

EFEK TINGKAT DEFORMASI DAN LUBRIKASI PADA KARAKTERISTIK KEKERASAN DAN KEKASARAN PERMUKAAN PADA PROSES PENARIKAN BATANG ALUMINIUM 6061

YASRIL MAHYUDDIN, HAIRUL ARSYAD

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

e-mail: yasrily7@gmail.com

Abstrak

Proses penarikan batang logam merupakan salah satu cara proses pembentukan logam, logam direduksi dengan cara ditarik melewati cetakan terbuka dengan menggunakan mesin tarik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan, kekerasan dan cacat permukaan aluminium 6061 yang terjadi setelah proses penarikan. Pada penelitian ini tingkat deformasi divariasikan dengan menggunakan diameter batang AL 6061 yang berbeda-beda. Kondisi penarikan divariasikan dengan pelumasan dan tanpa pelumasan. Diameter aluminium 6061 yang digunakan adalah 8,4 mm; 8,5 mm; 8,6 mm; dan 8,7 mm dengan diameter cetakan sebesar 8 mm. Pelumasan yang digunakan adalah oli mesin SAE 40. Kecepatan penarikan dilakukan pada 2 mm/menit. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kekerasan yang paling tinggi pada diameter 8,7 mm menggunakan pelumas yaitu 104,2 HV dan nilai kekerasan yang tinggi tanpa pelumas yaitu pada diameter 8,7 mm dengan nilai kekerasan yang dihasilkan sebesar 101,2 HV. Dari hasil penarikan aluminium 6061 dengan diameter yang bervariasi diperoleh bahwa perbedaan diameter awal berkontribusi signifikan pada tingkat kekerasan demikian pula dengan penggunaan pelumasan yang memiliki tingkat kekerasan lebih tinggi dibanding tanpa pelumasan. Berdasarkan pengukuran nilai kekasaran diperoleh peningkatan kekasaran permukaan dengan naiknya diameter penarikan. Sementara itu penggunaan pelumasan ternyata memberikan efek negatif pada kekasaran permukaan.

Kata Kunci: Penarikan batang logam, Aluminium 6061, deformasi, pelumasan, kekerasan, kekerasan.

Abstract

The process of drawing metal rods is one of metal forming processes, metal is reduced by pulling out through an open mold. This study aims to determine the roughness, hardness and surface defects of aluminum 6061 after the drawing process. In this study the degree of deformation was varied using different diameters of the Al 6061 rod. Drawing conditions varied with lubrication and without lubrication. The diameter of the 6061 aluminum used is 8.4 mm; 8.5mm; 8.6mm; and 8.7 mm with diameter hole of dies is 8 mm. The lubrication used is SAE 40 oil. The drawing speed is carried out at 2

mm/minute. From hardness test results obtained the highest hardness value at 8.7 mm in diameter using a lubricant that is 104.2 HV and a high hardness value without lubricant that is at 8.7 mm in diameter with a resulting hardness value of 101.2 HV. From the withdrawal results of aluminum 6061 with various diameters, it was found that the difference in initial diameter contributed significantly to the level of hardness as well as the use of lubrication which had a higher level of hardness than without lubrication. Based on the measurement of the roughness value, it is obtained that the surface roughness increases with the increase in the drawing diameter. Meanwhile the use of lubrication turned out to have a negative effect on surface roughness.

I. Pendahuluan

Proses penarikan logam merupakan proses pembentukan logam dimana logam direduksi penampangnya dengan cara ditarik melewati cetakan dengan menggunakan mesin tarik. Gesekan antara logam dan cetakan (*die*) menyebabkan penurunan kualitas permukaan logam, pada proses penarikan logam memiliki beberapa faktor. Salah satu faktor yang sangat perlu diperhatikan adalah penggunaan pelumas pada saat proses penarikan berlangsung antara logam dan cetakan. Pelumasan tersebut berguna mengurangi beban penarikan dan memperbaiki kualitas permukaan hasil penarikan [1]

