

## Studi *Age Hardening* pada Struktur Mikro, Kekerasan dan Harga Impak Aluminium-Zinc (Al-Zn) Hasil *Cold Rolling* dengan Reduksi 20%

### *Study of Age Hardening on Microstructure, Hardness and Impact of Cold Rolling Aluminum-Zinc (Al-Zn) With 20% Reduction*

Pramuko Ilmu Purboputro<sup>1\*</sup>, Fransianto Setyo Aji<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department of Mechanical Engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

<sup>1,2</sup>Jl. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Kec. Kartasura, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57169

\*Koresponden Email: [pip272@ums.ac.id](mailto:pip272@ums.ac.id)

Article Submit: 09/11/2021

Article Revision: 30/12/2021

Article Accepted: 30/12/2021

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat fisis dan mekanis pada aluminium Al-Zn setelah dilakukan proses *cold rolling* reduksi 20% dan *age hardening* dengan cara melakukan foto mikro, pengujian kekerasan dan pengujian impact. Metoda yang dilakukan adalah mengawali dengan proses pengerolan dengan reduksi 20%, kemudian diikuti dengan proses *age hardening*. Pengujian kekerasan dilakukan pada alat uji kekerasan Vickers, dan pengujian impact pada mesin uji *Charpy*. Struktur mikro dilakukan dengan alat mikroskop untuk memeriksa struktur mikro. Hasil kekerasan, kekuatan impact dan struktur mikro dibandingkan dengan spesimen sebelum perlakuan thermo-mekanisnya. Hasil pengujian kekerasan dan impact menunjukkan aluminium Al-Zn mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 9,9% setelah proses *cold rolling* yaitu 165,5 HV, dan meningkat 27,1% dengan proses *cold rolling* dan *age hardening* yaitu 191,4 HV. Namun mengalami penurunan nilai ketangguhan sebesar 19,4% yaitu dengan harga impact sebesar 0,191 J/mm<sup>2</sup> setelah di proses *cold rolling* reduksi 20% dan menurun sebesar 38,8% dengan harga impact sebesar 0,145 J/mm<sup>2</sup> setelah proses *cold rolling* reduksi 20% dan proses *age hardening*.

**Kata kunci:** Al-Zn, *Age Hardening*, *Cold Rolling*, Foto mikro

**Abstract.** In this study Aluminium was treated by cold rolling and age hardening. This study aims to determine changes in physical and mechanical properties of aluminum Al-Zn after 20% cold rolling reduction and age hardening using the microstructure testing, hardness testing and impact testing. The results of hardness testing and impact testing showed that aluminum Al-Zn have an increase in hardness about 9.9% after a cold rolling process or have 165.5 HV, and increased about 27.1% by cold rolling process with age hardening process after cold rolling, the hardness is 191.4 HV. However, the strengthness is decreased about 19.4%, with 0.191 J / mm<sup>2</sup> impact value after the cold rolling reduction process of 20% and decreased about 38.8% with 0.145 J / mm<sup>2</sup> on impact value after giving 20% cold rolling reduction process with age hardening.

**Keywords :** Al-Zn, *Age Hardening*, *Cold Rolling*, *Microstructure* .

## 1. PENDAHULUAN

Aluminium mempunyai sifat mekanik yang berbeda di setiap seri atau paduannya. Untuk meningkatkan sifat mekanik salah satunya dengan cara pengerjaan dingin seperti tempa, *rolling*, ataupun ekstrusi. Untuk membuat lembaran-lembaran aluminium dapat menggunakan proses *rolling*, baik dengan *hot rolling* maupun *cold rolling*[1].

*Cold rolling* merupakan proses pengerolan yang dilakukan pada temperatur kamar atau di bawah temperatur rekristalisasi[2]. *Cold rolling* menyebabkan terjadinya mekanisme penguatan pada benda kerja yang diikuti dengan turunnya keuletan[3]. Benda kerja menjadi lebih kuat, lebih keras tetapi lebih rapuh dan getas. Sebagian besar dari produk hasil *cold rolling* melibatkan proses lanjutan yaitu proses perlakuan panas agar dapat diaplikasikan sesuai ke spesifikasinya[4].



