

Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Kekuatan Geser Sambungan Difusi antara AA5052 – Cu Murni Komersil

Ferly Wahyudhi, Jon Affi, Zulkifli Amin, Dedison Gasni,

Jurusan Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang, 25163
E-mail: jon_afi@ft.unand.ac.id

Abstrak

Bimetal Al – Cu banyak digunakan sebagai konektor pada sistem transformasi kabel listrik. Proses penyambungan kedua logam yang biasanya dilakukan dengan las gesek (*Friction welding*). Proses las gesek memerlukan proses penyelesaian permukaan *finishing* sehingga mempengaruhi dimensi yang dihasilkan pada akhir prosesnya. Salah satu proses penyambungan alternatif yaitu dengan *free vacuum diffusion bonding* merupakan penyambungan padat yang menjanjikan. Sedangkan kekuatan sambungan proses penyambungan difusi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya temperatur proses dan tekanan yang diberikan pada bidang kontak yang disambung.

Pada penelitian ini, AA5052 telah disambung dengan Cu murni komersil pada berbagai temperatur proses yaitu 430 °C, 450 °C, 470 °C. Semua proses dilakukan dengan tungku perlakuan panas induksi dengan waktu penahanan selama 6 jam. Untuk melindungi proses dari kontaminasi oksigen, gas pelindung *argon* telah dialirkan kedalam tungku dengan laju 15 lpm selama 15 detik dengan selang waktu setiap 15 menit. Tekanan kontak antara material adalah 2,5 ton. Sampel selanjutnya dipotong dengan *wire cutter* untuk disiapkan menjadi sampel uji geser untuk mengevaluasi sifat mekanik sambungan. Sebagian sampel disiapkan juga untuk pemeriksaan struktur mikro. Penampang patahan juga diamati untuk melihat pengaruh temperatur proses terhadap kekuatan sambungan

Dari hasil penelitian diperoleh kekuatan geser rata – rata menurun seiring dengan meningkatnya temperatur. Sebaliknya pengamatan struktur sambungan menunjukkan interlayer yang lebih tipis memberikan kekuatan sambungan yang lebih baik. Dari bentuk penampang patahan, patahan dengan nilai kekuatan tertinggi berlansung disepanjang interlayer, patahan dengan nilai terendah berlansung disepanjang interlayer yang dekat dengan Al. Dan besarnya nilai koefisien difusi meningkat seiring dengan ketebalan interlayer.

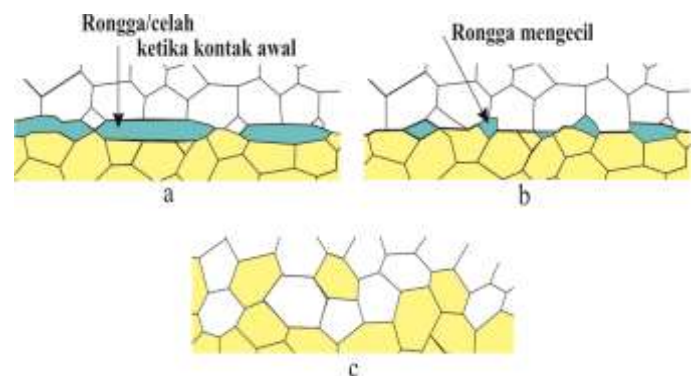
Keywords: Bimetal, Penyambungan difusi, Temperatur, kekuatan Geser, Penampang patahan, ketebalan interlayer, koefisien difusi.

Pendahuluan

Diffusion bonding merupakan bagian dari proses *solid-state welding*, proses penyambungan yang dilakukan dengan memanaskan material pada range 0,5 - 0,8 dari nilai temperatur leburnya dengan menggunakan gas *inert/vacuum/free vacuum*. Proses difusi dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti temperatur, tekanan *bonding*, waktu *holding*, kekasaran permukaan kontak, dan gas *inert* yang digunakan.

Proses difusi terjadi bila terbentuk bidang kontak sehingga migrasi atomik terjadi. Mekanisme terjadinya difusi ditunjukkan oleh gambar 1. Mekanisme difusi terjadi pada *asperity* dari kedua bagian permukaan yang mengalami kontak dengan memberikan tekanan elastis. seiring dengan peningkatan temperatur dan waktu *holding*, *asperity* mulai berkurang dan terjadi perpindahan massa atom (difusi massa) menuju rongga –

rongga kosong. Mekanisme berlanjut hingga rongga kosong semakin berkurang dan hilang (difusi volume).