Dalam proses penarikan, diameter logam direduksi dengan menarik logam melalui cetakan. Variable utama dalam proses penarikan logam termasuk rasio reduksi, sudut cetakan, gesekan pada logam dengan cetakan (*die*), dan kecepatan pada saat proses penarikan. Deformasi plastis dari logam dan panas yang dihasilkan karena gesekan antara logam dan cetakan (*die*) meningkatkan suhu pada cetakan. Peningkatan produktivitas mengakibatkan kesulitan dalam pembuatan produk yang ditarik dengan diameter yang ditentukan karena ekspansi termal yang tidak terkendali dari cetakan [2]

Penarikan logam mempengaruhi sifat mekanik dari logam yaitu regangan dan kekuatan tariknya, persentase nilai perubahan sifat belum banyak yang mengetahui. Penarikan logam mampu menunjukkan perubahan sifat tersebut dan parameter yang mempengaruhi sifat tersebut adalah sudut cetakan, temperatur dan jenis logam yang ditarik. Saat proses penarikan logam melalui cetakan terjadi deformasi plastis pada logam tersebut ketika beban yang diberikan melebihi kekuatan luluh dan dibawah kekuatan patah pada logam. Untuk proses penarikan logam dikatakan berhasil, apabila tegangan tarik tidak boleh melebihi tegangan aliran.

Jika komposisi bahan tidak seragam, rongga atau inklusi terak yang ada dalam logam, akan menyebabkan patah pada batang logam pada saat

proses penarikan. Selain itu gesekan mempunyai peran penting pada saat proses penarikan logam dengan mengacu pada cacat permukaan dan kerusakan logam yang dapat diakibatkan oleh kondisi kontak permukaan. Dengan nilai koefisien gesek yang sangat tinggi, dapat menyebabkan pelekatan material logam dengan cetakan sehingga menyebabkan cacat pada permukaan logam [3]

Berdasarkan penelitian mengenai penarikan logam ada beberapa yang memiliki pengaruh yang cukup kuat terhadap sifat mekanik logam dari hasil penarikan yaitu, gaya penarikan, desain cetakan, dan kecepatan penarikan, komposisi dan karakteristik logam, dan pelumas. Penggunaan sudut cetakan yang besar, akan meningkatkan produksi hasil penarikan akan tetapi juga dapat memperbesar jumlah kerusakan pada saat proses produksi. Kecepatan penarikan pada proses ini juga berpengaruh terhadap sifat mekanik logam [4]

Pelumas sangat penting pada saat proses penarikan logam karena fungsi pelumas sebagai media pendingin yang membantu mengurangi suhu pada cetakan sehingga dapat memperpanjang umur cetakan. Ada beberapa variabel yang mempengaruhi umur cetakan pada saat proses penarikan adalah tekanan dan suhu. Suhu adalah faktor yang jauh lebih kritis dalam mengendalikan umur cetakan. Tingkat deformasi dapat meningkatkan suhu penarikan sehingga berdampak pada stabilitas kinerja pelumas [5]

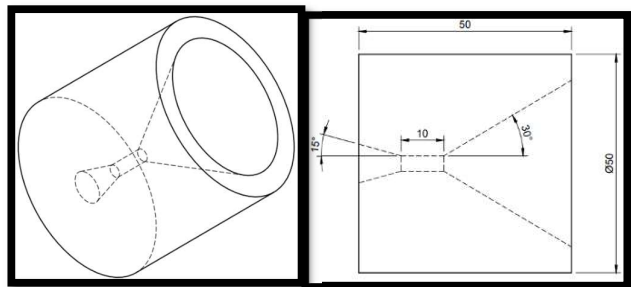
Penarikan merupakan suatu proses pembentukan logam dengan cara menarik *wire rod* logam Batangan melalui dies atau cetakan oleh gaya tarik yang bekerja pada bagian luar dan ditarik ke arah luar cetakan. Terjadinya aliran plastis pada pembentukan ini disebabkan oleh adanya gaya tekan yang timbul sebagai reaksi dari logam terhadap cetakan [6]

