

## Mikrostruktur dan Kekerasan Sambungan Pengelasan Gesek Disimilar Pipa Tembaga/Kuningan (Cu/Cu-Zn)

(Microstructure and Hardness of Butt Welded Dissimilar Pure Copper/Brass Pipes by Continuous Drive Friction Welding)

ARIS WIDYO NUGROHO, TOTOK SUWANDA, SEPTIAN ALDO SERENA

### ABSTRACT

This study is focused on the influence of friction time on the microstructure and the hardness values of butt welded dissimilar pure copper/brass alloy pipes by continuous drive friction welding. Five variation of friction times were applied during the welding processes. The joint were evaluated by microstructural analysis and microhardness measurements. The results show that three distinct region were observed. The grain formation in the three regions were revealed. It was found that the hardness of the joints especially in HAZ regions were lower than that of the copper and brass base metals, while the hardness of the TMAZ region was higher than that of the copper base metal and the brass base metal. The microhardness values in the TMAZ increased with increasing the friction time up to 30 s and then decreased with increasing friction time.

**Keywords:** friction welding, hardness, struktur mikro

### PENDAHULUAN

Tembaga dan paduannya telah banyak digunakan di bidang keteknikan karena memiliki keunggulan diantaranya : sifat ketahanan korosi, konduktivitas listrik dan termal yang tinggi, penampilan yang menarik, kekuatan dan daktilitas yang cukup tinggi, juga kemudahan dalam fabrikasi (Bringas & Wayyman, 1998). Beberapa dekade terakhir, sambungan tembaga / kuningan (Cu / Cu-Zn) telah digunakan dalam industri otomotif untuk sistem pendingin seperti radiator dan *charge air cooler* di mesin diesel sebagai alternatif pengganti sambungan bahan aluminium karena memiliki kekuatan yang lebih baik pada suhu di atas 300°C (<http://cuprobraz.com>). Tetapi, kemampuan (*weldability*) tembaga-kuningan dengan proses pengelasan fusi sangat rendah karena perbedaan konduktivitas termal kedua material tersebut dan keberadaan uap seng yang beracun yang berasal dari penguapan unsur paduan kuningan, selama pengelasan (ASM Handbook, 1997).

Studi literatur menunjukkan bahwa hanya beberapa teknik pengelasan dapat diaplikasikan untuk sambungan disimilar Cu/Cu-Zn, seperti: solder, brazing, pengelasan gesek dan

pengelasan ultrasonik (<http://cuprobraz.com>, <http://utinlab.ru/eng/item23.html>). Dari beberapa teknik tersebut menurut Mur, dkk. (2001) pengelasan gesek mempunyai beberapa keunggulan yaitu : (1) tidak memerlukan persiapan permukaan sambungan yang terlalu rumit, (2) tidak membutuhkan bahan pengisi atau gas pelindung, (3) proses pengelasan ini merupakan salah satu pengelasan kondisi padat (solid state welding) yang tidak memerlukan pemanasan sampai titik lebur sehingga cacat yang berhubungan dengan fenomena solidifikasi dapat dihindari. Pada pengelasan gesek, panas ditimbulkan dari gesekan antara material yang akan disambung baik material tersebut sejenis ataupun tidak sejenis (disimilar). Dengan keunggulan di atas teknik pengelasan ini sangat berpotensi untuk diaplikasikan dalam penyambungan Cu/Cu-Zn dalam industri otomotif.

