

## **ANALISIS STRUKTUR KRISTAL HASIL LAS *FRICTION-STIR WELDING* PADA *RETREATING SIDE* BIMETAL DISIMILAR AA6061-Cu DENGAN TEKNIK *DIFRAKSI NEUTRON***

**Tri Hardi Priyanto, Bharoto, M. Refai Muslih dan Hery Mugirahardjo**

*Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)- BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan  
e-mail : thardi@batan.go.id*

*Diterima: 8 Agustus 2012*

*Diperbaiki: 11 November 2012*

*Disetujui: 13 Februari 2013*

### **ABSTRAK**

#### **ANALISIS STRUKTUR KRISTAL HASIL LAS *FRICTION-STIR WELDING* PADA *RETREATING SIDE* BIMETAL DISIMILAR AA6061-Cu DENGAN TEKNIK *DIFRAKSI NEUTRON*.**

Telah dilakukan analisis struktur kristal pada paduan bimetal disimilar Al-Cu. Dari analisis difraksi neutron telah terjadi penurunan parameter kisi Al dari 4,09 Å menjadi 4,05 Å sedangkan parameter kisi Cu relatif konstan. Hal ini disebabkan titik leleh Al jauh lebih rendah dari titik leleh Cu. Secara fisis hal ini terjadi karena selama proses *Friction Stir Welding (FSW)* pada daerah *Stir Zone (SZ) or Nugget Welded Zone (NWZ)* terjadi deformasi yang kuat pada suhu sekitar 500 °C. Hal ini menyebabkan rekristalisasi secara dinamis, dimana butir menjadi lebih halus. Pada daerah *Thermo Mechanically Affected Zone (TMAZ)*, terjadi difusi atomik yang disebabkan oleh kombinasi antara deformasi plastik yang kuat dengan suhu tinggi. Untuk daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* masih terdapat aluminium dengan prosentase berat yang sangat kecil, hal ini disebabkan adanya paparan (*exposure*) pada suhu tinggi selama proses pemanasan *FSW*, mirip dengan proses *annealing (annealing-like process)*, yang menyebabkan dislokasi lenyap, presipitat melarut dan butir menjadi kasar apabila suhu melebihi 250 °C.

**Kata kunci:** *Bimetal disimilar AA6061-Cu, Friction stir welding, Difraksi neutron, Stir Zone, Thermo Mechanically Affected Zone, Heat Affected Zone, Base Metal Zone*

### **ABSTRACT**

#### **ANALYSIS OF CRYSTAL STRUCTURE OF THE WELDS WITH *FRICTION-STIR WELDING* METHOD ON THE *RETREATING SIDE* FOR BIMETALLIC DISIMILAR AA6061-Cu USING *NEUTRON DIFFRACTION TECHNIQUES*.**

Crystal structure analysis has been performed on bimetallic disimilar Al-Cu. Neutron diffraction analysis shows that Al lattice parameter decrease from 4.09 Å to 4.05 Å while the Cu lattice parameter is relatively constant. This is due to the melting point of Al is much lower than the melting point of Cu. Physically, during the *Friction Stir Welding (FSW)* process in the *Stir Zone (SZ) or Nugget Welded Zone (NWZ)* region, strong deformation occurs at temperatures around 500 °C. This leads to dynamic recrystallization where grains become more refined. At the *Thermo Mechanically Affected Zone (TMAZ)* region, atomic diffusion occurs due to a combination of strong plastic deformation at high temperatures. And for *Heat Affected Zone (HAZ)* area there are aluminium even with a very small percentage of weight, this is due to the exposure at a high temperature during the heating *FSW* process, similar with *annealing-like process*, which leads to the dislocation disappears, dissolves and precipitates grain becomes rough when the temperature exceeds 250 °C.

