

## Karakteristik Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Gesek Aluminium dengan Tembaga Menggunakan Variasi Kecepatan Putar dan Kekasaran Permukaan Kontak

Iman Saefuloh<sup>1\*</sup>, Ipick Setiawan<sup>2</sup>, Sunardi<sup>3</sup>, Rina Lusiani<sup>4</sup>, Suryana<sup>5</sup>

<sup>1234</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten, Indonesia

<sup>5</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten, Indonesia

\*Corresponding Author: iman.saefuloh@untirta.ac.id,

**ABSTRACT** – Friction welding is a type of welding that is used for a variety of materials. Friction welding is a method of joining two materials by swiping them together until they reach some of the melting points of the materials to be joined, then applying constant pressure. Aluminum and copper are the materials to be joined in this study. Using rotational speed and contact surface roughness variations. The purpose of this research is to determine the mechanical properties of friction welding results between aluminum and copper. The speed settings are 1230, 1500, and 2500 rpm. Use sandpaper grades #100, #800, and #1500 to achieve different levels of surface roughness. According to the results of this study, the rotational speed with the highest tensile strength and hardness values is 1230 rpm, namely 59.6 MPa and 54.6 HVN (Al), 112.1 HVN (Al) (Cu). In terms of surface roughness variations, the surface roughness using grade #1500 sandpaper has the highest value, namely 54.18 HVN (Al), 112.1 HVN (Cu). And #100 sandpaper with a value of 52.48 Mpa. The results of the microstructure test in the weld joint area at a magnification of 1000x indicated that the friction welding of aluminum and copper was successful, as evidenced by the diffusion of aluminum and copper in this area.

**Keywords:** Friction Welding, aluminum, copper, surface roughness

**ABSTRAK** – Pengelasan yang digunakan untuk material yang berbeda salah satunya adalah dengan menggunakan Friction Welding. Friction Welding adalah metode pengelasan dengan cara menggesekkan kedua material hingga mencapai sebagian titik lebur material yang akan disambung lalu diberikan tekanan secara konstan. Pada penelitian ini, material yang disambung adalah aluminium dan tembaga. Dengan menggunakan variasi kecepatan putar dan kekasaran permukaan kontak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis dari hasil pengelasan gesek antara aluminium dan tembaga. Untuk variasi kecepatan yang digunakan adalah 1230, 1500, dan 2500 rpm. Untuk variasi kekasaran permukaan yang digunakan adalah dengan menggunakan amplas grade #100, #800, dan #1500. Hasil dari penelitian ini adalah bahwa kecepatan putar yang paling tinggi mendapatkan nilai kekuatan tarik dan kekerasan adalah pada kecepatan 1230 rpm yaitu 59,6 Mpa dan 54,6 HVN (Al), 112,1 HVN (Cu). Dan untuk variasi kekasaran permukaan, nilai yang paling tinggi adalah pada kekasaran permukaan yang menggunakan amplas grade #1500 yaitu 54,18 HVN (Al), 112,1 HVN (Cu). Dan amplas grade #100 dengan nilai 52,48 Mpa. Hasil uji struktur mikro pada daerah sambungan las dengan perbesaran 1000x menunjukkan bahwa pengelasan aluminium dan tembaga dengan menggunakan metode friction welding berhasil dilakukan, dibuktikan dengan terdifusinya aluminium dan tembaga pada daerah ini.

**Keywords:** Pengelasan gesekan, aluminium, tembaga, kerataan permukaan

## 1 Pendahuluan

Pengelasan adalah salah satu metode untuk proses penyambungan dua buah logam dengan jalan pemanasan dan pelelehan logam dasarnya. Dalam prakteknya, kedua ujung logam yang akan disambung dipanaskan hingga mencapai titik leburnya dengan busur nyala sehingga didapatkan logam tersambung. Pengelasan yang dilakukan pada proses produksi sangat bermacam-macam, diantaranya pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) atau yang sering dikenal las listrik, las *oxyacetylene* atau las karbid, las MIG (*Metal Inert Gas*), las TIG (*Tungsten Inert Gas*) dan lain-lain.