Beberapa penelitian melaporkan bahwa pengelasan disimilar dengan benda kerja berbentuk silinder pejal dari berbagai logam seperti Steel/Al, dan Al/Cu (Yilbas dkk, (1995), Al/SS304 (Sahin,2009), Cu-Zn/Steel (Kimura dkk 2013) dan Ti/SS304 (Dey dkk, 2009) telah berhasil dilakukan. Parameter yang berpengaruh pada proses pengelasan ini meliputi, kecepatan putar, waktu gesek, tekanan

gesek, tekanan tempa dan jenis benda yang disambung. Sambungan disimilar Cu/Cu-Zn dimana benda kerja berupa plat datar telah dilakukan dengan menggunakan metode Friction Stir Welding (FSW) pada beberapa variasi parameter (Meran & Kovan, 2008). Namun penelitian tentang pengelasan gesek disimilar untuk bahan Cu/Cu-Zn pada benda kerja berbentuk pipa masih sangat jarang dilaporkan.

Sampai saat ini, mekanisme penyambungan dengan pengelasan gesek disimilar, seperti Cu/Cu-Zn, belum sepenuhnya diketahui, sehingga prosedur pengelasan untuk material disimilar masih ditentukan secara *trial and error*. Selanjutnya, mekanisme penyambungan antara material disimilar berbeda dengan penyambungan dari bahan yang sama karena sifat mekanik seperti kekuatan tarik dan sifat termal seperti konduktivitas termal yang berbeda. Penelitian ini merupakan studi ekperimental dari pengelasan gesek disimilar pada pipa Cu/Cu-Zn untuk mengetahui pengaruh waktu gesekan pada struktur mikro dan kekerasan pada sambungan Cu/ Cu-Zn.

#### METODE PENELITIAN

Pipa tembaga dan kuningan masing-masing dengan diameter 5/8 di potong dengan panjang 7 cm seperti ditunjukkan Gambar 1. Perataan permukaan dilakukan agar permukaan pipa rata



GAMBAR 1. Penyediaan spesimen las gesek pipa disimilar tembaga/kuningan

dan halus sehingga memudahkan proses pengelasan gesek.

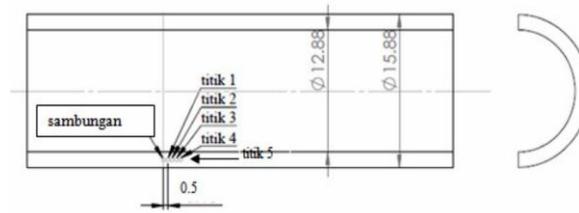
Alat pengelasan gesek menggunakan mesin bubut yang sudah di modifikasi. Pipa kuningan dicekam pada bagian yang berputar (spindle) sedangkan pipa tembaga dipasangkan pada toolspot dengan posisi center (Gambar 2). Putaran diatur di posisi 2000 rpm. Pembebanan gesek diberikan mencapai beban 1471,68 MPa dengan waktu gesek 25 detik. Tekanan tempa sebesar 1962,24 MPa diberikan setelah gesekan berakhir. Pengelasan tersebut diulang dengan variasi waktu gesek lain 30, 40, 60 dan 70 detik masing-masing satu kali.

Setelah dilakukan pengelasan, spesimen dilepas dari mesin beberapa saat setelah suhu spesimen relatif mendingin. Selanjutnya spesimen dipotong membujur dengan gergaji untuk pengamatan struktur mikro dan pengujian kekerasan.

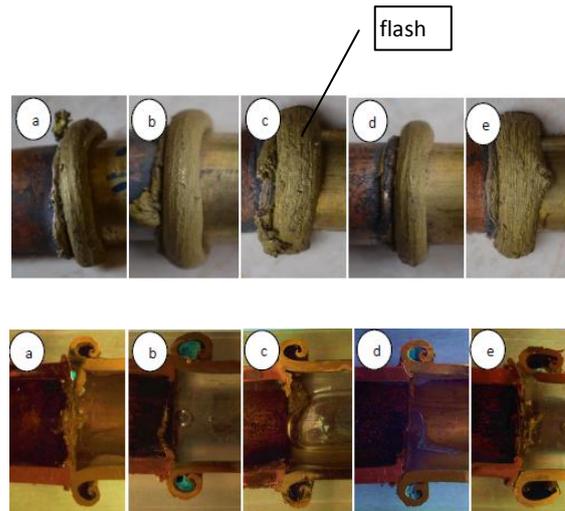
Spesimen diresin dan diampelas dengan mesin Griprimat berturut-turut menggunakan ukuran 120, 200, 800, 1000, 1200 dan 1500. Pemolesan dilakukan dengan autosol secukupnya untuk persiapan pengetsaan dengan lama pencelupan 10 detik. Spesimen dicuci dengan aquades lalu dibersihkan menggunakan kapas atau kain bersih. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik Olympus tipe PME3 dengan kemampuan pembesaran 50x sampai 2500x di Laoratorium Material D3 UGM.