Dalam penelitian ini dilakukan analisa tentang perubahan sifat mekanis hasil proses pengerolan pada material aluminium paduan dan pengaruh *age hardening* setelah proses *cold rolling*[5]. Hasil yang diharapkan untuk mengetahui perubahan struktur mikro (ASTM E3) pada material akibat proses *cold rolling* dan *age hardening*, mengetahui perubahan nilai kekerasan (ASTM E384) dan harga impak *Charpy* (ASTM E23) pada material hasil *Cold rolling*[6][7][8], dan mengetahui perubahan nilai kekerasan (ASTM E384) dan harga impak *Charpy* (ASTM E23) pada material hasil *cold rolling* setelah melewati proses *age hardening*[6][7][8][9].

Supaya permasalahan yang dibahas tidak melebar maka perlu diadakan pembatasan masalah sebagai berikut:

- a. Kecepatan pengerolan dianggap konstan yaitu 17,27 mm/s.
- b. *Cold rolling* dilakukan pada temperatur ruangan.
- c. Semua bagian material terdeformasi merata.
- d. Spesimen direduksi sebesar 20 % dengan 5 kali pengerolan.
- e. Suhu tungku aging sebesar 120°C dengan *solution heat treatment* sebesar 380 dan proses *quenching* dengan air biasa pada temperatur kamar.
- f. Waktu tahan *aging* selama 20 jam.

## 2. LITERATURE REVIEW.

Utomo (2018), dalam penelitiannya tentang pengaruh *cold rolling* terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada aluminium alloy AA 5052, melakukan *remelting* pada *raw material*[10]. Material yang telah di *remelting* dilakukan proses homogenisasi dengan cara memanaskan material pada temperatur 450°C selama 6 jam, kemudian didinginkan di udara. Proses selanjutnya pengurangan ketebalan pada *cold rolling* sebesar 20% dan 40% dari ketebalan awal. Hasil proses pengerolan kemudian dipotong untuk dijadikan spesimen uji tarik, uji kekerasan dan uji struktur mikro. Sedangkan proses *cold rolling* akan membuat butiran-butiran mengalami pengecilan yang terjadi akibat adanya proses *work hardening*. Pada uji kekerasan nilai kekerasan raw material adalah 63,975 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai *remelting* mengalami penurunan yaitu 57,493 kg/mm<sup>2</sup>, begitu juga pada proses homogenisasi yang mengalami penurunan dengan nilai kekerasan sebesar 53,472 kg/mm<sup>2</sup>. Kenaikan nilai kekerasan terjadi pada proses *cold rolling* yaitu sebesar 80,356 kg/mm<sup>2</sup> pada reduksi 20% dan 88,015 Kg/mm<sup>2</sup> pada reduksi 40%. Grafik dari nilai uji tarik hampir sama dengan hasil uji kekerasan, bedanya pada uji tarik proses homogenisasi mengalami peningkatan dengan nilai antara lain 200,97 MPa pada raw material, 129,51 Mpa pada re-melting, 146,68 MPa pada homogenisasi, 164,43 MPa pada cold rolling reduksi 20% dan 206,17 MPa pada reduksi 40%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar reduksi pada material maka semakin besar pula nilai kekerasan dan kekuatannya, hal ini dikarenakan terjadinya pengecilan butiran pada struktur mikro[6][11].