Penggunaan jenis pengelasan tergantung keperluan karena setiap jenis pengelasan memiliki karakter yang berbeda-beda. Pengelasan logam berbeda (*dissimilar metal welding*) merupakan perkembangan dari teknologi las modern akibat dari kebutuhan akan penyambungan material-material yang memiliki jenis logam yang berbeda. Pengelasan terhadap dua material yang berbeda banyak digunakan di industri kimia dan konstruksi mesin dan elektronik. Penggabungan dua material ini akan menghasilkan sifat-sifat material yang baru. Misalnya, penyambungan material tembaga dan aluminium yang digunakan pada *schoen* kabel. *Schoen* kabel sering juga disebut sepatu kabel/*cable lug*, *schoen* kabel ini berbentuk tabung dan biasanya digunakan untuk terminal kabel aluminium yang akan dihubungkan dengan komponen tembaga.

Namun untuk pengelasan pada material yang berbeda, menggunakan pengelasan yang sering dipakai seperti SMAW, GMAW, dan lain-lain tidak begitu efektif. Pengelasan yang digunakan untuk menyambung material aluminium dan tembaga dapat menggunakan pengelasan *brazing*, yaitu pengelasan dengan *metal*. Pengelasan *brazing* cenderung rumit dan sifat mekanik yang nilainya tidak terlalu tinggi terutama untuk material yang berbeda seperti aluminium dan tembaga. Sehingga, pengelasan gesek adalah alternatif yang paling efektif untuk pengelasan beda material dan menghasilkan sifat mekanik yang nilainya cukup tinggi.

Untuk metode pengelasan gesek ini tidak memerlukan bahan penambah atau *filler metal*. Cukup dengan menggosok kedua material hingga menimbulkan panas mendekati titik leleh material lalu diberikan tekanan sehingga kedua material dapat menyatu. Dalam pengelasan gesek ini, terdapat hal yang memengaruhi hasil dari pengelasan tersebut antara lain: kecepatan putar, durasi gesekan, tekanan aksial, kondisi permukaan, dan properti material. Pada penelitian kali ini, penulis meneliti sifat mekanis dari pengelasan gesek pada material aluminium dan tembaga menggunakan variasi kecepatan putar dan kondisi permukaan yaitu kekasaran permukaan menggunakan *filler* atau material

pengisi yang titik lelehnya di bawah *bas metal*. Pengelasan *brazing* cenderung rumit dan sifat mekanik yang nilainya tidak terlalu tinggi terutama untuk material yang berbeda seperti aluminium dan tembaga. Sehingga, pengelasan gesek adalah alternatif yang paling efektif untuk pengelasan beda material dan menghasilkan sifat mekanik yang nilainya cukup tinggi.

Untuk metode pengelasan gesek ini tidak memerlukan bahan penambah atau *filler metal*. Cukup dengan menggosok kedua material hingga menimbulkan panas mendekati titik leleh material lalu diberikan tekanan sehingga kedua material dapat menyatu. Dalam pengelasan gesek ini, terdapat hal-hal yang memengaruhi hasil dari pengelasan tersebut antara lain: kecepatan putar, durasi gesekan, tekanan aksial, kondisi permukaan, dan properti material. Pada penelitian kali ini, penulis meneliti sifat mekanis dari pengelasan gesek pada material aluminium dan tembaga menggunakan variasi kecepatan putar dan kondisi permukaan yaitu kekasaran permukaan.

## 2 Metode Penelitian

Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan metode dokumentasi, observasi, dan eksperimen langsung yaitu metode pengumpulan data penelitian yang dengan sengaja dan secara sistematis melakukan tindakan pengamatan, untuk mencari hubungan sebab akibat antara beberapa faktor atau variabel yang berpengaruh.

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu proses pengelasan dan pengujian. Untuk proses pengelasan dilakukan di Laboratorium Teknologi Manufaktur Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, dan pengujian sifat mekanik yaitu pengujian kekerasan dan metalografi dilakukan di Laboratorium Metalurgi CRM dan Laboratorium Metalografi R&D, PT. Krakatau Steel. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Teknik Metalurgi Universitas Indonesia.