GAMBAR 2. Proses pengerjaan las gesek pipa disimilar tembaga/kuningan



GAMBAR 3. Posisi titik pengambilan data pengujian kekerasan pada satu bahan.



GAMBAR 4-Atas: tampak luar,-Bawah : penampang membujur, hasil pengelasan gesek pipa disimilar Cu/Cu -Zn pada berbagai waktu gesek (a) 25, (b) 30, (c) 40, (d) 60 dan (e) 70 detik.

Pengujian kekerasan pada sambungan las sebanyak 10 titik dimana di masing-masing bagian kuningin dan tembaga dengan diambil 5 titik dengan jarak 0,5 mm tiap titiknya (Gambar 3). Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan MikroVickers hardness tester merek Shimadzu dengan tipe HMV-M3.

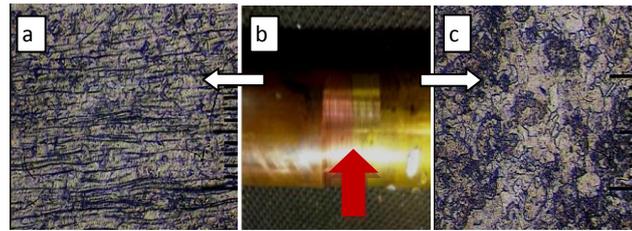
#### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penyambungan menggunakan teknik pengelasan gesek disimilar pipa Cu/Cu-Zn ditunjukkan oleh Gambar 4.

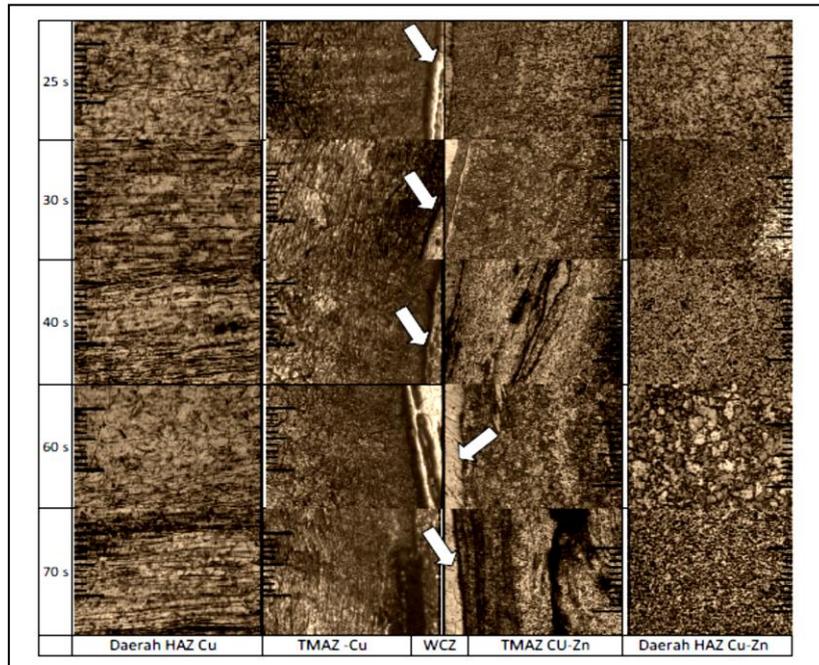
Pemendekan arah aksial pada sisi Cu-Zn teramati lebih besar dari pada sisi tembaga (Gambar 4-Atas). Bentuk flash yang terjadi pada bagian sambungan hampir sama pada semua variasi waktu gesek, dimana flash di Cu-

