

## Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Kekuatan Geser Sambungan antara AA 5052 dan Cu Murni Komersil Menggunakan “Free Vacuum Diffusion Bonding”

Heryanda, Jon Affi, Dedison Gasni, Zulkifli Amin

Jurusan Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Andalas  
Kampus Limau Manis, Padang, 25163  
heryanda72@yahoo.com

### Abstrak

Penyambungan antara dua material yang berbeda, seperti aluminium dan tembaga ini bertujuan untuk mendapatkan semua sifat unggul material yang digabung. Bentuk dari aplikasi sambungan ini dapat dilihat pada komponen pendistribusian listrik tegangan tinggi. Penyambungan kedua material ini telah dilakukan dengan menggunakan proses penyambungan difusi dengan tungku perlakuan panas induksi komersil. Namun, karakteristik penyambungan belum sempurna penyambungan difusi dengan tungku vakum. Salah satu parameter yang berpengaruh adalah kekasaran permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh kekasaran permukaan terhadap kekuatan geser dari sambungan antara aluminium dan tembaga dengan menggunakan *free vacuum diffusion bonding*.

Karakteristik sambungan diteliti menggunakan pengujian mekanik dan pemeriksaan struktur mikro. Pengujian sifat mekanik telah dilakukan dengan uji geser untuk mendapatkan kekuatan geser dari sambungan. Sampel uji geser dengan ketebalan 4 mm telah dipotong dengan menggunakan *wire cutting* untuk meminimalkan efek deformasi dari pemotongan mekanik. Uji geser dilakukan menggunakan *mini universal testing machine*. Pengamatan struktur mikro pada sambungan telah dilakukan dengan menggunakan *mikroskop optik* dan *scanning microscope electron* (SEM).

Dari hasil penelitian ini telah diperoleh bahwa kualitas sambungan difusi sangat dipengaruhi oleh kualitas kekasaran permukaan kedua material sebelum disambung. Kekuatan geser tertinggi terjadi pada sambungan yang memiliki kekasaran permukaan yang paling halus. Hal ini disebabkan karena permukaan halus memberikan efek semakin luasnya bidang kontak kedua material sehingga proses difusi berlangsung lebih sempurna. Dari hasil pengamatan struktur mikro terdapat 3 interlayer yang terbentuk pada daerah sambungan. Semakin halus permukaan maka tebal dari interlayer semakin kecil. Dari hasil SEM memperlihatkan bahwa atom tembaga lebih banyak berdifusi ke aluminium jika dibandingkan atom aluminium yang berdifusi ke tembaga.

**Keywords:** Aluminium, tembaga, penyambungan difusi, uji geser, *free vacuum diffusion bonding*.

### Pendahuluan

Dalam penyambungan dua material diperlukan penggabungan dua sifat yang tidak mungkin diperoleh dari satu material. Penggunaan bimetal adalah salah satu solusi yang dapat menggabungkan kedua sifat dari dua material yang diinginkan. Salah satu contoh penyambungan dua material adalah bimetal konektor aluminium-tembaga pada pendistribusian instalasi listrik tegangan tinggi. Tembaga mempunyai konduktivitas listrik yang lebih baik dari pada aluminium, sedangkan aluminium memiliki massa jenis yang lebih ringan serta harga yang lebih murah dibandingkan tembaga. Penggabungan aluminium dan tembaga merupakan optimasi dari kedua sifat yang di atas. Untuk penggabungan aluminium dan tembaga dapat dilakukan dengan proses penyambungan difusi (*diffusion bonding*).

Penyambungan difusi biasanya dilakukan pada temperatur tinggi di dalam ruangan vakum atau atmosfer tertentu. Range temperatur yang diizinkan pada proses difusi adalah antara 0,5 sampai 0,8  $T_m$ , (Sirod Hantono dan Tiwan, (2005)). Proses difusi ini tergolong mahal dan membutuhkan waktu lama untuk memasukkan dan mengeluarkan material ke dan dari ruangan vakum.