**Keywords:** *Bimetal disimilar AA6061-Cu, Friction stir welding, Neutron diffraction, Stir Zone, Thermo Mechanically Affected Zone, Heat Affected Zone, Base Metal Zone*

### **PENDAHULUAN**

Paduan aluminium merupakan jenis paduan dalam kelompok paduan logam *non-ferrous (non-ferrous alloys)* dan termasuk bahan logam yang sulit dilas

dengan teknik pengelasan konvensional, hal ini disebabkan karena daya hantar panasnya yang tinggi sehingga sulit untuk memanaskan sebagian kecil dan

disamping itu paduan aluminium mudah teroksidasi sehingga membentuk oksida  $Al_2O_3$  yang mempunyai titik leleh yang tinggi [1]. Karena sulitnya dilas maka penyambungan aluminium pada tataran aplikasi banyak menggunakan proses *rivetting* atau pengelasan. Namun belakangan ini telah ditemukan satu teknik pengelasan aluminium yang mulai banyak digunakan orang yaitu menggunakan teknik *Friction Stir Welding (FSW)*. Dengan teknik ini kedua benda yang akan disambung diaduk menggunakan pengaduk (*stirrer*) dan deformasi plastik dan panas yang timbul keduanya akan tersambung dengan sendirinya tanpa memerlukan bahan pengisi (*filler*) sebagaimana teknik las konvensional.

Teknik pengelasan yang cocok untuk paduan aluminium adalah metode *FSW*. Metode *FSW* menggunakan prinsip termomekanik dengan memanfaatkan energi panas adiabatik yang dihasilkan dari proses gesekan antara pengaduk (*stirrer*) dengan benda kerja yang akan dilas. Gesekan dan deformasi plastik yang terjadi menghasilkan panas yang cukup untuk melunakkan benda kerja yang diperlukan untuk proses pengelasan. Proses ini disebut proses *solid state*, yang berarti bahwa bahan-bahan dasar yang akan digabung tidak meleleh selama proses penggabungan [1]. Dengan adanya suhu yang lebih rendah dari titik lebur aluminium maka akan menghasilkan daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone*) yang kecil. Hal ini merupakan hal yang sama sekali baru di bidang teknologi las. Sebagai contoh paduan aluminium seri 2xxx dan 7xxx yang secara tradisional tidak dapat dilas (*non-weldable*) sekarang dapat dilas dengan metode *FSW* [2].

Dalam penelitian ini digunakan paduan aluminium seri AA6061 dan tembaga sebagai bahan yang akan dilas karena AA6061 memiliki ketahanan korosi dan kekuatan kemampuan lasan (*weldability*) yang baik meskipun kekuatannya berkurang di zona lasan. Beberapa hasil penelitian *FSW* pada Al dan Cu telah dilakukan namun analisis hasil las dengan teknik difraksi neutron belum ada. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa banyak partikel Cu terdiri dari Cu murni dan *intermetallic compound* yang dibangun dari lapisan pada bagian bawah *nugget zone (stir zone)*, yang membentuk struktur komposit dengan kenaikan kekerasan [2].

Penelitian lain juga dilakukan pada bimetal disimilar Al-Cu dalam kaitannya posisi logam akan mempengaruhi kekuatan gabungan, analisis strukturmikro dilakukan untuk memperoleh informasi tentang *intermetallic compound* dan beberapa *microcrack*. Dengan *shear* dan *hardness test* diperoleh hasil bahwa beban patah maksimum (*maximum fracture load*) dari sambungan diperoleh bila Al ditempatkan di atas Cu [4]. Penelitian hasil las paduan AA1050 dengan Cu C101 yang dilakukan dengan teknik las *linier friction welding*, diperoleh hasil sifat mekanik dan listrik yang dapat diproduksi, Mikroskop optik, *backscattered Scanning Electron Microscope*, *Hardness Testing* dan

*Energy Synchrotron X-Ray Diffraction* digunakan untuk mengetahui variasi ukuran butir dan kemungkinan pembentukan fasa intermetalik yang dekat dengan garis las [5].

Tujuan penelitian adalah melakukan karakterisasi daerah lasan untuk mengetahui efek pengelasan pada struktur kristal juga apakah terbentuk komposit di daerah yang terpengaruh mekanik dan panas akibat proses pengelasan. Struktur hasil las perlu dianalisis karena pada daerah lasan terjadi pencampuran antara paduan aluminium dan tembaga akibat proses las dengan metode *FSW*. Ruang lingkup karakterisasi dengan metode difraksi neutron dilakukan di daerah sisi mundur (*retreating side*) dengan asumsi bahwa distribusi panas pada sisi mundur (*retreating side*) dan sisi maju (*advancing side*) adalah simetri artinya memiliki pola difraksi neutron yang sama. Sisi mundur (*retreating side*) adalah sisi dimana arah permukaan gerak berputar alat las (*stir-head*) berada dalam arah yang berlawanan dengan arah gerak translasi perjalanan *stir head*.