Gambar 1 . mekanisme difusi.

Proses penyambungan antara 2 logam murni sudah banyak dilakukan, dan temperatur prosesnya juga tersedia di beberapa buku referensi dan jurnal. Namun, jika ada unsur paduan maka temperatur optimal yang

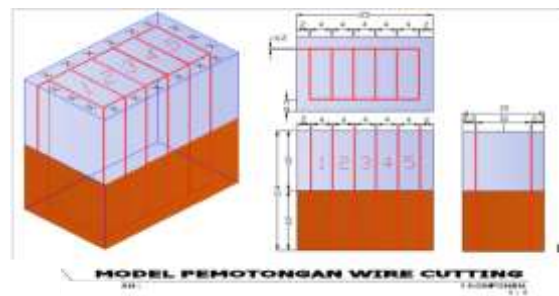
digunakan akan sangat dipengaruhi oleh unsur paduan yang terkandung. Peranan temperatur sangat mempengaruhi hasil sambungan dan kualitas, tujuannya untuk mendapatkan sambungan yang sifatnya merupakan gabungan dari kedua logam yang disambung. Hanya dengan melakukan pengontrolan temperatur kita akan mendapatkan sifat sambungan yang merupakan gabungan dari 2 logam dasarnya. Untuk mendapatkan temperatur difusi 2 logam komersil diperlukan penelitian untuk mendapatkan temperatur optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan temperatur pemanasan demi sambungan difusi yang berkualitas baik.

Metoda Eksperimen dan Peralatan yang digunakan

Material yang digunakan yaitu *Aluminium* paduan AA5052 dan Cu murni komersil. AA5052 mengandung 2,5 % *magnesium*, 0,23 % *chromium* dengan temperatur leleh mencapai 650 °C. Tembaga murni komersil dengan kandungan Cu hampir 99% dan temperatur leleh 1083 °C.

Proses pemanasan dilakukan pada tungku induksi listrik (Nabertherm L9/11/SKM). Dengan metoda klamping proses penekanan dilakukan pada 3 spesimen uji berdimensi 15 x 25 x 22 mm dengan kekasaran permukaan kontak hingga tahap *polishing*. Variasi temperatur yang digunakan adalah 430 °C, 450 °C dan 470 °C. Penekanan dilakukan pada mesin uji universal (kapasitas 75 Ton) dengan beban tekan sebesar 2500 Kg (± 70 MPa) dan dikunci dengan baut. Selanjutnya proses pemanasan dilakukan dalam tungku dengan waktu *holding* 6 jam, dan debit gas *argon* 15 lpm selama 15 detik setiap 15 menit sewaktu pemanasan berlangsung. Setelah penahan temperatur selesai sampel di-*anneal* dalam tungku hingga spesimen dingin..

Setelah proses pemanasan dilakukan, diambil 5 sampel untuk pengujian (3 sampel pengujian geser dan 2 sampel pengamatan struktur mikro). Pengambilan sampel dipotong dengan *wire cutter* sehingga ukurannya menjadi 24 x 10 x 4 mm. Skema pemotongan sampel uji geser dari sampel sambungan difusi diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2 . Model pemotongan *wire cutting*.

Pengamatan struktur mikro sambungan dilakukan dengan mikroskop optik logam (GX71F), kemudian pengujian geser pada mesin UTM mini (*COM-TEN testing machine 95T series*, kapasitas 5000 lb). Dilakukan sedikit modifikasi tambahan *fixture* uji geser dengan dimensi penampang geser 4 x 10 mm. Dilanjutkan pengamatan permukaan patahan sambungan dengan menggunakan mikroskop stereo Olympus (SZX10). Selanjutnya untuk pengamatan

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik sambungan skala makro.

Pada Gambar 3 dapat dijelaskan bahwa pengamatan makro dengan pembesaran 2.5 kali sudah nampak lapisan batas yang terbentuk berwarna hitam. Hal ini menandakan proses penyambungan telah berhasil dilakukan. Tidak terlihat dengan jelas perbedaan ketiga sambungan. Untuk mengamati lebih detail tentang sambungan diamati dengan perbesaran lebih tinggi



Gambar 3 . Bentuk makro dari sambungan.