Henry (2016), melakukan penelitian tentang proses *heat treatment* dengan judul Pengaruh *Heat Treatment* Terhadap Kekerasan Dan Mikrostruktur *Sprocket Drive* dan *Sprocket Driven*. Pada penelitian menggunakan tiga jenis benda uji antara lain *sprocket drive* original, KW 1 dan bekas. Hasil penelitian didapatkan bahwa material *sprocket driven* original memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 92,5 HRB, sedangkan *sprocket drive* KW 1 sebesar 80,375 HRB dan *sprocket drive* bekas didapatkan nilai kekerasan sebesar 58, 125 HRB. Pada pengujian ini juga dilakukan pendinginan dengan menggunakan variasi media pendingin yaitu air, oli dan udara. Dari tiga jenis media tersebut hasil nilai kekerasan paling tinggi yaitu pada media air, ini dikarenakan perlakuan panas dengan pendinginan media air didapatkan *ferit* 55%, sedangkan fasa *perlit* lebih berwarna gelap sebesar 45%. Kemudian untuk media pendingin oli didapatkan *ferit* 65%, sedangkan fasa *perlit* lebih

berwarna gelap sebesar 35%. Pada media pendinginan dengan udara kecenderungan masa *ferit* lebih tinggi yaitu sebesar 70 % dan *perlit* sebesar 30%[7][12].

Sofian (2011), pada penelitian dengan judul Pengaruh Penambahan Unsur Paduan Zn Terhadap Kinerja Balistik Komposit Matriks Al-Zn-6mg Berpenguat Partikel Silikon Karbida, meneliti tentang penambahan Zn pada aluminium dan melakukan proses *aging* dengan tujuan peningkatan kekerasan pada material[13]. Penambahan unsur Zn dilakukan dengan memberi unsur Zn sebesar 4%, dari prosentase awal yaitu 6% menjadi 9% Zn dengan cara peleburan logam. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa penambahan Zn sebesar 4% akan meningkatkan kekerasan dari 98,25 Hv menjadi 134,62 Hv dan memiliki penurunan pada hasil pengujian impak yaitu dari 233788 J/m<sup>2</sup>. hal ini dikarenakan unsur Zn akan membuat atom-atom akan membentuk larutan padat substitusi dan unsur Zn akan membuat material menjadi getas dan rapuh. Penambahan unsur Zn menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan nilai kekerasan dari 125,7 HVN menjadi 139,8 HVN. Hal ini dikarenakan Paduan AlZnMg merupakan paduan aluminium memberikan pengerasan pengendapan terbentuknya fasa endapan ZnMg[9][13].

### 3. METODE

#### 3.1 Bahan dan Alat

##### - Bahan

Bahan yang dipakai adalah:

- Aluminium Al-Zn, sebagai logam dasar yang akan diteliti karakteristiknya
- Resin dan Katalis, untuk pemegang spesimen saat pemeriksaan struktur mikro
- Autosol, sebagai pembersih permukaan logamnya
- Larutan *etsa*, sebagai zat *etsa* agar struktur mikronya terlihat dibawah mikroskop

##### - Alat

- Mesin *milling*, digunakan sebagai perata permukaan logam
- Alat *cold rolling*, untuk proses pengerolan agar terjadi reduksi ketebalan plat
- Alat uji komposisi bahan
- Tungku *heat treatment*, untuk proses *treatment aging*
- Alat uji *metallography* (struktur mikro), untuk memeriksa metalografi permukaan
- Alat uji impak, untuk mengetahui perbedaan ketangguhan sebelum dan setelah proses *rolling* dan *aging*.
- Alat uji kekerasan, untuk mengetahui perbandingan kekerasan sebelum dan setelah proses *rolling* dan *aging*.
- Peralatan *safety*

#### 3.2 Langkah penelitian

Langkah-langkah penelitian dilakukan sebagai berikut:

- Menyiapkan alat dan bahan
- Melakukan pengujian komposisi pada Aluminium Al-Zn
- Aluminium Al-Zn dilakukan pengerolan dingin.
- Aluminium Al-Zn hasil pengerolan diberi perlakuan panas *age hardening*
- Pembuatan spesimen pengujian sesuai standar ASTM.
- Melakukan pengujian impak, kekerasan, dan struktur mikro.

##### - Melakukan Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan dari material setelah proses *cold rolling* dan dengan perlakuan panas *age hardening*. Pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers*.