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah:

- Kecepatan Putar (1230, 1500, 2500 rpm)
- Kekasaran Permukaan Kontak (#100, #800, #1500)

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya dikendalikan selama penelitian. Variabel control pada penelitian ini adalah:

- ❖ Waktu kontak 5 menit
- ❖ Bahan yang digunakan adalah tembaga non paduan dan aluminium 6063 (*solid round*)
- ❖ Diameter tusuk (*shock*) pada tembaga 9 mm
- ❖ Panjang tusuk (*shock*) pada tembaga 10 mm

## 2.1. Prosedur Pengelasan

Pada proses pengelasan atau penyambungan aluminium dan tembaga ini memiliki beberapa tahapan diantaranya sebagai berikut:

### 2.1.1. 2.1.1. Penyiapan dan pembuatan spesimen

Pada proses ini bahan dibuat dan disiapkan sesuai ukuran panjang dan lebar untuk memenuhi standarisasi proses pengujian hasil las pada tahap selanjutnya.

### 2.1.2. 2.1.2. Pengecekan kesiapan alat las

Pengecekan kesiapan alat las ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat las sudah siap dan dapat digunakan dalam proses pengelasan gesek supaya pada proses pengelasan tidak terdapat masalah. Pada proses pengecekan alat ini meliputi tahapan sebagai berikut:

- Kelistrikan dapat bekerja dengan baik
- Motor listrik dapat berputar
- Kepala tetap dapat bergerak

### 2.1.3. 2.1.3. Pemasangan bahan pada cekam

Tahapan ini bahan las (tembaga dan aluminium yang sudah disesuaikan dengan ukurannya dipasang pada kedua cekam dan dikunci dengan rapat supaya tidak ada pergeseran atau pergerakan ketika proses pengelasan.

### 2.1.4. 2.1.4. Proses pengelasan

Setelah 3 tahapan diatas sudah terpenuhi, pada proses pengelasan meliputi pemutaran spesimen uji sehingga timbul panas dari gesekan kedua permukaannya. Panas yang timbul dari temperatur kamar hingga temperatur pengelasan, kemudian spesimen diberikan gaya tekan diasumsikan tetap (konstan) agar terjadinya penyambungan kedua material las. Mesin las kemudian dimatikan, dan dilakukan pendinginan spesimen di udara sehingga mencapai temperatur kamar.

## 2.2. Pembuatan Spesimen

Material yang akan disambung dengan las gesek adalah aluminium (Al) dan tembaga (Cu). Langkah-langkah pembuatan specimen adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan material pengelasan gesek
2. Memotong aluminium dan tembaga dengan panjang 80 mm
3. Membuat diameter tusuk (*shock*) pada spesimen tembaga dengan cara dibubut untuk panjang 10 mm dan diameter 9 mm dibagian ujung/permukaan kontak.
4. Mengamplas permukaan kontak dengan kekasaran #100 #800 #1500

Gambar 1 berikut ini adalah tampak material sebelum dilakukan pengelasan



Gambar 1. Spesimen Pengelasan

## 2.3. Proses Pengelasan

Langkah-langkah pengelasan gesek yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memasang aluminium pada cekam *head stock* (berotasi) dan tembaga pada *tail stock* (tidak berotasi, tetapi bergerak linear).
2. Mendekatkan tembaga pada aluminium agar terjadi pertemuan kontak antara tembaga dan aluminium. Lalu mengunci *tail stock*.
3. Mengatur putaran sesuai dengan parameter yang ditentukan yaitu 1230, 1500, 2500 rpm.
4. Menyalakan mesin bubut
5. Memulai proses pengelasan dengan waktu kontak selama 5 menit.
6. Setelah mencapai waktu yang telah ditetapkan, lalu memberikan gaya dorong sepanjang kurang lebih 20 mm secara konstan.
7. Mematikan mesin lalu memberi sedikit tekanan. Pengelasan selesai.

Gambar 2 di bawah ini adalah gambar pada saat pengelasan berlangsung.