Gambar 3.a : Sambungan pada temperatur 430°C,

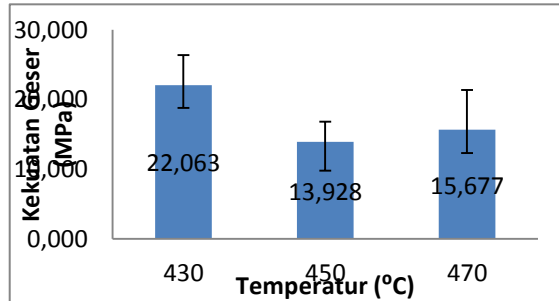
Gambar 3.b : Sambungan pada temperatur 450°C,

Gambar 3.c : Sambungan pada temperatur 470°C.

Pengujian geser.

Dari hasil pengujian geser didapatkan nilai kekuatan geser rata – rata menurun seiring dengan naiknya temperatur. Nilai kekuatan yang tertinggi terdapat pada temperatur 430 °C (21,9 MPa) namun nilai kekuatan yang terendah pada temperatur 450 °C (13.6 MPa) dan meningkat kembali pada temperatur 470 °C (15,2 MPa). Hasil yang didapatkan berlawanan dengan teori pendukung, dimana semakin dekat ke temperatur 80% semakin bagus kekuatan yang didapatkan. Pengaruh *over*

aging juga menjadi penyebab rendahnya nilai kekuatan yang didapatkan. *Over aging* yang dilakukan diatas temperatur anil (343 °C) mengakibatkan ukuran butir membesar dan kekuatan sambungan menurun. Untuk lebih jelasnya dapat dijelaskan pada Gambar 4 yang merupakan grafik kekuatan geser rata – rata.



Gambar 4 : Grafik kekuatan geser rata – rata.

karakteristik patahan.

Bentuk dari permukaan patahan yang terbentuk dari pengujian geser diberikan pada Gambar 5.



Gambar 5 . Bentuk patahan skala makro pembesaran 2x.

Gambar 5.a : Patahan dengan nilai kekuatan 26.41 MPa.

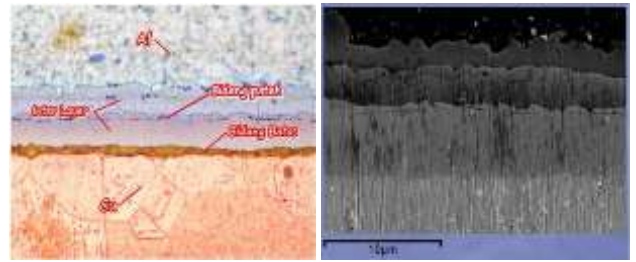
Gambar 5.b : Patahan dengan nilai kekuatan 9.797 MPa.

Gambar 5.c : Patahan dengan nilai kekuatan 21.44 MPa.

Patahan terjadi disepanjang interlayer, pada Gambar 5.c patahan terjadi disepanjang bidang batas sambungan, pada Gambar 5.b patahan terjadi di sepanjang bagian diantara interlayer dan Al, dan pada Gambar 5.a patahan terjadi disepanjang interlayer. Patahan dengan nilai kekuatan tertinggi diperoleh disepanjang interlayer sedangkan patahan dengan nilai terendah diperoleh disepanjang interlayer yang berdekatan dengan Al.

karakteristik struktur mikro.

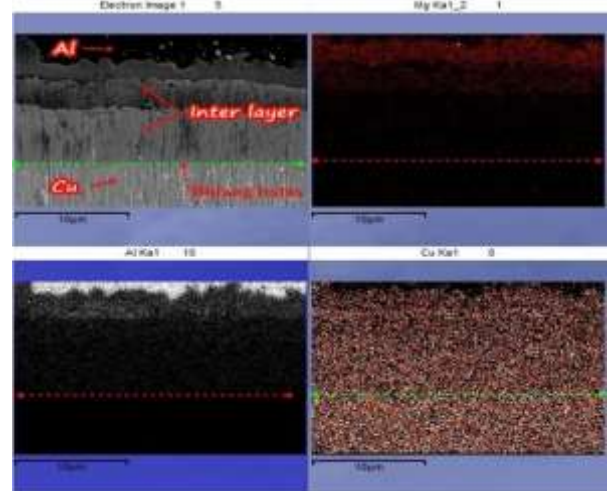
Karakteristik struktur mikro sambungan yang tergapat pada proses difusi Al/Cu ditunjukkan pada Gambar 6.