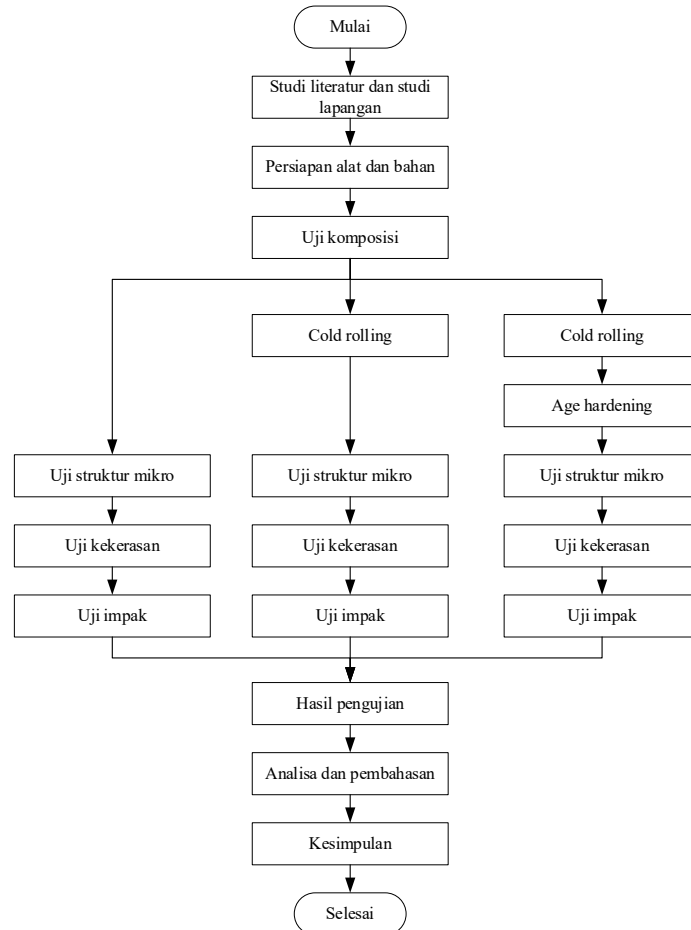
#### 4 | Pramuko Ilmu Purboputro, Fransianto Setyo Aji

Studi *Age Hardening* pada Struktur Mikro, Kekerasan dan Harga Impak Aluminium-Zink (Al-Zn) Hasil *Cold Rolling* dengan Reduksi 20%

##### - Pengujian Impak

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketangguhan bahan terhadap beban tumbukan / beban kejut. Harga impak (HI) suatu bahan yang diuji dengan metode *Charpy*

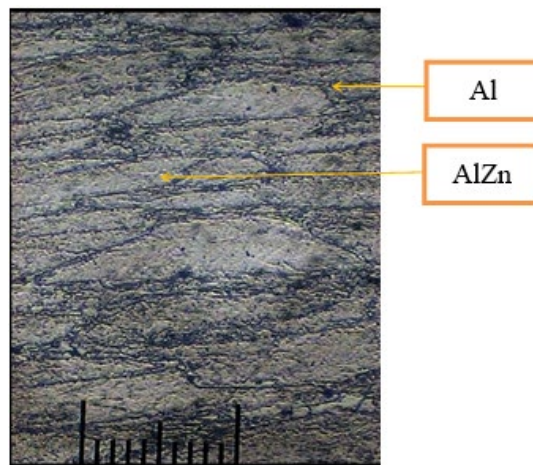
##### 3.3 Diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram alir

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.

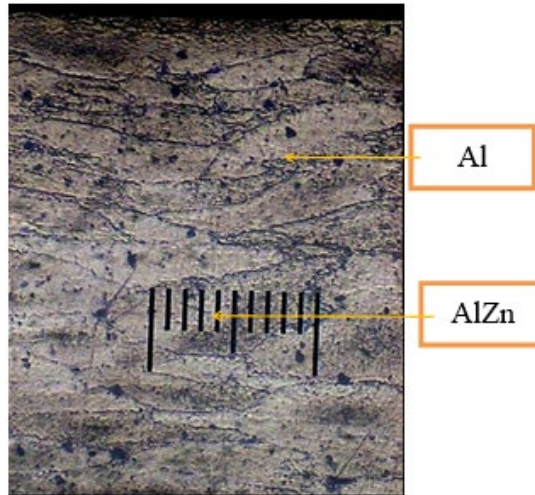
##### 4.1 Pengujian struktur mikro



Gambar 2. Struktur mikro Al-Zn tanpa perlakuan lanjut Perbesaran 100x.