Gambar 2. Proses Pengelasan

## 3. Analisa dan Pembahasan

Pada Gambar 3 di bawah ini adalah hasil dari proses pengelasan gesek antara aluminium dengan tembaga:

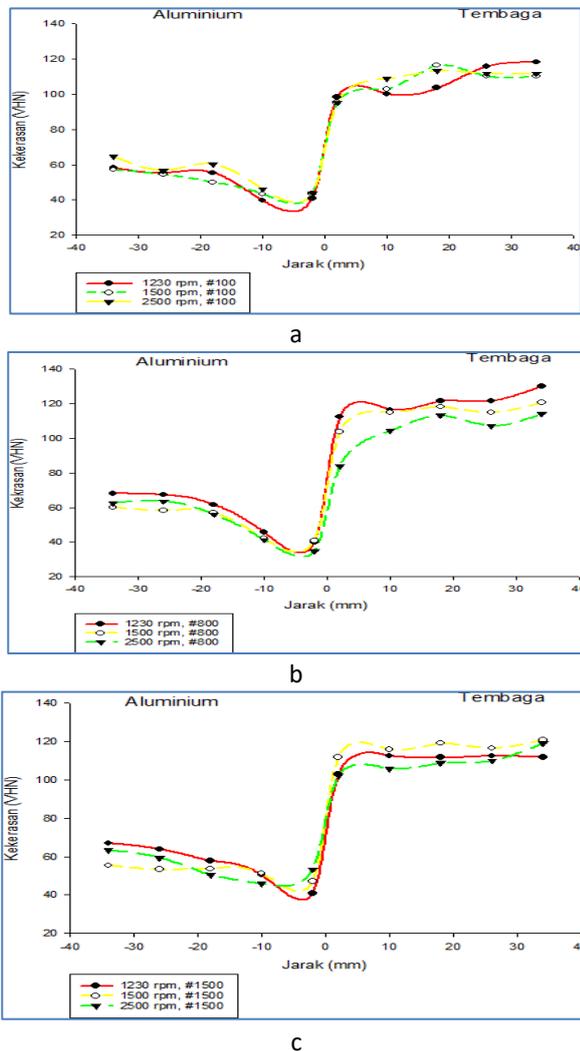


Gambar 3. Hasil Pengelasan

### 3.1. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi CRM, PT. Krakatau Steel, menggunakan mesin uji kekerasan *Vickers Hardness Testing Machine* dengan

indenter pyramid intan dan beban sebesar 5 kgf atau 49,03 N, dengan standard JIS Z 2244:2009. Pengambilan data kekerasan dilakukan di 10 titik per-spesimen yang jaraknya sudah ditentukan.



**Gambar 4.** Grafik hubungan antara kekerasan terhadap kecepatan putar las gesek a) 1230 RPM b) 1500 RPM dan c) 2500 RPM

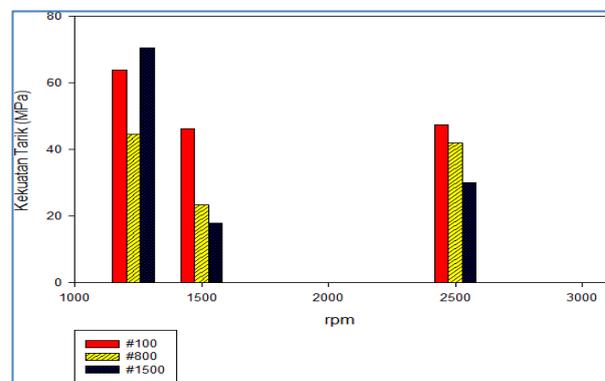
Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai kekerasan pada material aluminium dan tembaga menunjukkan di daerah yang semakin mendekati *Welding Zone* semakin menurun secara signifikan daripada bagian *base material*. Hal ini disebabkan oleh variasi parameter kecepatan dan kekasaran permukaan yang berbeda, pada hal ini kecepatan putar yang paling memengaruhi dalam perubahan nilai kekerasan terhadap kedua material.

Pada kecepatan putar 1230, jika dirata-ratakan mendapatkan nilai 54,2VHN pada Aluminium, dan 112,7HVN Tembaga. Kecepatan 1500 mendapatkan nilai 51,1HVN pada aluminium dan 112,8 HVN pada Tembaga. Kecepatan 2500 mendapatkan nilai rata-rata 53,5HVN pada Aluminium dan 107,6 pada Tembaga. Jika dilihat pada data yang telah didapatkan, nilai kekerasan dari variasi 1230 rpm adalah yang paling tinggi.

Jika dilihat pada variasi kekasaran permukaan, hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut: nilai kekerasan pada Aluminium rata-rata kekasaran permukaan #100 adalah 51,27 HVN, kekasaran 800 53,28 HVN, dan kekasaran #1500 54,18 HVN. Sedangkan pada material tembaga, nilai kekerasan pada variabel kekasaran permukaan #100 adalah 107,54 HVN, kekasaran #800 113,26 HVN, kekasaran #1500 112,17 HVN. Maka nilai kekerasan yang paling tinggi adalah pada variasi kekasaran permukaan #1500 untuk material Aluminium dan kekasaran permukaan #800 untuk material Tembaga.