## METODE PERCOBAAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium seri AA 6061 dan tembaga. Paduan aluminium seri 6xxx adalah paduan Al-Mg-Si. Secara umum prosentase komposisi kimia untuk AA6061 adalah Mn sebesar 0,0% hingga 0,15%, Fe sebesar 0,0% hingga 0,7%, Mg sebesar 0,8% hingga 1,20%, Si sebesar 0,40% hingga 0,80%, Cu sebesar 0,15% hingga 0,40%, Zn sebesar 0,0% hingga 0,25%, Ti sebesar 0,0% hingga 0,15%, Cr sebesar 0,04% hingga 0,35% [6]. Titik leleh paduan aluminium AA6061 sebesar 650 °C [7,8] dan Cu = 1084 °C [8]. Suhu rekristalisasi Al = 150 °C dan Cu = 200 °C [9]. Ditinjau dari sifat *heat-treatable*, seri 6xxx termasuk dalam kelompok *heat treatable*. Logam yang dilas berbentuk plat dengan ukuran (100 × 50 × 6) mm<sup>3</sup>. Kedua bahan logam tersebut dilas dengan menggunakan mesin frais HOLKE F-10-V yang difungsikan sebagai mesin *FSW*.

Sebelum dilakukan pengelasan, permukaan yang akan dilas dihaluskan lebih dahulu, selanjutnya setelah permukaan menjadi halus, kedua permukaan Al dan Cu direkatkan dan digenggam erat agar tidak bergeser saat dilakukan pengelasan.

Dalam percobaan ini kecepatan putar *stir head* diset pada 870 rpm pada kemiringan sudut sebesar 2° terhadap arah vertikal, Kecepatan translasi 0,26 mm/detik. Paduan bimetal-disimilar Al-Cu selanjutnya dikarakterisasi dengan metode difraksi neutron. Karakterisasi dilakukan pada suhu kamar menggunakan difraktometer tekstur DN2 pada panjang gelombang neutron = 1,2799 Å yang dihasilkan oleh monokromator Si(311). *Incoming beam slit* diset pada dimensi (5 × 5) mm<sup>2</sup> dan *outgoing beam slit* diset ukuran (20 × 20) mm<sup>2</sup>. Jangkauan sudut minimum 2θ sebesar

20° hingga 64° untuk menjangkau minimum tiga puncak Bragg Al dan Cu. Pola difraksi neutron dianalisis menggunakan perangkat lunak *Materials Analysis Using Diffraction (MAUD)* [10,11]

## HASIL DAN PEMBAHASAN

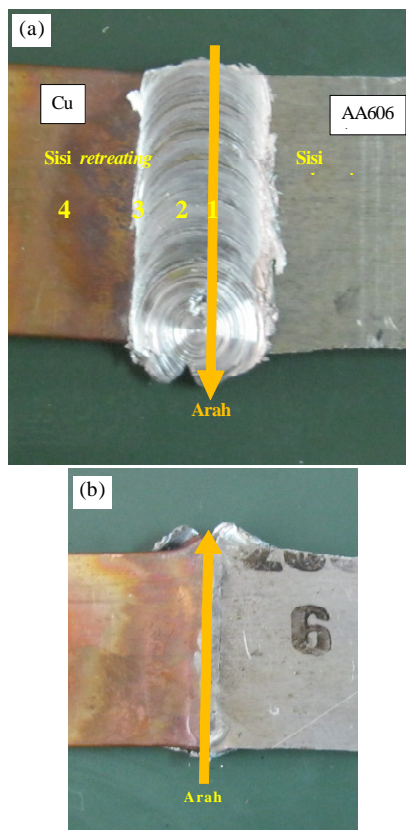
Hasil pengelasan *disimilar bimetal* ditunjukkan pada Gambar 1. Karakterisasi dilakukan pada sisi mundur (*retreating side*) yaitu sisi dekat logam induk Cu. Empat daerah yang dikarakterisasi masing-masing daerah pusat las *Stir Zone (SZ)*, daerah yang dipengaruhi termomekanik pada *Thermo Mechanically Affected Zone (TMAZ)*, daerah terpengaruh panas pada *Heat Affected Zone (HAZ)* dan daerah logam induk *Base Metal Zone (BMZ)*.