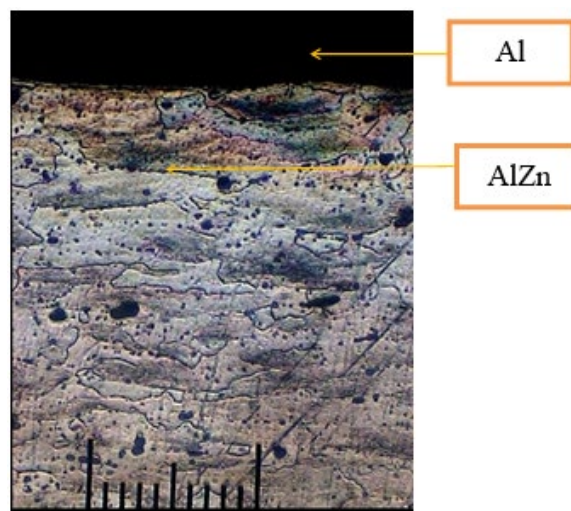
Hasil pengamatan struktur mikro pada material Al-Zn yang tidak diberi proses lanjutan memiliki butiran-butiran yang teratur. Pada bawah gambar tersebut terdapat 10 garis yang menandakan bahwa pengambilan gambar atau foto pada permukaan spesimen dengan lensa perbesaran 100x yaitu 100  $\mu\text{m}$ , atau tiap garisnya menunjukkan ukuran sebesar 10  $\mu\text{m}$ .

Hasil pengamatan struktur mikro pada material Al-Zn yang di beri proses *cold rolling* memiliki butiran-butiran yang cenderung tidak teratur dan mengalami pengecilan butiran pada daerah permukaan material, namun pada tengah material memiliki butiran yang masih cukup teratur. Hasil ini menunjukkan nilai lebih pada homogenitas bahan dan lebih menaikkan nilai kekerasannya dari sebelum proses dilakukan[6][8].



Gambar 3. Struktur mikro Al-Zn dengan proses cold rolling perbesaran 100x.

Gambar 3 menunjukkan butiran pada permukaan menerima gaya tekan dan gaya geser permukaan yang lebih besar dari pada butiran bagian tengah spesimen, sehingga terdapat perbedaan bentuk butiran antara permukaan dan tengah spesimen. Pada bawah gambar 3 terdapat 10 garis yang menandakan bahwa pengambilan gambar atau foto pada permukaan spesimen dengan lensa perbesaran 100x yaitu 100  $\mu\text{m}$ , atau tiap garisnya menunjukkan ukuran sebesar 10  $\mu\text{m}$ . Hasil juga menunjukkan bahwa terjadi bentuk butir logam yang menjadi lebih pipih kebawah. Ini menunjukkan bahan akan mempunyai sifat yang *anisotropic*, dimana kekuatan arah *longitudinal* akan lebih besar daripada arah *lateralnya*[7].



Gambar 4. Struktur mikro Al-Zn dengan proses cold rolling dan artificial aging.