Untuk menurunkan biaya proses penyambungan difusi di ruang vakum, maka tungku panas induksi komersial tanpa kondisi vakum (*free vacuum diffusion bonding*) menjadi alternatif, namun metode ini berbeda dari penyambungan *diffusion bonding* yang telah dilakukan oleh Shangda Chen dkk (2007) dan Kwang Seok Lee (2012), di mana proses penyambungan dilakukan dengan memanfaatkan gas argon untuk mereduksi terbentuknya oksida antara material yang disambung. Kekasaran permukaan sangat berpengaruh terhadap penyambungan difusi. Permukaan yang halus akan menghasilkan bidang kontak yang lebih banyak

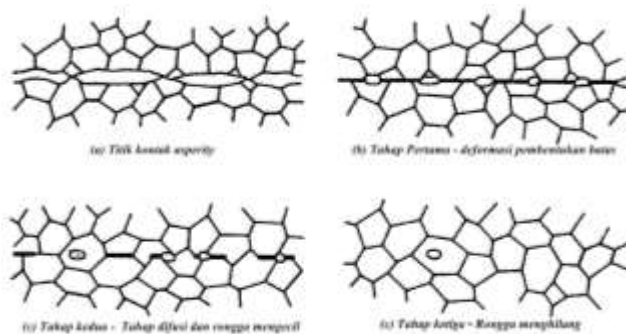
dibandingkan permukaan kasar hal ini disebabkan pada permukaan halus banyaknya *asperity* yang sudah menyatu sehingga proses penyambungan atom - atom akan mudah berpindah tempat, akan tetapi untuk menghasilkan permukaan yang halus akan memerlukan waktu serta biaya dalam prosesnya.

Dalam penelitian ini akan diamati bagaimana pengaruh dari kekasaran permukaan terhadap kualitas sambungan dengan menggunakan *free vacuum diffusion bonding*. Untuk mengevaluasi kualitas sambungan dilakukan pengujian mekanik dengan uji geser dan pengamatan struktur mikro pada sambungan juga diamati dengan menggunakan *mikroskop optik* dan *scanning microscope electron*.

### Teori Dasar

*Diffusion bonding* merupakan proses penyambungan antara dua material yang dilakukan pada temperatur tinggi di dalam ruangan vakum atau atmosfer tertentu. Range temperatur yang diizinkan pada proses *diffusion bonding* adalah antara 0,5 sampai 0,8  $T_m$ , di mana  $T_m$  adalah temperatur lebur dari material yang digunakan. Tingkat keberhasilan proses *diffusion bonding* lebih banyak ditentukan dari kualitas permukaan yang akan digabungkan, Banyak parameter yang berpengaruh terhadap hasil *diffusion bonding*. Parameter ini meliputi: temperatur, tekanan *bonding*, waktu *holding*, kekasaran permukaan, dan kevakuman tungku yang digunakan.

Dalam *diffusion bonding* proses penyambungan pada dasarnya merupakan penyambungan dua permukaan material padat secara atomik. Penyatuan permukaan terjadi karena adanya proses difusi atom antar permukaan material. Adapun mekanisme penyatuan permukaan secara lengkap dijelaskan dalam Gambar 1.



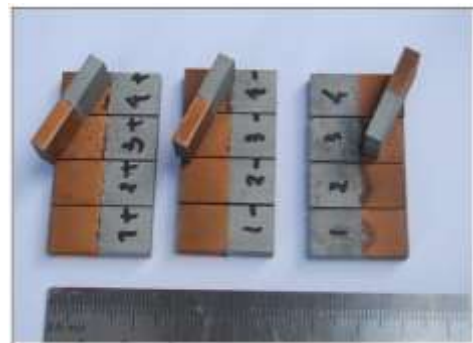
**Gambar 1.** Mekanisme *Diffusion Bonding* (Modifikasi dari Robert W. Messler, Jr. (2004))

Mekanisme terjadinya sambungan difusi dijelaskan secara singkat pada Gambar 1. Pada awalnya Gambar 1(a) Terbentuk titik kontak (*asperity*) antara kedua permukaan material. Gambar (b) merupakan tahap pertama dimana mulai terjadi pengurangan lapisan pengotor atau pengurangan rongga-rongga pada permukaan kontak karena adanya proses perpindahan massa antar atom menuju rongga kosong. Tahap kedua melanjutkan tahap difusi, batas butir bergerak menuju bentuk keseimbangan, hingga menyatu dan tidak dapat dibedakan antar *grain boundary* hingga rongga-rongga hilang Gambar (c). Tahap ketiga Proses *bonding* selesai permukaan menyatu secara sempurna Gambar (d).