### 3.2. Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Laoratorium Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dengan menggunakan standard ASTM E-8. Berikut ini adalah grafik uji tarik yang telah dilakukan pada 9 spesimen uji yang telah dibuat



**Gambar 5.** Grafik hubungan antara kekuatan tarik terhadap kecepatan putar las gesek

Dari hasil pengujian tarik yang telah dilakukan, didapatkan nilai kuat tarik pada variasi kecepatan putar 1230 rpm jika dirata-ratakan nilainya adalah 6,08 kg/mm<sup>2</sup> atau 59,6 MPa. Untuk variasi kecepatan putar 1500 rpm nilai rata-ratanya adalah 2,98 kg/mm<sup>2</sup> atau 29,2 MPa. Variasi kecepatan 2500 rpm nilai rata-ratanya adalah 4,1 kg/mm<sup>2</sup> atau 39,8 MPa. Untuk variasi kekasaran permukaan, kekasaran #100 mendapatkan nilai tertinggi, yang jika dirata-ratakan yaitu 5,36 kg/mm<sup>2</sup> atau 52,48 MPa.

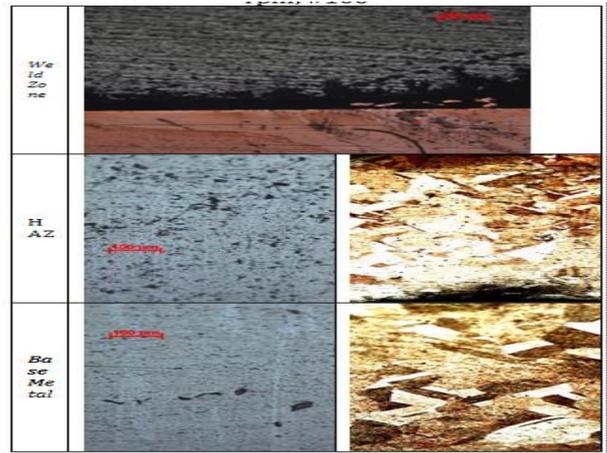
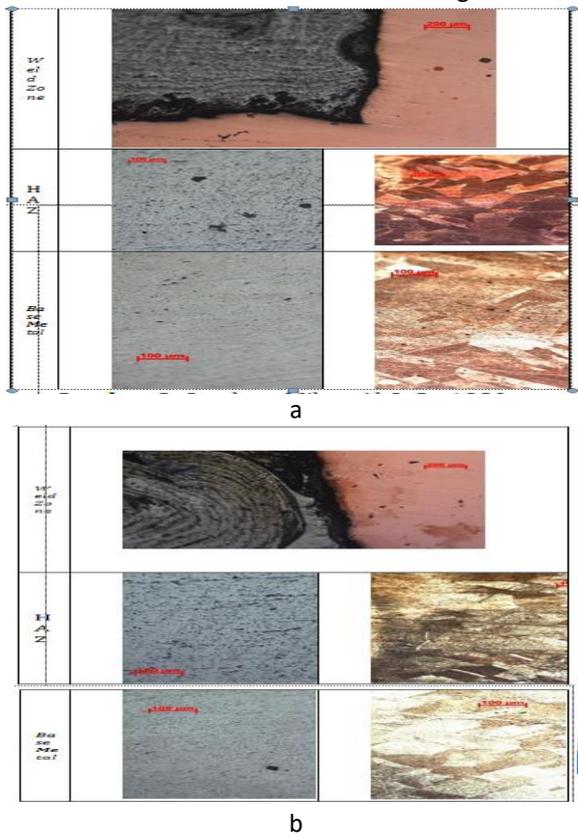
Sehingga, hasil pengujian tarik yang paling maksimal adalah dengan variasi kecepatan putar 1230 rpm dan kekasaran permukaan #100. Jika dikaitkan dengan struktur makro atau secara visual, sambungan pada kecepatan putar 1230 rpm memiliki paling sedikit cacat atau rongga. Jarak antar *interface* pun yang paling rapat adalah pada variasi kecepatan 1230 rpm. Sehingga memiliki nilai kuat tarik paling tinggi.