Zn terlihat lebih banyak. Hal ini disebabkan perbedaan titik leleh Cu-Zn ( $900^{\circ}\text{C}$ ) lebih rendah dari Cu ( $1084.62^{\circ}\text{C}$ ). Namun, seiring dengan bertambahnya waktu gesek, panas dan energi kinetik yang terjadi meningkat mengakibatkan flash bertambah besar (Gambar 4-Atas &-Bawah). Flash tidak hanya terjadi pada permukaan luar pipa namun juga terjadi di bagian dalam pipa, seperti diperlihatkan oleh Gambar 4-Bawah.

Flash di bagian dalam lebih kecil dibandingkan dengan flash di permukaan luar, dikarenakan adanya tekanan aksial pada kondisi thermoplastis dan gaya sentrifugal yang bekerja secara bersamaan sehingga mengarahkan material flash ke permukaan luar. Flash ini dapat berfungsi untuk membuang oksida yang terjebak, void atau kontaminan.



GAMBAR 5. (a) Struktur mikro dari tembaga (b) sambungan las gesek dimana flash telah dihilangkan dengan dibubut, (c) struktur mikro dari kuningan



GAMBAR 6. Struktur mikro sambungan las gesek disimilar Cu/Cu-Zn pada beberapa variasi waktu gesek

Flash dibuang dengan pembubutan yang hasilnya ditunjukkan Gambar 5.b (panah merah). Struktur mikro dari base metal Cu-Zn (Gambar 5.a) dan Cu (Gambar 5.c) memperlihatkan butiran yang membulat, *equiaxed*. Garis-garis pada Gambar 5.a adalah goresan pada waktu pemolesan yang sulit dihindari karena dua spesimen yang memiliki kekerasan berbeda dikerjakan secara simultan. Struktur mikro sambungan las gesek ditunjukkan oleh Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan kondisi struktur mikro dari hasil pengelasan gesek dimana material ditekan setempat dengan *strain rate* yang tinggi pada temperatur yang juga tinggi. Hal itu berakibat terjadinya rekristalisasi dinamis (Dynamics Recrystallization, DRX) pada penampang material. Tipikal daerah sambungan las gesek pada penelitian ini

(Continuous Drive Friction Welding, CDFW) sejalan dengan penelitian terdahulu (Dey dkk, 2009 dan Li dkk, 2016) terdiri dari 3 daerah yaitu : (1) daerah pusat las sering disebut dengan daerah Weld Centre Zone (WCZ) dimana transisi fasa metalurgi terjadi yang diindikasikan dengan butiran rekristalisasi sangat halus (ditunjukkan dengan tanda panah) pada kedua tepi daerah WCZ ini terdapat interface Cu/DRX dan interface DRX/Cu-Zn, (2) daerah yang terpengaruh gaya mekanik dan panas (*thermomechanically affected zone*, TMAZ), dimana daerah ini terpengaruh suhu dan regangan yang lebih rendah dari daerah WCZ. Daerah ini diindikasikan dengan adanya deformasi dan atau adanya butir kristal yang terekristalisasi sebagian sehingga ukuran butir di daerah ini sedikit lebih besar dari daerah WCZ. (3) daerah terpengaruh