### Metode Eksperimen & Fasilitas yang Digunakan

Spesimen yang digunakan dalam proses penyambungan difusi ini adalah AA 5052 dan Cu murni. Spesimen dipotong dengan ukuran 15 x 25 x 12 mm. Kekasaran permukaan divariasikan dengan menggunakan amplas mesh 100: untuk kasar, amplas mesh 1000: untuk sedang, dan untuk halus menggunakan mesh 2000 dan *polishing* dengan alumina 0,1  $\mu m$ . Nilai kekasaran Radari spesimen diukur dengan *surface roughness tester* Mitutoyo SJ-301.

Spesimen dijepit dengan menggunakan klem dan diberi tekanan dengan menggunakan mesin penekan dengan tekanan sebesar 66 MPa. Spesimen yang dijepit dengan klem dimasukkan ke dalam tungku panas induksi Nabertherm L 9/11/SKM dan dipanaskan sampai temperatur 743<sup>0</sup>K, kemudian ditahan selama 6 jam selanjutnya gas argon dialirkan ke dalam tungku secara intermiten dengan selang waktu 15 menit. Pemberian gas argon dilakukan selama 15 detik dengan laju aliran 15 lpm (liter per menit). Kemudian spesimen didinginkan dalam tungku (*annealing*). Masing-masing spesimen dipotong dengan *wire cutter* Fanuc-Wo, dengan ukuran panjang, lebar, dan tinggi pemotongan (24 x 10 x 4 mm) seperti terlihat pada Gambar 2.



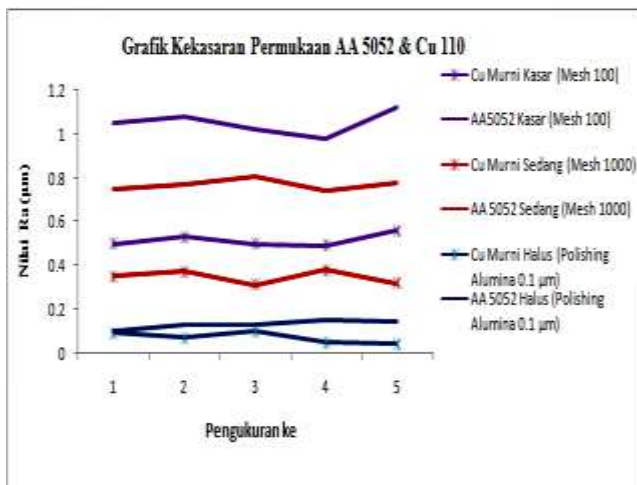
**Gambar 2.** Pemotongan spesimen (24 x 10 x 4 mm)

Pengukuran uji geser dilakukan dengan menggunakan alat *COM-TEN testing machine 95T series* yang dipasangkan *fixture* uji geserdan laju turunan *punch 2.5 mm/menit*. Pemeriksaan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan *microscop optic Olympus GX71F* setelah diampelas hingga mesh 2000 dan dihaluskan dengan menggunakan alumina 0.1  $\mu\text{m}$  pada mesin poles *Nanofil644* serta bentuk patahan dilihat dengan menggunakan *microscop optic stereo Olympus SZX10*.

## Hasil dan Pembahasan

### Pengukuran Kekasaran Permukaan

Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan sebelum disambung. Gambar 3 merupakan hasil dari kekasaran permukaan AA 5052 dan Cu murni. Dari gambar tersebut terlihat bahwa nilai kekasaran aluminium lebih tinggi dari tembaga. Hal ini disebabkan karena AA5052 ini lebih lunak dibandingkan Cu murni, sehingga sewaktu pengamplasan material yang lebih lunak akan terabrasi lebih dalam dibandingkan material yang lebih keras.