Hasil pengujian kekerasan pun menunjukkan bahwa kekerasan pada kecepatan 1230 rpm lebih tinggi daripada variasi kecepatan putar yang lainnya, yaitu

hasil yang paling mendekati kekerasan pada bagian *base metal*. Menyebabkan material lebih merekat karena sifatnya belum terlalu berubah karena masih mirip dengan *base metal*-nya. Lalu jika dilihat dari struktur mikronya, kecepatan 1230 rpm menghasilkan struktur yang halus dan rapat dibandingkan dengan variasi kecepatan putar lainnya. Struktur mikro pada variasi 1500 & 2500 rpm terlihat lebih menyebar dan besar. Hal ini pula menghasilkan kekuatan tarik paling tinggi pada variasi 1230 rpm.

3.3. Pengamatan Struktur Mikro

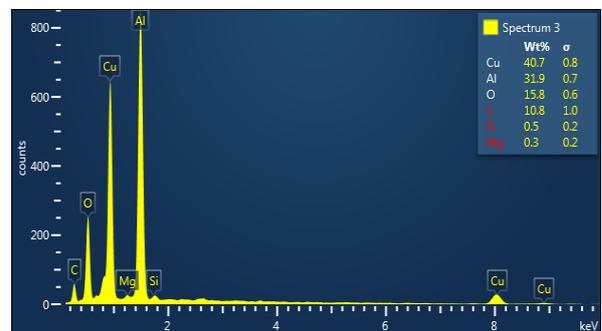
Pengujian struktur mikro dilakukan di Laboratorium Metalografi R&D PT. Krakatau Steel. Dengan menggunakan Mikroskop Optik perbesaran 50x dan 100x pada bagian sambungan, HAZ, dan *Base Material*. Larutan etsa yang digunakan adalah *Keller's Reagent* untuk Aluminium dan  $FeCl_3$  untuk Tembaga.



Gambar 6. Hasil pengamatan struktur mikro mikroskop perbesaran 1000x a) 1230 b) 1500 dan c) 2500 RPM

Pada hasil pengamatan struktur mikro yang telah dilakukan, bagian hitam pada Aluminium adalah  $Mg_2Si$ . Pada variasi 1230 rpm butiran hitam terlihat lebih rapat dan halus dibandingkan dengan variasi 1500 dan 2500 rpm. Untuk bagian Tembaga, butiran terlihat semakin kecil dan cenderung menyebar pada bagian yang dekat sambungan, tidak terlalu terlihat perbedaan yang terjadi di setiap variabelnya. Hal ini menyebabkan kekuatan tarik yang paling tinggi dialami oleh variasi kecepatan 1230 rpm dengan nilai sebagai berikut. 6,08 kg/mm<sup>2</sup> atau 59,6 MPa dan untuk variasi kekasaran permukaan nilai yang paling tinggi adalah pada variasi kekasaran permukaan #100 dengan nilai 5,36 kg/mm<sup>2</sup> atau 52,48 MPa. Dan untuk pengujian kekerasan nilai kekerasan paling tinggi adalah pada variasi kecepatan putar 1230 rpm yaitu dengan nilai 54,15 HVN untuk Aluminium, dan 112,73 HVN untuk Tembaga.

Agar dapat melihat lebih jelas daerah sambungan las, dilakukan pengujian SEM-EDS untuk mengetahui unsur apa saja yang terdapat di sambungan, dan bagaimana campuran yang terjadi terhadap kedua material. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13 berikut:



Gambar 7. Presentase kandungan unsur pada sabungan

Pada bagian sambungan, kandungan unsur yang terdapat adalah Cu 17,13% atom dan Al 31,62 % atom. Hal ini dikarenakan saat pengelasan Al lebih cepat meleleh daripada Cu, jadi kandungan yang lebih banyak adalah unsur Al. Terdapat pula kandungan yang