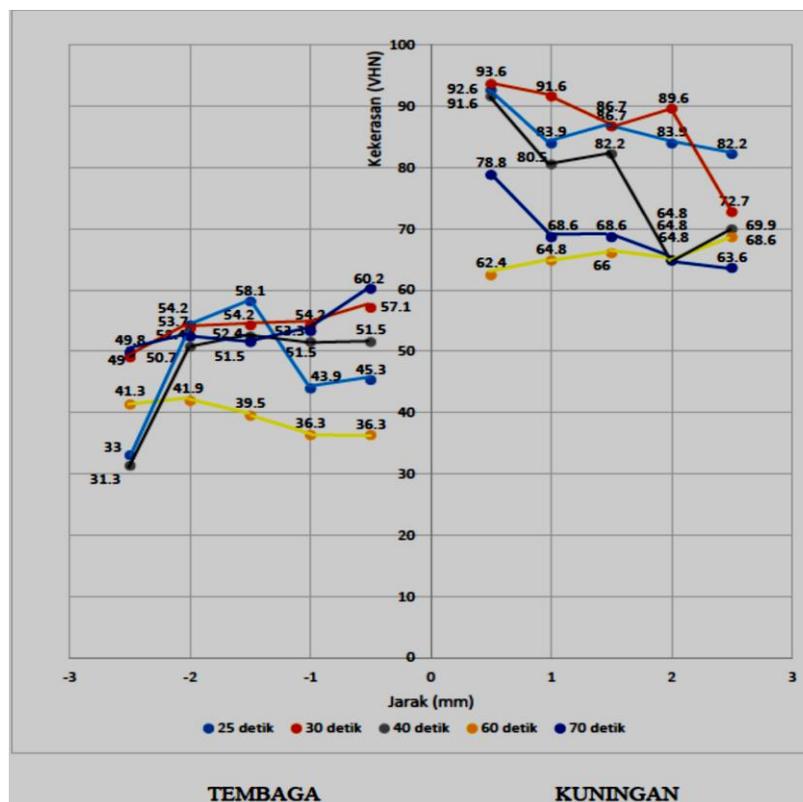
panas atau sering disebut Heat Affected Zone (HAZ), dimana daerah ini terpengaruh panas dan regangan yang lebih terbatas. Butiran di daerah ini cenderung lebih besar dan lebih membulat mirip dengan struktur mikro *base metal*nya.

Untuk spesimen dengan waktu gesek paling pendek, 25 detik, di daerah TMAZ deformasi plastis sudah terjadi namun belum begitu tampak nyata. Seiring dengan penambahan waktu gesek deformasi plastis akibat suhu dan tekanan semakin besar baik di sisi Cu maupun di sisi Cu-Zn. Deformasi di sisi Cu-Zn teramati lebih besar dibanding di sisi Cu karena titik lebur dari Cu-Zn yang lebih rendah. Garis-garis deformasi plastis yang membatasi daerah ditunjukkan dengan garis hitam disisi Cu-Zn pada waktu gesek 40, 60 dan pada waktu gesek 70 detik teramati lebih banyak dan semakin jelas.

Hasil pengujian kekerasan pada daerah sambungan las ditunjukkan pada Gambar 7. Secara umum terlihat bahwa nilai kekerasan semakin meningkat dengan mendekati daerah WCZ. Nilai kekerasan Cu terukur lebih rendah dari Cu-Zn karena paduan Cu-Zn

mengalami penguatan fasa ke dua di bawah garis eutektiknya. Walaupun kekerasannya lebih tinggi, titik lebur dari Cu-Zn lebih rendah dari titik lebur Cu karena paduan ini merupakan salah satu paduan tidak larut sempurna dan berada pada garis eutektik pada diagram fasa Cu-Zn.

Kekerasan daerah TMAZ-WCZ untuk waktu gesek 25 dan 30 detik lebih tinggi karena pada proses tersebut rekristalisasi belum banyak terjadi, namun pengecilan ukuran butir lebih dominan (Gambar 6 baris 1 dan 2). Pada waktu gesek 60 detik baik di sisi Cu maupun Cu-Zn tercatat memiliki nilai kekerasan terendah. Dari struktur mikro rekristalisasi terlihat paling banyak terjadi sehingga ukuran butir terlihat lebih besar (Gambar 6 baris 4). Dengan kenaikan waktu gesek deformasi (strain) terjadi lebih besar sehingga nilai kekerasannya meningkat lagi. (Gambar 6 baris 5). Hal ini menunjukkan bahwa waktu gesek sangat berpengaruh terhadap sifat kekerasan daerah sambungan yang pada gilirannya berpengaruh pada kualitas sambungan las gesek.