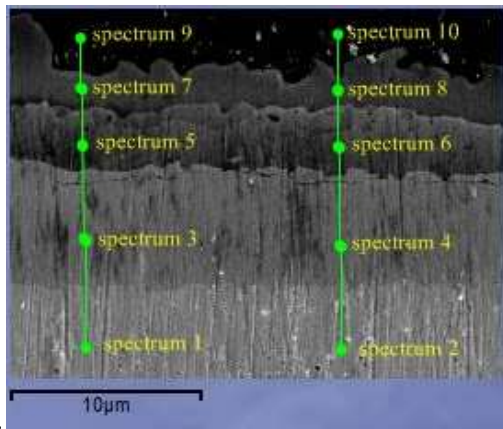
Gambar 6 . Karakteristik struktur mikro sambungan.

Dari gambar hasil pengamatan terdapat 3 layer yang terbentuk yaitu interlayer yang mengandung banyak Cu dan layer yang mengandung sedikit Cu. Proses difusi Cu ke Al terjadi dikarenakan jari – jari atom Cu lebih kecil dari jari – jari atom Al sehingga atom Cu berdifusi ke Al dan mengisi kekosongan yang terjadi pada susunan atom Al. Interlayer yang terbentuk berwarna kuning seperti warna Cu. Untuk lebih jelasnya seperti yang ditunjukkan Gambar 7 merupakan hasil pemeriksaan distribusi atom dengan EDX.

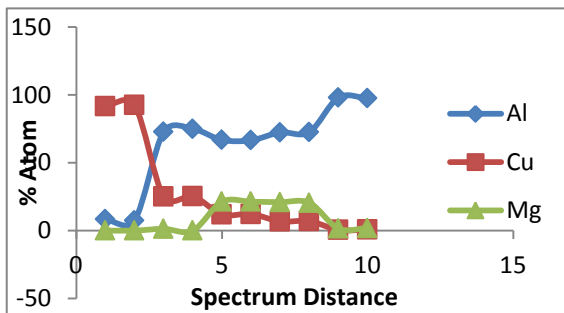
Data pengamatan SEM diambil dari hasil pengujian, dimana Logam Cu lebih banyak mengalami difusi dari pada Al. Jika ditarik garis lurus sepanjang bidang batas sambungan maka akan terlihat jelas perbedaan distribusi masing – masing atom Al/Cu/Mg, dan jika dilakukan pemeriksaan komposisi dengan EDX didapatkan hasil dimana pada interlayer yang terjadi difusi atom Cu sebesar 25% atom pada interlayer pertama dan 9.5% atom pada interlayer yang kedua (Gambar 8).



Gambar 7 . Hasil pengamatan mikroskop elektron SEM.



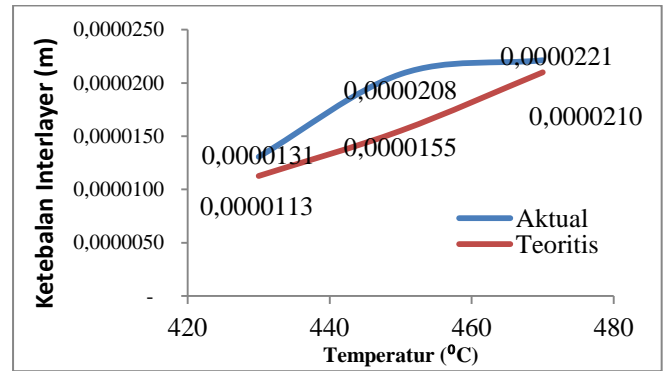
Gambar 8 : Posisi spektrum EDX.