dihasilkan selain Al dan Cu yaitu Si, Mg, C dan O. Dengan Si 0,47 % atom, Mg 0,37 % atom, C 24,06% atom dan O 26,34% atom.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan yang telah diolah, dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik yang didapatkan oleh sambungan las Al-Cu dengan menggunakan variasi kecepatan putar cenderung menurun seiring bertambahnya kecepatan putar. Pada pengujian kekerasan terlihat pula nilai kekerasan yang semakin mendekati bagian yang dilas semakin menurun. Nilai kekerasan yang paling tinggi jika dirata-ratakan didapatkan pada variasi kecepatan putar 1230 rpm yaitu 54,15 HVN untuk aluminium dan 112,73 HVN untuk tembaga, dan pada variasi kekasaran permukaan, nilai kekerasan yang didapatkan perbedaannya tidak terlalu signifikan dilihat pada hasil dari ketiga variasi kekasaran yang digunakan. Namun nilai kekasaran permukaan yang paling tinggi didapatkan pada variasi kekasaran permukaan dengan menggunakan amplas *grade* #1500 yaitu 54,18 HVN untuk aluminium dan 112,1 HVN untuk tembaga.

Untuk pengamatan struktur mikro, dapat disimpulkan seperti berikut ini. Pada bagian aluminium, butir hitam yang terlihat adalah Mg<sub>2</sub>Si, dari *Base Metal* – HAZ butir hitam semakin lebar dan lebih banyak. Pada variasi kecepatan 1230 rpm struktur lebih rapat dan halus dibandingkan dengan hasil dari variasi kecepatan 1500 dan 2500 rpm. Sedangkan untuk bagian tembaga, dari *Base Metal* – HAZ butiran mengecil dan cenderung menyebar. Untuk pengujian SEM EDS yang bertujuan untuk mengetahui unsur apa saja yang terdapat pada hasil pengelasan Al-Cu, hasilnya adalah kandungan unsur yang terdapat pada sambungan las adalah Cu 17,13% atom, Al 31,62% atom, Si 0,47 % atom, Mg 0,37 % atom, C 24,06% atom dan O 26,34% atom.

#### 5. Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Kepada pihak-pihak yang sdh membantu terselenggaranya penelitian ini (laboratorium Jurusan Teknik Mesin Untirta, Lab. Material dan Metalurgi LIPI, Lab. Manufaktur dan bahan BLK Serang) dan kepada seluruh pihak yang telah membantu terlaksananya kegiatan ini. Salam hangat dari penulis.

#### References

- [1] ASM Handbook, *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, ASM International, Vol 2, 1992
- [2] Groover, M. P., *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, 4th Edition, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2010.
- [3] Metals Handbook Vol. 7, 1972, *Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*, 8th Edition.
- [4] Robert, W. M., *Principles of Welding*, Troy, New York: WILEY-VCH.
- [5] Prabowo, I. Sukmana, & Y. Burhanuddin, *Las Gesek (Friction Welding) Logam Tidak Sejenis (Dissimilar Metals) Magnesium AZ-31 Terhadap Aluminium AL-13*. 2017.
- [6] D. W. Kurniawan, & T. Nanda, , *Teknologi Sediaan Farmasi*, Purwokerto: Laboratorium Farmasetika Unsoed. 2012
- [7] M. Ahzabuddin, *Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Terhadap Temperatur dan Tensile Strength pada Friction Welding dengan Material High-Density Polyethylen*,. 2017,
- [8] P. Haryanto, *Pengaruh Gaya Tekan, Kecepatan Putar, Dan Waktu Kontak Pada Pengelasan Gesek Baja ST60 Terhadap Kualitas Sambungan Las*, 2011,
- [9] P. Haryanto, A. Purnomo, & Carli, *Analisis Kekuatan Tarik pada Sambungan Aluminium dan Tembaga yang Disambung dengan Las Gesek untuk Konektor Elektrikal*. , 2018,
- [10] R. B. S. Majanasastra, *Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Hasil Proses Hydroforming pada Material Tembaga (Cu) C84800 dan Aluminium Al 6063*, 2016,.
- [11] V. D. Milasinovic, R. Radovanovic, M. D. Milasinovic, B. R. Gligorijevic, *Effects of Friction-Welding Parameters on The Morphological Properties of An Al/Cu Bimetallic Joint* , 2016
- [12] Y. S. Irawan, R. Soenoko, & H. Purnomo, *Effect of Surface Roughness and Chamfer Angle on Tensile Strength of Round Aluminum A6061 Produced by Continuous Drive Friction Welding*. 2016