Pada Gambar 1(a) ditunjukkan permukaan las bagian depan dan Gambar 1(b) untuk permukaan las bagian belakang, terlihat adanya perubahan warna Cu karena efek penjaralan panas yang diakibatkan oleh pengelasan. Penomoran pada titik yang dikarakterisasi adalah SZ dengan kode 1, *TMAZ-Cu* dengan kode 2, *HAZ-Cu* dengan kode 3 dan *BMZ Cu* dengan kode 4. Panas yang dihasilkan karena proses termomekanik merambat dari pusat las *SZ* ke logam induk *BMZ*. Pada proses *FSW* telah terjadi dinamika rekristalisasi dari daerah *SZ* ke *BMZ*. ditandai dengan perubahan rasio persen berat antara Cu dan Al. Istilah dinamika

menandakan bahwa proses ini bertepatan dengan deformasi [12].

Pada sisi mundur dominasi unsur Cu sangat dominan dibandingkan dengan Al. Prosentase Al terbesar pada daerah *SZ* dan nilai tersebut semakin mengecil pada posisi semakin jauh dari pusat las. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 2.

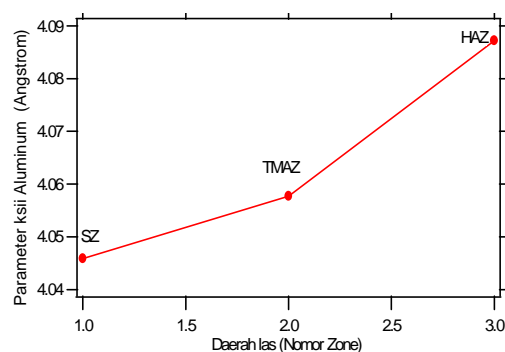
Dari pola difraksi neutron pada daerah *SZ* puncak bragg Cu untuk bidang (111), (200) dan (220) tampak jelas sedangkan puncak Bragg Al (111), (200), (220) dan (311) memiliki intensitas yang lemah (Gambar 3). Pada daerah *TMAZ* intensitas Al semakin melemah (Gambar 4). Untuk daerah *HAZ* efek aluminium sangat lemah (Gambar 5) dan pada daerah logam induk *BMZ* sudah tidak ada lagi efek aluminium (Gambar 6). Selama proses *FSW* pada daerah *SZ* terjadi deformasi yang kuat pada suhu sekitar 500 °C [13] sehingga terjadi rekristalisasi pada Cu dan Al, suhu rekristalisasi Cu dan Al, masing-masing adalah sekitar 200 °C dan 150 °C [9]. Hal ini menyebabkan rekristalisasi secara dinamis dimana butir menjadi lebih halus (3~5µm) dan jaringan batas butir hancur, dimana partikel-partikel secara seragam menyebar dalam matriks membentuk struktur mirip komposit (*composite-like structure*) [13]. Pada daerah *TMAZ*, terjadi difusi atomik yang disebabkan oleh kombinasi antara deformasi plastik yang kuat dengan suhu tinggi. Untuk daerah *HAZ* masih terdapat aluminium meski dengan prosentase berat yang kecil, hal ini disebabkan adanya paparan (*exposure*) pada suhu tinggi selama proses pemanasan *FSW*, mirip dengan proses *annealing (annealing like process)*, yang menyebabkan dislokasi lenyap, presipitat melarut dan butir menjadi kasar apabila suhu melebihi 250 °C [14].