Pada proses penarikan batang dilihat dari temperatur kerjanya termasuk kepada proses pengerjaan cold working karena dilakukan pada temperatur di bawah temperatur rekristalisasi material atau logam tersebut. Pada Proses ini terjadi gaya pembentukan secara deformasi plastis sehingga terjadi perubahan bentuk secara permanen [7]. Gaya pembentukan ini berupa tekanan dan tarikan yang terjadi sewaktu benda kerja melewati dies, wire drawing diaplikasikan dalam pembuatan kabel, kawat, dan pipa [8]

Terjadinya aliran plastis pada pembentukan ini disebabkan oleh adanya gaya tekan yang timbul sebagai reaksi logam terhadap cetakan. Tujuan dari penarikan batang adalah untuk mengecilkan diameter batang. Batang logam berdiameter D1 direduksi dengan memberi gaya tarik melalui

cetakan menjadi kawat berdiameter D2. Sehingga terjadi reduksi area atau pengurangan luas penampang pada logam tersebut [9].

Dalam proses penarikan perlu diketahui gaya penarikan maupun daya penarikan untuk mengetahui sejauh mana kekuatan material tersebut ketika dilakukan proses penarikan. Diperlukan suatu alat bantu untuk membantu mengetahui gaya dan daya pembentukan tersebut, alat yang digunakan berupa load cell dan weight indikator yang disebut sebagai instrument pengukuran. Jadi instrument adalah sesuatu yang digunakan untuk membantu mempermudah proses penarikan untuk mengetahui gaya dan daya pembentukan logam [10]



Gambar 1. Proses Pembentukan logam teknologi penarikan [11]

Walaupun penarikan logam nampaknya seperti proses pengerjaan logam yang paling sederhana, analisis lengkap yang dapat menentukan gaya tarik dengan ketelitian $\pm 20\%$, merupakan persoalan yang sulit. Penggunaan model pada proses penarikan logam sebagai suatu contoh bagaimana cara menggunakan model yang mendekati kondisi actual sehingga dapat digunakan dalam penentuan parameter penarikan [11]

Penelitian kali ini bermaksud meneliti tingkat deformasi yang terjadi pada proses penarikan aluminium dengan menggunakan pelumas, material yang digunakan adalah aluminium 6061. Proses penarikan yang menggunakan cetakan berdiameter 8 mm dan diameter aluminium 6061 yang bervariasi digunakan akan mengetahui tingkat deformasi dan pengaruh pelumas terhadap permukaan dan mikrostruktur dengan menggunakan proses penarikan.

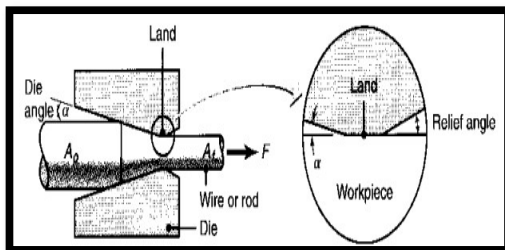
II. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen menggunakan batan paduan Al 6061 sebagai sampel. Spesimen yang digunakan memiliki diameter 8,4 mm, 8,5 mm, 8,6 mm dan 8,7 mm, dengan panjang total 150 mm. Namun proses penarikan dilakukan hanya sebatas panjang 30 mm. Diameter ujung pada

batang logam aluminium diperkecil sesuai diameter lubang cetakan untuk aluminium dapat dicekam sebelum aluminium ditarik melalui cetakan

2.1 Pembuatan cetakan

Cetakan menggunakan bahan dari baja silinder pejal dengan panjang 50 mm dan diameter 50 mm. Pembuatan cetakan dilakukan dengan proses pembubutan untuk membuat lubang cetakan (*dies*) yang berbentuk kerucut dengan diameter lubang cetakan yang digunakan yaitu 8 mm dan sudut kemiringan lubang 10°



Gambar 2. Disain Cetakan

Proses penarikan pada aluminium 6061 menggunakan diameter bervariasi yaitu 8,4 mm, 8,5 mm, 8,6 mm dan 8,7 mm dengan diameter lubang cetakan (*dies*) 8 mm, terjadi deformasi plastis pada aluminium saat ditarik melalui cetakan. Penggunaan pelumas pada saat penarikan untuk mengurangi gesekan terhadap cetakan dan aluminium 6061 yang ditarik melewati cetakan.