**Gambar 3.** Grafik kekasaran permukaan AA 5052 – Cu murni

### Pengukuran Kualitas Dimensi

Kualitas dimensi dari hasil proses penyambungan dengan *free vacuum diffusion bonding* antara AA 5052 – Cu murni dipengaruhi oleh kualitas kekasaran permukaan, semakin halus kekasaran permukaan kualitas dimensi sambungan akan lebih baik. Dari hasil pengukuran diperoleh perbedaan tinggi sebelum dan sesudah *free vacuum diffusion bonding* untuk permukaan halus sebesar 0,15 mm. seperti terlihat pada Gambar 4. Hal ini disebabkan bahwa pada saat spesimen pada permukaan kasar ditekan dengan

tekanan 66 MPa sedikit *asperity* yang mengalami kontak sehinggadefleksi dari *asperity* semakin besar, berbeda dengan permukaan halus dimana *asperity* yang mengalami kontak lebih banyak sehingga defleksi yang terjadi pada *asperity* menjadi kecil.



**Gambar 4** Grafik Selisih Tinggi AA 5052 – Cu Murni

### Kekuatan Geser Sambungan

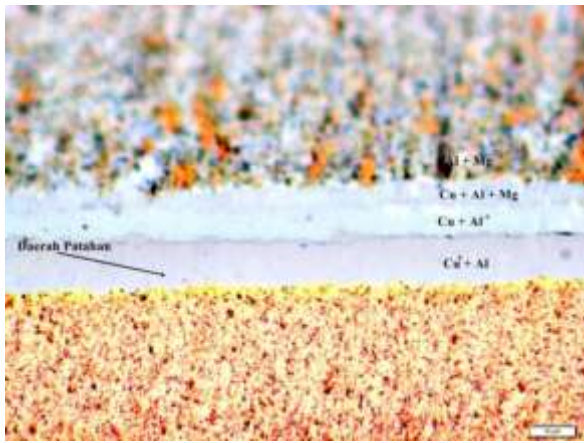
Nilai kekuatan geser dari proses penyambungan dengan *free vacuum diffusion bonding* antara AA 5052 – Cu murni dipengaruhi oleh kekasaran permukaan, semakin halus kekasaran permukaan maka semakin tinggi kekuatan geser sambungan. Besarnya kekuatan geser sambungan pada permukaan halus sebesar 17,13 MPa seperti terlihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Grafik rata-rata kekuatan geser sambungan AA 5052 – Cu murni

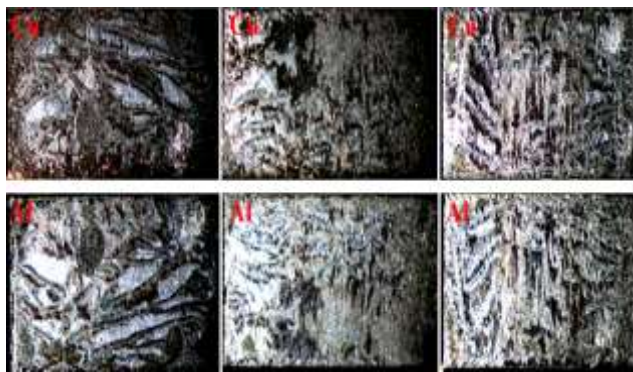
Semakin halus permukaan kontak maka semakin luas kontak yang terjadi sehingga semakin banyak atom tembaga berdifusi ke aluminium. Di samping itu, dari hasil patahan terlihat bahwa patahan terjadi pada daerah sambungan yang lebih dekat pada aluminium karena pada kekuatan geser aluminium lebih kecil dari pada kekuatan geser tembaga dan di daerah tersebut atom tembaga telah berdifusi ke atom aluminium di mana komposisi tembaga lebih dominan dari pada aluminium seperti Gambar 6.