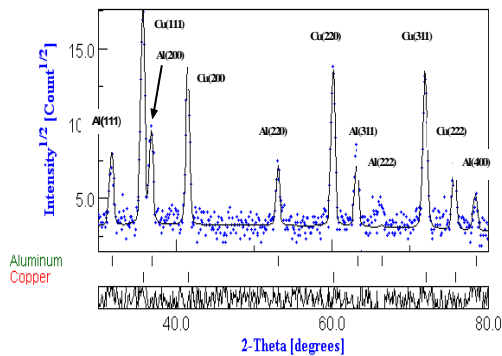
Gambar 1. Hasil las disimilar-bimetal antara paduan aluminium A6061 dengan Cu (a). Permukaan las bagian depan dan (b). Permukaan las bagian belakang.

Tabel 1. Komposisi %berat Al-Cu dan parameter kisi sebagai fungsi zone akibat pengelasan dengan metode *FSW*.

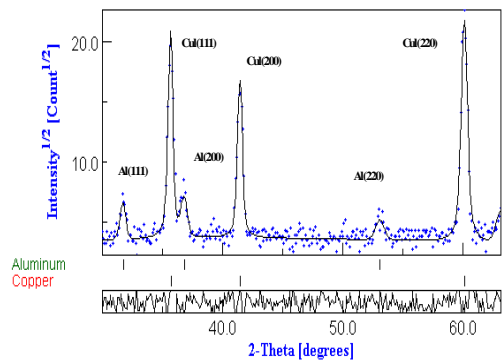
Zone	Point	Komposisi (% berat)		Parameter kisi (Å)	
		Cu	Al	Cu	Al
SZ	1	55,18	44,82	3,6062 ± 0,0008	4,0459 ± 0,0009
TMAZ	2	59,45	40,55	3,6139 ± 0,0003	4,0502 ± 0,0008
HAZ	3	99,25	0,75	3,6158 ± 0,0002	4,0859 ± 0,0003
BMZ	4	100,00	0,00	3,6219 ± 0,0011	-



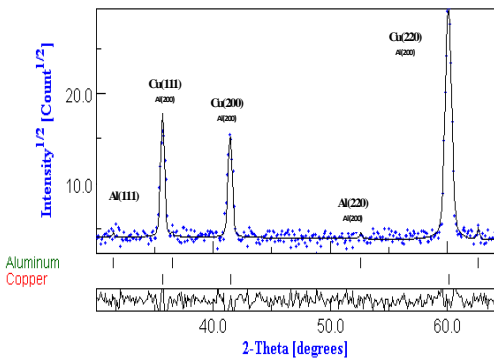
Gambar 2. Perubahan parameter kisi terhadap daerah pengelasan.



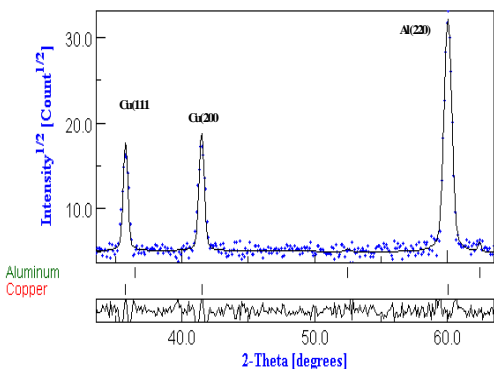
**Gambar 3.** Pola difraksi neutron disimilar-bimetal di daerah *Stir Zone* (SZ). Terdapat dua fasa Cu dan Al yang dihasilkan akibat proses pengadukan gesek.  $Rwp=25,4\%$ .



**Gambar 4.** Pola difraksi neutron disimilar-bimetal di daerah *TMAZ*. Terdapat dua fasa Cu dan Al yang dihasilkan akibat proses pengadukan gesek.  $Rwp=22,9\%$ .



**Gambar 5.** Pola difraksi neutron disimilar-bimetal di daerah *HAZ*. Prosentasi fasa Al sangat kecil dan hampir tidak nampak.  $Rwp=19,1\%$ .



**Gambar 6.** Pola difraksi neutron disimilar-bimetal di daerah *BMZ*. Tidak ada fasa Al, murni Cu dan terorientasi ke arah  $\langle 110 \rangle$ .  $Rwp=18,9\%$ .