2.2 Pelaksanaan proses penarikan

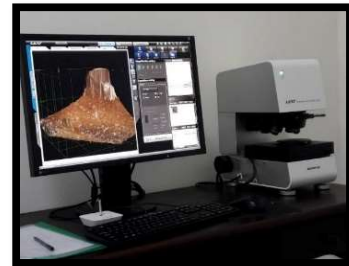
Penarikan batang Al6061 dilakukan menggunakan mesin uji tarik dengan melakukan modifikasi pada bagian pencekam. Pencekam bagian atas dari mesin uji tarik berfungsi mencekam cetakan dan pencekam bagian bawah berfungsi menarik paduan AL 6061 keluar dari cetakan. Diameter lubang cetakan sebesar 8 mm sehingga sebelum penarikan, bagian ujung sampel direduksi diameternya terlebih dahulu sehingga dapat melalui lubang cetakan. Proses penarikan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. Proses penarikan batang Al6061

2.3 Pengujian Kekasaran dan Cacat Permukaan

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian nilai kekasaran, kekerasan permukaan, dan deteksi cacat permukaan. Pengujian kekasaran permukaan dan cacat permukaan pada logam aluminium 6061 setelah proses penarikan menggunakan mikroskop Laser 3D *Measuring Laser Microscope OLS4100*.



Gambar 4. Mikroskop 3D *Measuring Laser Microscope OLS4100*

2.4 Pengujian Kekerasan

Kekerasan merupakan suatu ketahanan pada material terhadap goresan atau penetrasi pada permukaan material. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material aluminium 6061 pada beberapa bagian, untuk mengetahui distribusi kekerasan rata-rata dari semua bagian batang hasil penarikan. Pengujian dilakukan menggunakan alat uji kekerasan Vickers seperti tampak pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. Alat uji kekerasan Vickers yang digunakan

III. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Kekerasan

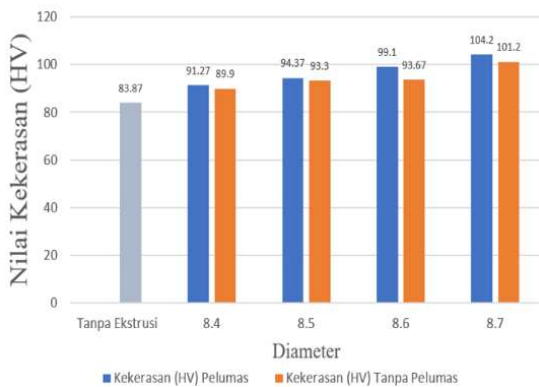
Pengujian kekerasan ini untuk mengetahui nilai kekerasan aluminium yang telah melalui proses penarikan dengan variasi diameter dan pelumasan. Pengujian kekerasan ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Mesin Fakultas

Teknik Universitas Hasanuddin Universitas Hasanuddin, pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Vickers* (HV). Nilai kekerasan pada aluminium 6061 dengan variasi diameter dan pelumasan dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Nilai Kekerasan hasil penarikan

Diameter Awal	Kecepatan Penarikan	Kekerasan (HV)	
		Pelumas	Tanpa Pelumas
Tanpa Ekstrusi	2mm/menit	83.87	83.87
8.4		91.27	89.9
8.5		94.37	93.3
8.6		99.1	93.67
8.7		104.2	101.2

Tabel 1 diatas memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan nilai kekerasan dengan naiknya diameter batang yang akan direduksi. Peningkatan kekerasan ini berkaitan dengan besarnya deformasi yang dibutuhkan untuk mereduksi diameter yang lebih besar. Semakin besar diameter awal maka semakin tinggi beban tarik yang dibutuhkan sehingga batang logam akan mengalami kombinasi tegangan pada permukaannya.