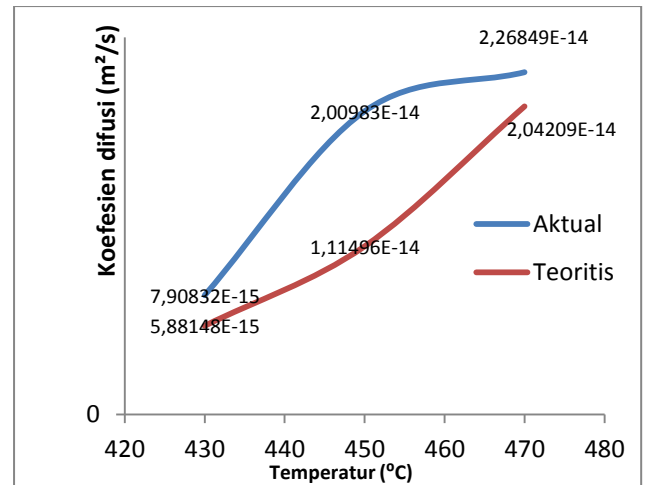
Gambar 9 . Grafik persentase atom Vs Posisi.

Ketebalan interlayer juga mempengaruhi nilai kekuatan yang didapatkan. Nilai rata – rata ketebalan interlayer diambil 5 titik secara acak dan pada satu titik dilakukan pengukuran ketebalan sebanyak 5 kali. Pada temperatur 430 °C didapatkan ketebalan layer rata – rata 13.07 µm, pada temperatur 450 °C didapatkan ketebalan 20.82 µm dan pada temperatur 470 °C didapatkan ketebalan 22.14 µm. Semakin tinggi temperatur maka semakin tebal interlayer, dan semakin tebal inter layer maka semakin rendah nilai kekuatan yang didapatkan. Jika dibandingkan dengan nilai yang didapatkan pada persamaan arrhenius, ketebalan interlayer teoritik dan hasil pengukuran didapatkan tidak berbeda jauh sehingga didapatkan nilai koefesien difusi yang semakin meningkat seiring dengan peningkatan ketebalan interlayer, seperti yang terlihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.

$$D = D_0 \text{Exp} \left(-Q_D / R.T \right)$$



Gambar 10 : Grafik perbandingan ketebalan interlayer aktual Vs teoritis.



Gambar 11 . Grafik perbandingan koefesien difusi aktual Vs teoritis.

Kesimpulan

Dari penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

- 1) Kedua spesimen menyambung dengan baik.
- 2) Terdapat lapisan batas yang diamati secara makro.
- 3) Nilai kekuatan geser rata-rata menurun seiring dengan peningkatan temperatur. Besarnya penurunan nilai kekuatan geser masing-masing range temperatur yaitu T = 430 °C (τ = 21,959 MPa), T = 450 °C (τ = 13.619 MPa), dan pada T = 470 °C (τ = 15,172 MPa).
- 4) Patahan dengan nilai kekuatan tertinggi terjadi didaerah interlayer, patahan dengan nilai terendah terjadi didaerah antara interlayer – Al.
- 5) Atom – atom Cu berdifusi masuk ke susunan atom Al.
- 6) Semakin meningkat temperatur maka semakin tebal interlayer yang terbentuk, namun semakin tebal interlayer nilai kekuatannya semakin menurun.
- 7) Semakin tebal interlayer yang terbentuk maka akan semakin besar nilai koefesien difusi.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada Fakultas Teknik Unand yang telah memberikan sebahagian bantuan dari segi materil untuk penelitian ini melalui kontrak perjanjian No 010/PL/SPK/PNP/FT-Unand/2013.

Referensi

- [1]. P. Eslami, A. Karimi Taheri. An investigation on diffusion bonding of aluminum to copper using equal channel angular extrusion process (2011).
- [2]. Groza, Joanna R, Shackelford. James F, Lavernia. Enrique J & Powers Michael T. "*Material processing handbook*". CRC Press : Taylor & Francis Group.
- [4]. Chen. Shangda, Ke. Fujiu, Zhou. Min & Bai. Yilong. Atomistic investigation of the effects of temperature and surface roughness on diffusion bonding between Cu and Al (2007).
- [5]. Callister Jr, D William. "Material science and engineering". Department of metallurgy engineering : The university of Utah.
- [6]. <http://www-old.me.gatech.edu/jonathan.colton/me4210/joiningchapter.htm>.
- [7]. http://fog.ccsf.cc.ca.us/~wkaufmyn/ENGN45/ENGN45_Online_Homework/10_Homework_Kinetics_SOLUTIONS
- [8]. http://www.eng.vt.edu/eng/materials/classes/MSE2094_NoteBook/96ClassProj/examples/cu-ni.htm