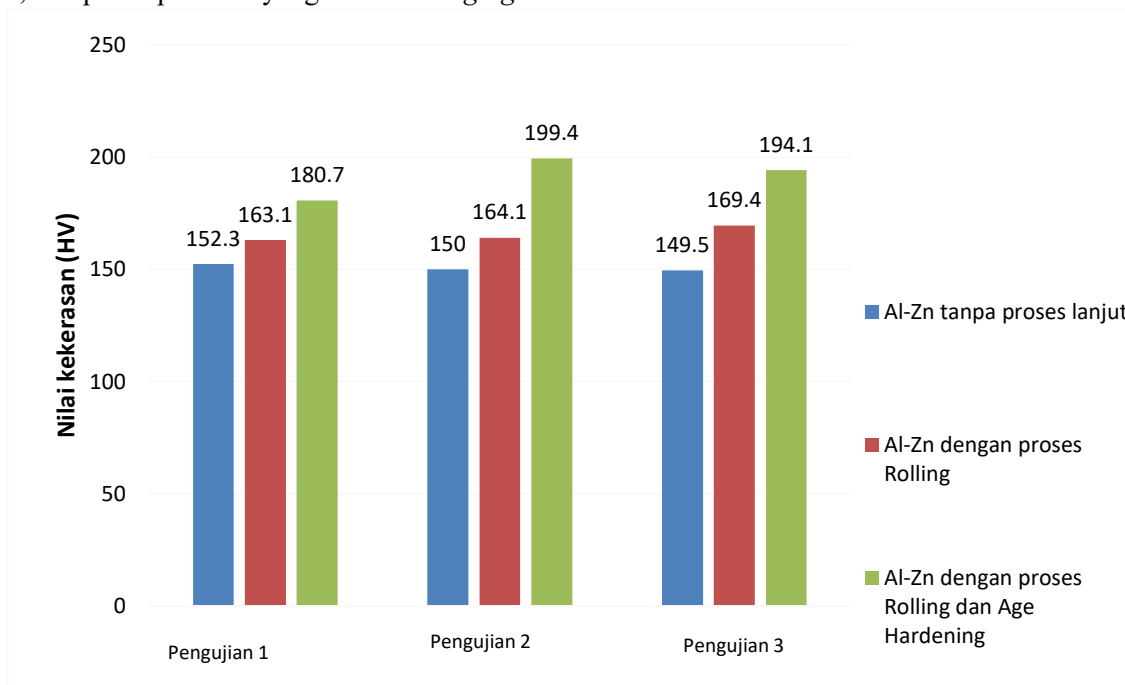
Hasil pengamatan struktur mikro pada material Al-Zn yang di beri proses cold rolling dan age hardening mengalami perubahan butiran yang cukup jelas, batas butir yang pada awalnya tebal dan jelas mengalami perubahan menjadi lebih tipis. Hal ini terjadi karena terdapat pengendapan pada atom-atom dan membuat batas butir semakin mengecil. Ketika atom-atom mengalami pengendapan maka atom-atom akan sulit melakukan dislokasi saat material mengalami deformasi, hal inilah yang akan membuat material mengalami perubahan sifat mekanis. Pada bawah gambar tersebut terdapat 10 garis yang menandakan bahwa pengambilan gambar atau foto pada permukaan spesimen dengan lensa perbesaran 100x yaitu 100  $\mu\text{m}$ , atau tiap garisnya menunjukkan ukuran sebesar 10  $\mu\text{m}$ .

Pada peristiwa *cold rolling* yang diteruskan dengan *artificial aging* akan terjadi penggumpalan partikel-partikel kecil sebagaimana tampak pada gambar. Peristiwa ini sesuai dengan teori *aging*, dimana terjadi setelah diadakan *solution treatment*, fasa aluminium akan terbentuk larutan jenuh. Dengan berjalannya waktu, maka akan terjadi penggumpalan fasa kedua.

Peristiwa selanjutnya adalah akan terjadi peristiwa *aging* seiring dengan berjalannya terhadap waktu. Semakin lama, kekerasannya akan menjadi lebih lebih keras. Kekerasan fasa kedua ini akan tercapai maksimal pada titik puncak yang disebut dengan *over aging*. Penelitian ini dilakukan pada kondisi agar over aging belum terjadi[9].