G:

nilai kekerasan setelah penarikan

Pada gambar 6 menunjukkan nilai kekerasan aluminium 6061 dengan variasi diameter dan pelumasan (pelumas) setelah melalui proses penarikan atau reduksi. Nilai kekerasan meningkat dari kekerasan awal sebelum proses penarikan. Nilai kekerasan awal sebesar 83,87 HV dan nilai kekerasan maksimum diperoleh sebesar 104.2 HV. Dari gambar 5 juga terlihat bahwa penggunaan pelumas menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan tanpa pelumasan.

Penggunaan pelumas ditujukan

untuk mengurangi gesekan antara sampel dan cetakan sehingga dapat menurunkan gaya penarikan, kehadiran pelumas juga berfungsi menurunkan temperature cetakan. Adanya peneningkatan kekerasan akibat penggunaan pelumasan dapat disebabkan oleh terjadinya efek tekanan hidrostatik pada permukaan sampel. Tambahan tekanan hidrostatik tersebut disertai dengan tekanan akibat beban penarikan menyebabkan terjadinya peningkatan kekerasan pada permukaan sampel. Namun demikian peningkatan kekerasan tersebut tidak terlalu besar dan signifikan.

3.2 Perubahan Panjang Sampel

Tabel 2 memperlihatkan perbedaan panjang sampel setelah dilakukan proses penarikan. Panjang penarikan untuk setiap diameter batang Al 6061 adalah 30 mm. Dari table 2 terlihat bahwa semakin besar diameter sampel maka semakin besar pula panjang hasil penarikan. Hal ini dapat dimengerti melalui hubungan volume konstan. Diameter batang yang lebih besar memiliki volume yang lebih besar. Dengan lubang cetakan yang sama maka akan menyebabkan panjang penarikan lebih besar pada sampel dengan diameter yang lebih besar.

Tabel 2 juga memperlihatkan adanya efek pelumasan pada panjang penarikan. Pemberian pelumasan menyebabkan panjang penarikan cenderung lebih kecil dibanding tanpa pelumasan. Namun demikian efek pelumasan menjadi tidak signifikan untuk diameter batang yang besar. Hal ini terlihat pada diameter 8.7 mm dimana pelumasan justru menghasilkan panjang penarikan sedikit lebih besar dibanding tanpa pelumasan.

Tabel 2. Data hasil penarikan

Diameter Awal (mm)	Panjang Awal (cm)	Diameter (mm)	Data Hasil Penarikan	
			Pelumas	Tanpa Pelumas
8.4	3 cm	8	3.36	3.38
8.5		8	3.42	3.48
8.6		8	3.51	3.52
8.7		8	3.61	3.59

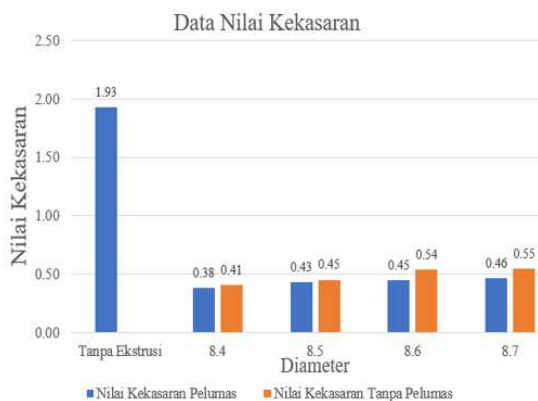


Gambar 7. Spesimen hasil penarikan aluminium 6061; (a) hasil penarikan menggunakan pelumas; (b) hasil penarikan tanpa pelumas.

Gambar 7 memperlihatkan sampel setelah proses penarikan, gambar 7a adalah sampel dengan pelumas dan gambar 7b tanpa pelumas.

