan merubah fasa β dengan menurunkan kadar fasa β yang berakibat aluminum menjadi lebih lunak. Pada proses *anneal* yang dilakukan setelah proses pengerolan mempengaruhi bentuk batas butir, semakin tinggi suhu *anneal* akan membuat bentuk batas butir menjadi lebih tebal. Hal ini sesuai dengan penelitian Di dkk. (2013) yaitu *recrystallized grains* pada aluminum akan memperbaiki batas butir yang terdislokasi akibat proses pengerolan.

Selain itu gambar juga didapatkan hasil struktur mikro semakin memipih seiring dengan besarnya reduksi ketebalan, hal ini disebabkan intensitas dislokasi yang meningkat akibat deformasi plastis setelah proses pengerolan. Semakin besar intensitas dislokasi maka kekerasan aluminum *alloy* 6082 semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan penelitian Umamaheshwer dkk. (2014) yaitu bentuk butir semakin menipis seiring dengan besarnya reduksi ketebalan.

Analisa Data Pengujian Kekerasan

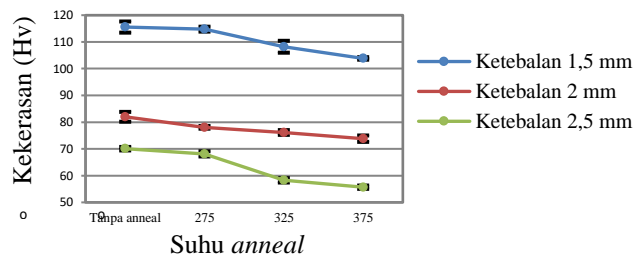
Indentor ditekan dengan gaya sebesar 200 gf, beban ini ditekankan pada periode selama 10 detik (*Standart Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials, 2002*). Pengujian keras vickers dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada setiap variasi percobaan. Sebelumnya telah dilakukan uji kekerasan pada logam induk dan didapatkan kekerasan rata sebesar 53,08 Hv.

Hasil pengukuran kemudian dianalisis menggunakan Analisis Variansi dua jalur (*two way ANOVA*) untuk menguji ada atau tidaknya perbedaan efek beberapa variabel bebas (reduksi ketebalan dan suhu *anneal*) terhadap satu variabel terikat (data kekerasan) menggunakan *SPSS (Statistical Product and Service Solution)* versi 17. Analisis interaksi antara reduksi ketebalan dan suhu *anneal* terhadap kekerasan pada ditunjukkan pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2 Hasil Analisis Program SPSS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Corrected Model	25130,67 8 ^a		2284,6 07	1496,38 6	0,000
Intercept	420626,0 28	1	42062 6,028	275504, 194	0,000
Ketebalan	23733,89 7	2	11866, 949	7772,68 6	0,000
<i>Anneal</i>	1253,502	3	417.83 4	273,675	0,000
Ketebalan* <i>Anneal</i>	143,279	6	23.880	16.641	0,000
Error	73,284	4 8	1,527		
Total	445829,9 90	6 0			
Corrected Total	25203,96 2	5 9			

Berdasarkan hasil Tabel analisis SPSS terlihat bahwa tingkat signifikansi hubungan antara reduksi ketebalan terhadap kekerasan adalah $0,000 < 0,05$ (tingkat signifikansi yang telah ditentukan) sehingga H_{0A} ditolak jadi H_{1A} diterima. Dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh antara reduksi ketebalan terhadap kekerasan. Nilai signifikansi hubungan antara *anneal*/terhadap kekerasan adalah $0,000 < 0,05$ sehingga H_{0B} ditolak maka H_{1B} diterima. Maka dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh antara *anneal* terhadap kekerasan. Begitu pula nilai taraf signifikansi hubungan antara reduksi ketebalan dan *anneal* $0,000 < 0,05$. Sehingga H_{0AB} ditolak. Dengan ini artinya ada korelasi antara reduksi ketebalan dan suhu *anneal*/terhadap kekerasan.