#### 4.1 Pengujian kekerasan *vickers*

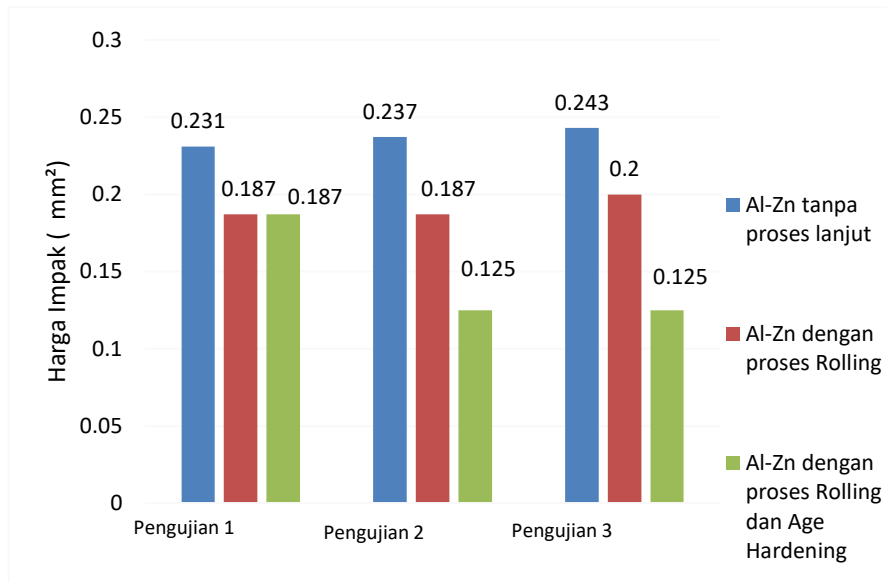
Pengujian kekerasan yang dipilih adalah pengujian kekerasan *Vickers*. Pengujian ini tepat diterapkan pada plat yang tipis dan pada fasa yang homogen. Pengujian kekerasan diperlukan untuk mengetahui perubahan kekerasan pada spesimen dasar, spesimen setelah dilakukan pengerolan reduksi 20%, dan pada spesimen yang dilakukan *aging*.



Gambar 5. Histogram perbandingan nilai kekerasan.

Dari grafik gambar 5. dapat disimpulkan bahwa kekerasan yang paling tinggi adalah pada spesimen yang telah mengalami pengerolan dan di *artificial aging*. Hal ini dimaklumi karena telah mengalami pengerasan regangan dan pengerasan *aging*[14].

## 4.2 Pengujian harga impact



Gambar 6. Histogram perbandingan perubahan harga impact

Dari grafik gambar 6. harga impact tertinggi pada raw material. Hal tersebut sesuai dengan harga kekerasan yang paling rendah atau cenderung ulet. Sesuai teori semakin ulet atau kekerasan rendah, maka harga impactnya menjadi tinggi. Dengan demikian maka dalam hal yang baru didapatkan bahwa pengerasan regangan ditambah dengan pengerasan fasa kedua akan menjadikan material aluminium akan menjadi lebih keras[15].

## 5. SIMPULAN

Dari analisa data hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: 1. Hasil struktur mikro pada material Al-Zn dengan proses *rolling* mengalami pengecilan butir dan memiliki bentuk butiran yang tidak teratur pada bagian tepi dari material akibat proses *work hardening*. Hasil struktur mikro pada material Al-Zn yang di beri proses *cold rolling* dan *age hardening* mengalami pengecilan butiran dan memiliki batas butir yang lebih tipis yang dapat mempengaruhi nilai kekerasan dan harga impact. 2. Proses *cold rolling* reduksi sebesar 20% dapat meningkatkan nilai kekerasan material sebesar 9,9% yaitu dengan nilai rata-rata 165,37 HV, namun di samping kekerasannya yang meningkat, proses *cold rolling* sebesar 20% dapat menurunkan nilai ketangguhan pada material, berdasarkan pengujian impact *charpy* harga impact menurun sebesar 19,4% yaitu dengan harga impact rata-rata sebesar 0,191 J/mm<sup>2</sup>. 3. Pada permukaan material yang paling dekat dengan roller saat proses *cold rolling* memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian tengah material, hal ini karena bagian tepi material menerima gaya tekan yang lebih besar dari pada bagian tengah material. 4. Material yang di beri proses *cold rolling* sebesar 20% dan diteruskan proses *age hardening* dapat meningkatkan nilai kekerasan material sebesar 27,1% dari material awal dengan nilai rata-rata 191,4 HV. Namun proses ini dapat menurunkan nilai ketangguhan pada material, dari hasil pengujian impact *charpy* harga impact menurun sebesar 38,8% dengan nilai rata-rata harga impact sebesar 0,145 J/mm<sup>2</sup>.