3.3. Hasil Pengujian Kekasaran

Proses penarikan aluminium 6061 yang melewati cetakan yang berukuran 8 mm memiliki pengaruh terhadap kekasaran permukaan. Pengujian kekasaran aluminium 6061 menggunakan Mikroskop laser dengan mengambil tiga titik pengujian pada daerah permukaan proses penarikan. Nilai kekasaran yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 8.



terhadap nilai nilai kekasaran permukaan untuk kondisi pelumasan dan tanpa pelumasan.

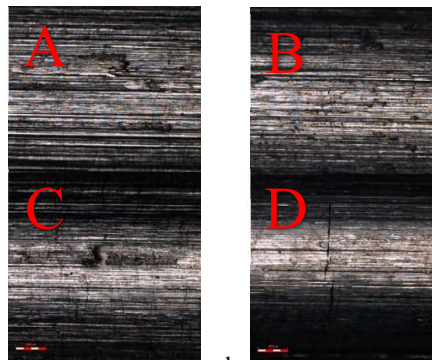
Gambar 8 memperlihatkan hubungan diameter awal sampel terhadap nilai kekasaran permukaan untuk kondisi pelumasan dan tanpa pelumasan. Pada sampel awal tanpa proses penarikan, nilai kekasaran permukaan sebesar 1.93 μm . Nilai kekasaran ini adalah nilai kekasaran pabrikan. Setelah melalui proses penarikan maka diperoleh nilai kekasaran yang turun signifikan. Penurunan nilai kekasaran permukaan tersebut diakibatkan oleh nilai kekasaran cetakan yang rendah. Nilai kekasaran cetakan yang rendah menyebabkan permukaan sampel akan mendekati nilai kekasaran cetakan.

Dari gambar 8 juga terlihat bahwa nilai kekasaran permukaan mengalami peningkatan dengan naiknya diameter awal batang. Hal ini berkaitan dengan peningkatan tegangan pada permukaan sampel dengan naiknya diameter sampel akibat deformasi yang lebih besar. Besarnya deformasi mengakibatkan gesekan semakin besar sehingga memungkinkan terjadinya goresan yang lebih dalam pada permukaan sampel. Gambar 8 juga memperlihatkan pada sampel tanpa pelumas cenderung memiliki nilai kekasaran permukaan yang lebih tinggi.

3.4 Data Pengujian Cacat Permukaan

Pengujian cacat permukaan ini bertujuan

untuk melihat cacat yang terjadi setelah Al 6061 ditarik. pengujian ini menggunakan mikroskop laser optik. Gambar 9 memperlihatkan kondisi permukaan dari sampel setelah melalui proses penarikan.



Gambar 9. Cacat yang muncul setelah proses penarikan; (a). Cacat permukaan pada diameter 8,7 mm setelah proses penarikan tanpa pelumas; (b). Cacat permukaan pada diameter 8,5 mm setelah proses penarikan tanpa pelumas; (c). Cacat permukaan pada diameter 8,4 mm setelah proses penarikan menggunakan pelumas; (d). Cacat permukaan pada diameter 8,5 mm setelah proses penarikan menggunakan pelumas;

Dari gambar 9 memperlihatkan foto cacat permukaan yang muncul pada permukaan aluminium 6061 setelah proses penarikan dengan variasi diameter menggunakan pelumas dan tanpa pelumas, cacat permukaan yang muncul adanya tonjolan pada permukaan logam seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.a, cacat ini muncul setelah direduksi dikarenakan bagian dalam cetakan terlalu kasar, pada gambar 9.b cacat permukaan yang muncul terlihat jelas pori-pori pada permukaan logam yang menimbulkan lubang kecil di permukaan.

Pada gambar 9.c dan 9.d, memperlihatkan cacat yang muncul setelah proses reduksi dilakukan dimana logam ini menggunakan pelumas pada saat proses reduksi, maka efek pelumasan menyebabkan tonjolan dan pori-pori pada permukaan batang makin tidak terlihat jelas, hal ini dikarenakan fungsi pada pelumas pada saat proses reduksi sangat berpengaruh untuk mengurangi gesekan antara logam dan cetakan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 9 dimana perbedaan antara logam yang menggunakan pelumasan dan tanpa pelumas.