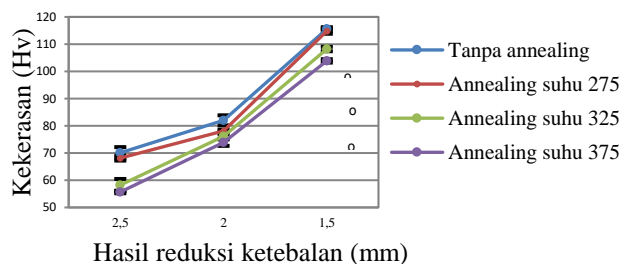


Gambar 5 Tabel nilai kekerasan mikro Vickers terhadap suhu *anneal*

Berdasarkan Gambar 5 tingkat kekerasan pada reduksi ketebalan 50% atau pada ketebalan 1,5 mm didapatkan nilai tertinggi pada variasi tanpa *anneal* sebesar 115,56 Hv. Pada reduksi ketebalan 50% dengan suhu *anneal* 275°C diperoleh kekerasan 114,78 Hv. Sedangkan pada reduksi ketebalan 50% dengan suhu *anneal* 325°C dan 375°C didapatkan kekerasan masing-masing 108,20 Hv dan 103,84 Hv. Pada reduksi ketebalan 66,67% atau ketebalan 2 mm juga didapatkan kekerasan tertinggi pada variasi tanpa *anneal* yaitu sebesar 82 Hv, kekerasan reduksi ketebalan 66,67% dengan variasi suhu *anneal* 275°C, 325°C, dan 375°C didapatkan turun bertahap sebesar 78,06 Hv; 76,14 Hv; dan 73,83 Hv. Hal ini juga terjadi pada reduksi 83,33% atau reduksi ketebalan 2,5 mm pada variasi tanpa *anneal*, variasi suhu *anneal* 275°C, variasi suhu *anneal* 325°C, dan variasi suhu *anneal* 375°C didapatkan kekerasan sebesar 70,08 Hv; 68,14 Hv; 58,24 Hv, dan 55,88 Hv. Dari Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin besar suhu *annealing* maka semakin turun nilai kekerasannya. Hal ini disebabkan *annealing* setelah proses *cold rolling* dapat memperbaiki ukuran batas butir terutama panjang butir tetapi menurunkan kekerasannya karena terjadi perubahan presipitasi pada fasa β yang berkurang seiring dengan besarnya suhu *anneal*. Ini sesuai dengan penelitian Farshidi dkk. (2015), *Annealing* mengakibatkan pengurangan fasa β sehingga berakibat pelunakan pada aluminium dan menurunkan dislokasi. *Annealing* mengakibatkan pembentukan kembali batas butir, memperbaiki *formability*, dan meningkatkan keuletannya tetapi akan menurunkan kekerasan (Umamaheshwer dkk, 2014).

Sedangkan Gambar 6 menunjukkan pengaruh reduksi ketebalan terhadap nilai kekerasan. Pada reduksi 83,33% atau ketebalan 2,5 mm tanpa *anneal* didapatkan kekerasan sebesar 70,08 Hv., reduksi ketebalan 66,67% atau ketebalan 2 mm tanpa

anneal kekerasannya adalah 82 Hv, sedangkan reduksi ketebalan 50% atau pada ketebalan 1,5 mm tanpa perlakuan *anneal* didapatkan kekerasan paling tinggi dengan nilai 115,56 Hv. Pada variasi suhu *anneal*/275°C dengan ketebalan 2,5 mm; 2 mm; dan 1,5 mm diperoleh kekerasan yang meningkat yaitu 68,14 Hv; 78,06 Hv; dan 114,78 Hv. Variasi suhu *anneal*/325° dengan ketebalan 2,5 mm; 2 mm; dan 1,5 mm diperoleh kekerasan yang meningkat dengan nilai 58,24 Hv; 76,14 Hv; dan 108,20 Hv.



Gambar 6 Tabel nilai kekerasan mikro Vickers terhadap reduksi ketebalan

Meningkatnya kekerasan juga terjadi pada variasi suhu *anneal*/375° dengan ketebalan 2,5 mm; 2 mm; dan 1,5 mm diperoleh kekerasan yang meningkat dari 55,88 Hv; 73,82 Hv; sampai 103,84 Hv. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar reduksi ketebalan maka kekerasan semakin meningkat yang diakibatkan deformasi plastis pada batas butir yang akan membuat batas butir semakin padat karena proses pengerolan. Selain itu proses *cold rolling* sangat efektif untuk meningkatkan kekerasan karena dapat meningkatkan intensitas dari dislokasi (Di, 2013). Dari penelitian yang telah dilakukan memperlihatkan semakin tinggi reduksi ketebalan maka semakin tinggi kekerasannya hal ini dibuktikan dengan batas butir yang memipih karena deformasi plastis secara makro dan dislokasi yang semakin besar secara mikro. Sedangkan *Annealing* dapat menurunkan kekerasannya karena mengakibatkan pembesaran pada batas butir.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan analisa data dan pembahasan dari penelitian tentang pengaruh variasi suhu *anneal* terhadap sifat fisik dan mekanik AA 6082-T6 hasil reduksi *cold rolling* adalah sebagai berikut:

1. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada reduksi ketebalan 50% atau ketebalan akhir 1,5 mm tanpa variasi suhu *anneal* dengan nilai 115,56 Hv. Ini menunjukkan bahwa

semakin besar reduksi ketebalan maka semakin besar deformasi plastis sehingga dislokasi juga meningkat, hal ini mengakibatkan kekerasan semakin tinggi.

2. Nilai kekerasan terendah dengan nilai 55,88 Hv terdapat pada reduksi ketebalan 83,33% atau ketebalan 2,5 mm dengan variasi suhu *anneal* 375°, menunjukkan bahwa annealing mengakibatkan pembesaran batas butir sehingga
3. menurunkan kekerasan.

4.2. Saran

Berdasarkan dari pengalaman dari penelitian ini, penulis merekomendasikan saran kepada peneliti selanjutnya untuk melakukan penelitian sejenis dengan penambahan uji tarik, uji geser, dan uji SEM

DAFTAR PUSTAKA

- Amari Aerospace. 2013. *Aluminium Alloy 6082*. United Kingdom. KT113DH
- ASM Handbook. 1992. *Properties and Selection: Nonferrous Alloy and Special-Purpose Material*.
- ASTM Internasional. 2002. *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. United States. 100 Barr Harbor Drive
- Chen, T., Chen, Z., Yi, L. 2014. *Effects texture on anisotropy of mechanical properties in annealed Mg-0.6%Zr-1.0%Cd sheets by unidirectional and cross rolling*. *Materials Science & Engineering A* 615 (2014) 324-330
- Chen, W., Wang, X., Hu, L, Wang, E. 2012. *Fabrication of ZK60 magnesium alloy thin sheets with improved ductility by cold rolling and annealing treatment*. *Materials and Design* 40 (2012) 319–323
- Djaprie, S. 1992. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta. Erlangga
- Farsidi, M.H., Kazeminezhad, M., Miyamoto, H. 2015. *Microstruktire and mechanical properties of an Al-Mg-Si tube processes by severe plastic deformation and subsequent annealing*. *Materials Science & Engineering A* 640 (2015) 42-50
- Hatch, J.E. 1984. *Aluminum: Properties and Physical Metallurgy*. ASM International. Ohio.
- Khurmi, R.S. 2005. *Machine Design*. India. Ram Nagar New Delhi
- Liu, D., Liu, Z., Wang, E. 2014. *Effect of rolling reduction on microstructure, texture, mechanical properties and mechanical anisotropy of AZ31 magnesium alloys*. *Materials Science & Engineering A* 612 (2014) 208–213
- Li, H., Mao, Q., Fang, B., Zheng, Z. 2015. *Enhancing mechanical properties of Al-Mg-Si-Cu sheets by solution treatment substituting for recrystallization annealing before the final cold rolling*. *Materials Science & Engineering A* (2015) 204-212
- Myron, L. 1987. *Manufacturing Processes*. Singapore. Addison-Wesley Publishing Company
- Surdia, T., Saito, S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta. Pradnya Paramita
- Umamaherhwer, A.C., Vasu, V., Govindaraju, M., Sai, K.V. 2014. *Influence of Cold Rolling and Annealing on the Tensile Properties of Aluminum 7075 Alloy*. *Procedia Materials Science* 5 (2014) 86-95
- Wu, D., Tang, W., Chen, R., Han, E. 2013. *Strength enhancement of Mg–3Gd–1Zn alloy by cold rolling*. *Trans, Nonferrous Met, Soc, China* 23(2013) 301-306
- Yamamoto, A., Kajura, T., Tsukamoto, M., Okai, D. 2014. *Effect of intermediate annealing and cold-rolling on recrystallization texture in 1050 aluminum*. *Procedia Engineering* 81 (2014) 215-220
- Yamin, S., Kurniawan, H. 2009. *Teknik Analisis Statistik Terlengkap dengan Software SPSS*. Jakarta. Salemba Infotek

Rian Cahya Putra¹, Indri Yaningsih², Teguh Triyono²