Adanya rekristalisasi dinamis juga ditunjukkan oleh perubahan parameter kisi pada unsur Al di setiap *zone* pengelasan. Parameter kisi Cu pada daerah *SZ* sampai dengan *BMZ* relatif tidak berubah, sedangkan parameter kisi Al pada daerah *SZ* ke daerah *HAZ* mengalami peningkatan yang cukup berarti. Perubahan parameter kisi yang cukup berarti pada Al dibandingkan dengan Cu karena titik leleh Al jauh lebih rendah dibandingkan dengan Cu, hal ini mengakibatkan proses rekristalisasi pada Al lebih cepat dibandingkan dengan Cu.

## KESIMPULAN

Dari hasil percobaan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa telah terjadi proses rekristalisasi dinamis pada daerah lasan. Hal ini ditunjukkan dengan adanya perubahan parameter kisi pada paduan aluminium, sedangkan pada Cu parameter kisi pada daerah las tidak terlalu banyak mengalami perubahan. Untuk paduan aluminium, pada daerah *SZ* Al memiliki parameter kisi terkecil sebesar  $4,0459 \pm 0,0009 \text{ \AA}$ . dan selanjutnya sedikit meningkat *TMAZ*, menjadi  $4,0502 \pm 0,0008 \text{ \AA}$  dan menjadi  $4,0859 \pm 0,0003 \text{ \AA}$  pada daerah *HAZ*. Demikian juga telah terjadi perubahan komposisi persen berat pada *Stir Zone* (*SZ*) pada perbandingan Cu : Al sebesar 55,18 : 44,82 menjadi Cu : Al sebesar 99,25 : 0,75 pada *Heat Affected Zone* (*HAZ*). Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah lasan telah terjadi pembentukan komposit Al-Cu dengan komposisi yang berbeda, tergantung pada efek pemanasan yang dihasilkan akibat gesekan antara *stir head* dengan logam induk (*base metal*). Sifat mekanik meliputi kekerasan dan kekuatan tarik dapat dianalisis lebih lanjut setelah dilakukan karakterisasi struktur kristal pada daerah sisi maju (*advancing side*), karena struktur kristal yang terbentuk pada sisi maju menentukan kekerasan dan kekuatan tarik pada daerah lasan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan anggaran Program Riset Insentif PKPP 2012 melalui Kementerian Riset dan Teknologi.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. P. XUE, B. L. XIAO, D. WANG, Z. Y. MA, *Science and Tech of Welding and Joining*, **16** (8) (2011) 657-661
- [2]. M. AKBARI, R. ABDIBEHNAGH, A. DADVAND, *Science and Tech of Welding and Joining*, **17** (7) (2012) 581-588(8)
- [3]. I. BHARNJI, R. J. MOAT, M. PREUS, P. L. THREADGILL, A.C. ADDISON, M. J. PEEL, *Science and Tech of Welding and Joining*, **17** (4) (2012) 314-320(8)

- [4]. *Aluminum alloy AA6061-T6 Aalco Metal Ltd*, 25 High Street, Cobham, Surrey KT11 3DH
- [5]. J. T. BLACK, RONALDA. KOHSER, *Materials and Process in Manufacturing*, John Willey & Sons, Inc, (2008) 67
- [10]. L. LUTTEROTTI, S. MATTHIES and H. -R. WENK, MAUD (Material Analysis Using Diffraction): A User Friendly Java Program for Rietveld Texture Analysis and More, *Proceeding of the Twelfth International Conference on Textures of Materials (ICOTOM-12)*, **1** (1599) (1999)
- [11]. L. LUTTEROTTI, S. MATTHIES and H.-R. WENK, MAUD, A Friendly Java Program for Material Analysis Using Diffraction, *IUCr: Newsletter of the CPD*, **21** (14-15) (1999)
- [12]. TERRY KHALED, *An Outsider looks at Friction Stir Welding*, Report : # ANM-112N-05-06, July (2005) 1-71
- [13]. WEIFENG XU, JINHE LIU, GUOHONG LUAN, CHUNLIN DONG, *Mater Design*, **30**, (2009) 3160-3167
- [14]. W. F. XU, J. H. LIU, D. L. CHEN, G. H. LUAN and J. S. YAO, *Scripta Materialia*, **66** (2012) 5-8