**Gambar 6.** Daerah patahan dari sambungan AA 5052 dan Cu murni pembesaran 10  $\mu\text{m}$

Pada bidang patahan untuk permukaan halus (gambar 7 a) terlihat bahwa pada bidang patahan komposisi tembaga lebih banyak dari komposisi aluminium hal ini dapat dibandingkan dengan permukaan sedang dan halus terlihat pada Gambar 7 b dan c.



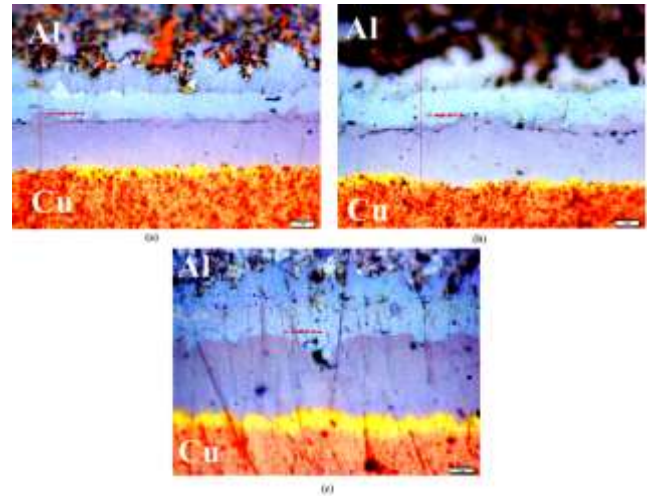
(a) (b) (c)

**Gambar 7.** Bentuk Patahan Dari Sambungan AA 5052 dan Cu Murni; (a) permukaan halus, (b) permukaan sedang, dan (c) permukaan kasar.

### Pengamatan Struktur Mikro

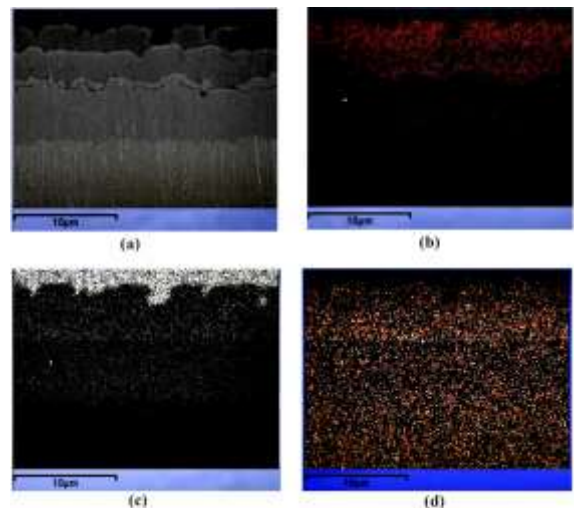
Gambar 8 memperlihatkan struktur mikro dari sambungan AA 5052 –Cu murni dengan menggunakan *microscope optic* untuk tiga variasi kekasaran permukaan dengan perbesaran 5  $\mu\text{m}$ . Bentuk hasil permukaan sambungan untuk permukaan kasar memperlihatkan *anchoring* yang bergelombang jika dibandingkan dengan permukaan sedang dan halus. Di samping itu tebal *interlayer* pada sambungan memiliki tebal yang bervariasi tergantung pada kekasaran permukaan. Pada permukaan halus tebal *interlayer* lebih tipis dibandingkan dengan permukaan sedang dan kasar hal ini diduga bahwa ukuran atom mempengaruhi terbentuknya *interlayer* sehingga pada permukaan halus *interlayer* banyak diisi oleh

tembaga yang memiliki ukuran atom lebih kecil dibandingkan aluminium dan hal ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.



**Gambar 8** Struktur mikro sambungan dengan pembesaran 5  $\mu\text{m}$ . (a) permukaan halus, (b) permukaan sedang, dan (c) permukaan kasar.

Untuk mengetahui distribusi perpindahan atom tembaga ke aluminium pengamatan juga dilakukan dengan menggunakan *energy dispersive X-Ray Microanalyzer* (EDX) yang terpasang SEM. Distribusi migrasi atom dapat dilihat pada Gambar 9 serta persentase atom dapat dilihat pada gambar 10 yang ditandai dengan Spectrum 1 sampai Spectrum 10.