## REFERENSI

- [1] P. Malleshham and V. V. R. Babu, "Cold Rolling Mill for Aluminium Sheet," no. 2, pp. 16–20, 2016.
- [2] Y. Ha and A. Kimura, "Effect of cold rolling on recrystallization behavior of Al-free and Al-added 15Cr-ODS ferritic steels," *Crystals*, vol. 9, no. 3, 2019, doi: 10.3390/cryst9030145.
- [3] G. Casalino, M. El Mehtedi, A. Forcellese, and M. Simoncini, "Effect of cold rolling on the



- mechanical properties and formability of FSWed sheets in AA5754-H114,” *Metals (Basel)*., vol. 8, no. 4, pp. 14–19, 2018, doi: 10.3390/met8040223.
- [4] C. Bonnekoh *et al.*, “The brittle-to-ductile transition in cold-rolled tungsten sheets: On the loss of room-temperature ductility after annealing and the phenomenon of 45° embrittlement,” *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 93, no. March, p. 105347, 2020, doi: 10.1016/j.jirmhm.2020.105347.
- [5] S. H. Zhang, N. Y. Ye, M. Cheng, H. W. Song, H. W. Zhou, and P. B. Wang, “Effect of cold rolling and heat treatment on the mechanical properties of GH4169 alloy sheet at room temperature,” *Metals (Basel)*., vol. 6, no. 1, pp. 1–11, 2015, doi: 10.3390/met6010001.
- [6] T. A. Association, *Rolling Aluminum: From the Mine Through the Mill*. Rolling Aluminum: From the Mine Through the Mill, 2007.
- [7] A. Handbook, *ASM Handbook, Vol.4. 1991. Heat Treating*. ASM International: The Materials Information Company.
- [8] A. Handbook, *Vol.2. 1990. Properties And Selection Non Ferrous Alloys And Special Purpose Materialst*. ASM International: The Materials Information Company.
- [9] A. Handbook, *Vol.9. 2004. Metallography and Microstructures*. ASM International: The Materials Information Company.
- [10] G. Pratomo, P. Studi, T. Mesin, F. Teknik, and U. M. Surakarta, “LOGAM ALUMINIUM HASIL COLD ROLLING,” 2019.
- [11] M. T. Dr. Kusmono, S.T., “Pengaruh Cold Rolling terhadap Struktur Mikro,Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Ketahanan Korosi Aluminum AA 1100 FRISKY MUHAMMAD RAFIF, Dr. Kusmono, S.T., M.T.,” 2018.
- [12] N. R. I. Henry Marpaung, Suriansyah, “Pengaruh Heat Treatment Terhadap Kekerasan Dan Mikrostruktur Sprocket Drive Dan Sprocket Driven,” *Widya Tek. Vol. 24 No 1*, vol. 23, no. 39870423, pp. 946–952, 2016.
- [13] B. T. Sofyan *et al.*, “PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR PADUANZn TERHADAP KINERJA BALISTIK KOMPOSIT MATRIKS Al-Zn-6Mg BERPENGUAT,” pp. 141–145, 2012.
- [14] R. B. S. Majanasastra, “Pengaruh Variable Waktu ( Aging Heat Treatment ) Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Dan Struktur Mikro,” *Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 87–101, 2015.
- [15] I. Saefuloh, A. Pramono, W. Jamaludin, and I. Rosyadi, “Studi Karakterisasi Sifat Mekanik Dan struktur Mikro Material Piston Alumunium-Silikon Alloy,” *FLYWHEEL J. Tek. mesin Untirta*, vol. IV, no. 2, pp. 56–63, 2018.