GAMBAR 7. Profil kekerasan pada sambungan las gesek dengan variasi waktu gesek 25, 30, 40, 60, dan 70 detik.

## KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk menginvestigasi pengaruh waktu gesek terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan dari sambungan dari sambungan las gesek disimilar pipa Cu/Cu-Zn. Hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada daerah WCZ butiran rekristalisasi sangat halus dan tidak dapat diamati adanya perubahan struktur mikro akibat waktu gesek yang berbeda. Kekerasan pada daerah ini tidak diamati.
2. Pada daerah TMAZ ukuran dan bentuk butir semakin mengecil pada waktu gesek 25-30 detik sehingga menghasilkan kekerasan paling tinggi (93,6 VHN pada Cu-Zn dan 57.1 VHN pada Cu) pada , pada waktu gesek lebih lama, 60 detik, terjadi rekristalisasi dan ukuran butir membesar sehingga kekerasannya terendah (62.4 VHN di Cu-Zn dan 36.3 VHN di Cu).
3. Pada daerah HAZ butiran cenderung lebih besar dan lebih membulat mirip dengan struktur mikro *base metal*-nya dengan kekerasan berkisar 40-50 VHN di Cu dan 69-80 VHN di Cu-Zn..

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Peneliti Las Gesek di Laboratorium Teknik Mesin UMY karena telah membantu dalam proses pembuatan las gesek.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook, Welding, Brazing, Soldering, H. Baker (Ed.), Vol. 6, USA (1997).
- Bringas, J. E., and Wayman, M. L., *The metals red book: nonferrous metals* vol. 2: Casti Pub., 1998.
- Dey, H., et al., "Joining of titanium to 304L stainless steel by friction welding," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 5862-5870, 2009
- <http://cuprobraz.com/technology/cuprobraz-attending-aimex-exhibition/> diakses tanggal 01/Januari 2016

<http://www.utinlab.ru/eng/item23.html> diakses tanggal 01/Januari 2016

- Kimura, M., et al., "Effect of friction welding condition on joining phenomena and joint strength of friction welded joint between brass and low carbon steel," *Science and Technology of Welding & Joining*, 2013.
- Li, W. et al., "Linear and rotary friction welding review," *International Materials Reviews*, vol. 61, pp. 71-100, 2016.
- Meran, C., and Kovan, V., "Microstructures and mechanical properties of friction stir welded dissimilar copper/brass joints," *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, vol. 39, pp. 521-530, 2008.
- Murr, L. E. , Sharma, G., Contreras, F., Guerra, M., Kazi, S.H., Siddique, M., et al., in: S.K. Das, J.G. Kaufman, T.J. Lienert (Eds.), *Aluminum 2001-Proc. TMS 2001 Annual Meeting Aluminum Automotive and Joining Symposia*, TMS, Warrendale (PA) (2001) 197.
- Sahin, M., "Joining of stainless-steel and aluminium materials by friction welding," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 41, pp. 487-497, 2009.
- Sathiya, P., et al., "Mechanical and metallurgical properties of friction welded AISI 304 austenitic stainless steel," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 26, pp. 505-511, 2005
- Yilbaş, B. S., et al., "Friction welding of St/ Al and Al/ Cu materials," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 49, pp. 431-443, 1995.

## PENULIS:

Aris Widyo Nugroho

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, 55183.

Email: ariswidyo.nugroho@umy.ac.id

Totok Suwanda

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan  
Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul,  
55183.

Septian Aldo Serena

Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,  
Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan,  
Bantul, 55183.