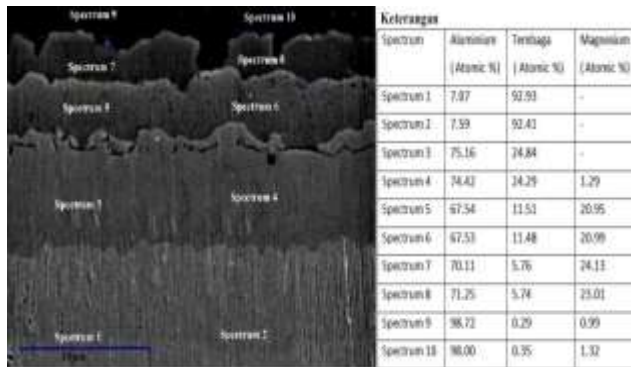


**Gambar 9** : Bagian – bagian hasil penyambungan menggunakan SEM.

(a) *Interlayer* sambungan AA5052 – Cu Murni, (b) distribusi atom Mg, (c) distribusi atom Al, (d) distribusi atom Cu.

Dari hasil SEM didapatkan bahwa lebih banyak atom Cu berpindah ke Al dari pada Al ke Cu karena atom tembaga memiliki radius yang lebih kecil ( $2,556 \text{ \AA}$ ) dibandingkan dengan atom Aluminium ( $2,886 \text{ \AA}$ ). Mudah bagi atom yang lebih kecil untuk berdifusi ke

daerah atom yang lebih besar. (Shangda chen dkk (2007)).



**Gambar 10** : Pemeriksaan *energy dispersive X-Ray Microanalyzer* (EDX) yang terpasang pada SEM.

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya;

1. Proses penyambungan dengan menggunakan *free vacuum diffusion bonding* berhasil dilakukan
2. Kualitas dimensi dari hasil proses penyambungan dengan *free vacuum diffusion bonding* antara AA 5052 – Cu murni dipengaruhi oleh kualitas kekasaran permukaan, semakin halus kekasaran permukaan kualitas dimensi sambungan akan lebih baik dengan perbedaan tinggi sebelum dan sesudah *free vacuum diffusion bonding* sebesar 0,15 mm.
3. Nilai kekuatan geser dari proses penyambungan dengan *free vacuum diffusion bonding* antara AA 5052 – Cu murni dipengaruhi oleh kekasaran permukaan, semakin halus kekasaran permukaan kekuatan geser sambungan akan lebih baik dengan *polishing* alumina 0,1 nilai kekuatan rata-rata 17,13 MPa
4. Dari pengamatan struktur mikro hasil sambungan dengan *free vacuum diffusion bonding* dapat dilihat bahwa *anchoring* untuk permukaan kasar terlihat bergelombang dan *interlayer* lebih tebal dibandingkan dengan sedang dan halus.

### Ucapan terima kasih

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Andalas yang membiayai sebagian dari dana penelitian melalui kontrak No. 010/PL/SPK/PNP/FT-Unand/2013.

### Referensi

- Ashby M., Shercliff H., Cebon D., 2007, *Material Engineering Science Processing and Design*, Butterworth-Heinemann, UK : 286
- Robert W. Messler, Jr. 2004, *Joining of Materials and Structures, From Pragmatic Process to Enabling Technology*, Butterworth-Heinemann: 338
- Callister W.D., 2007, *Material Science & Engineering, Seventh Edition*, John Wiley & Sons: 112
- Rochim, Taufiq. 2001. *Spesifikasi Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik*. Laboratorium Teknik Produksi dan Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin, FTI - ITB, Bandung: 52
- Johnson, K. L. (1985), *Contact Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, UK. : 3.
- Stachowiak, G.W. and Batchelor, A.W. (2001), *Engineering Tribology* 2<sup>nd</sup> Ed, Butterworth-Heinemann: 487
- James Binnion, 1996 *diffusion bonding of platinum*, binnion metal arts, llc.: 26
- Sirod Hantono, Tiwan, 2005, *diffusion bonding material tungsten-baja dengan interlayer ag-4% cu* Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta: 42