IV Kesimpulan

Pada proses penarikan Aluminium 6061 dapat disimpulkan bahwa terjadinya peningkatan nilai kekerasan pada aluminium 6061 dengan variasi diameter dan lubrikasi (pelumas). Untuk nilai kekerasan awalnya yaitu 83,87 HV. Dapat saya simpulkan dilihat dari nilai kekerasan yang dihasilkan bahwa semakin tinggi tingkat deformasi

yang diberikan maka nilai kekerasan pada aluminium 6061 akan semakin tinggi. Dimana nilai kekerasan yang paling tinggi ada pada diameter 8,7 mm dengan nilai 104,2 HV dengan menggunakan pelumas. Namun untuk nilai kekasaran permukaan pada aluminium 6061 dimana nilai kekasaran yang paling tinggi yang tidak menggunakan pelumas dikarenakan pelumas berfungsi untuk mengurangi gesekan antara aluminium 6061 pada saat proses penarikan aluminium 6061. Setelah dilihat cacat permukaan yang muncul dimana terdapat garis memanjang pada setiap spesimen dan terdapat pori-pori yang muncul ini terjadi dikarenakan gesekan antara aluminium 6061 dan cetakan. Pada penelitian kali ini yang telah dilakukan, variasi diameter dan pelubrikasi (pelumas) merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kekerasan, kekasaran, cacat permukaan, dan pertambahan panjang pada aluminium 6061.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saied, E. K., Elzeiny, N. I., Elmetwally, H. T., & Abd-Eltwab, A. A. (2020). *An experimental study of lubricant effect on wire drawing process. International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(1), 560- 568
- [2] Moon, Changsun Kim, Naksoo (2012) *Analysis of wire-drawing process with friction and thermal conditions obtained by inverse engineering* *Journal of Mechanical Science and Technology*
- [3] Moharana, Bhimsen Kushwaha, Bashishth Kumar, (2017). Breakage Analysis of Aluminum wire rod in Drawing Operation. *International Research Journal of Engineering and Technology*.
- [4] Firman, M (2013). *Analisis Kekuatan Tarik dan Kekasaran Kawat Tembaga Hasil Drawing akibat Variasi Persentase Reduksi*.
- [5] Chiduwa, A. C., Nyanga, L., Mhlanga, S., Van Der Merwe, A. F., & Kanyemba, G. (2013). *Investigation of the Effects of Lubricant Fat Content on Drawn Copper Wires*.
- [6] Celentano, D.J, Palacios, M.A., Rojas, E.R., Cruchaga, M.A., Artigas, A.A., Monsalva, A.E. (2009), “*Simulation and experimental validation of multiple-step wire drawing processes*”, *Finite Element in Analysis and Design*, Vol. 45, hal. 163-180.
- [7] Asfarizal, Jamil, A. “Pengaruh Sudut Dies Terhadap Penarikan Kawat Aluminium,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 41-48, 2012.
- [8] Setyadi, I., Syawal, M. “Optimasi Proses Annealing pada Proses Fine Drawing untuk Memperbaiki Sifat Mekanis Produk Kawat Tembaga,” *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 16, no. 4, pp. 164-172, 2015.
- [9] I. M. Sas-Boca, M. Tintelecan, M. Pop, D. A. Iluțiu-Varvara, and A. M. Miha, “*The Wire Drawing Process Simulation and the Optimization of Geometry Dies*,” *Procedia Eng.*, vol. 181, pp. 187–192, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.02.368.
- [10] Kalpakjian, Serope Schmid, Stephen (2013) *Manufacturing engineering and technology, SI 6th Edition*.
- [11] Dieter, G. E., & Bacon, D. (1990). *Mechanical Metallurgy, 3rd Edition*.

