

## Kaji Numerik Sifat Fisika-Mekanik Paduan Alumunium Hasil FSW

**Sugianto dan Riswanda dan Harlian Kadir**

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga Bandung 40012, Kotak Pos 1234

e-mail :sugizaps@gmail.com

e-mail :riswanda@polban.ac.id

e-mail : harliankadir@yahoo.com

### Abstrak

Proses perancangan produk atau pengembangan produk akan membutuhkan data lengkap material yang digunakan untuk membangun geometri (bentuk dan ukuran) produk masal ataupun prototype. Data lengkap yang dibutuhkan meliputi Sifat mekanik, sifat fisik serta sifat-sifat lain pada umumnya diperoleh melalui proses pengujian laboratorium. Keterbatasan data terkhusus Sifat Fisika-Mekanik (SFM) terhadap kondisi pengujian (terutama rentang Variabel Waktu dan Temperature: VWT) membatasi proses analisis produk yang terkena beban luar berupa VWT. Keterbatasan data SFM dapat dilengkapi salah satunya dengan melakukan pemodelan (modeling) atau simulasi numerik berdasarkan korelasi empirik yang dibangun berdasarkan data pengujian. Korelasi empirik SFM terhadap VWT yang akan dilakukan diantaranya korelasi sifat mekanik dapat dimodelkan menggunakan persamaan Hall-Petch, sifat termofisika menggunakan model SG (Scheil-Gulliver), sifat kesetimbangan fase menggunakan model CALPHAD, sifat pada proses termo-mekanik menggunakan model JMA (Johnson-Mehl-Avrami). Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah mendapatkan SFM paduan alumunium yang dipengaruhi oleh VWT (akibat proses Friction Stir Welding: FSW) melalui proses simulasi numerik. Paduan alumunium yang akan dibahas terbatas pada paduan alumunium AL-5083 dan AL-6061-T6 sebagai logam dasar (sebelum proses FSW) dan logam paduan alumunium hasil proses FSW (AL-FSW). Hasil simulasi dibandingkan dengan data SFM aktual untuk mendapatkan nilai kesalahan (error). Jika nilai kesalahan relatif besar, maka dilakukan proses simulasi ulang dengan mengubah kondisi yaitu memperkecil ukuran time step ataupun temperature step menggunakan model-model tersebut di atas sampai diperoleh nilai kesalahan yang relatif kecil yaitu 5% sehingga proses simulasi dinyatakan selesai. Hasil simulasi yang mempunyai kesalahan relatif kurang-lebih 5%, bisa digunakan sebagai data yang baik dan benar yang bisa digunakan sebagai data untuk proses analisis produk yang menggunakan logam paduan alumunium. Manfaat dari penelitian ini adalah data lengkap SFM paduan alumunium AL-5083 dan AL-6061-T6 dapat digunakan para pakar dalam menganalisis perancangan produk hasil rekayasa ulang atau perancangan produk baru terutama pada analisis proses manufaktur produk.

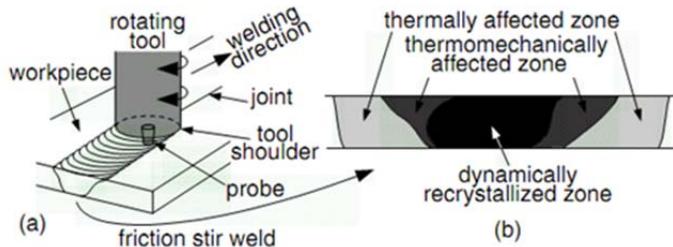
*Kata kunci:* Paduan alumunium, Sifat fisika-mekanik, Friction Stir Welding, Kaji numerik

### 1. Pendahuluan

Aluminium dan paduannya merupakan logam yang banyak digunakan di bidang teknik karena memiliki berbagai keunggulan antara lain: ringan, mempunyai sifat mampu bentuk (*formability*) yang baik, kekuatan tarik relatif tinggi, tahan korosi dan sifat mekaniknya dapat ditingkatkan dengan penggerjaan dingin atau perlakuan panas, serta mempunyai sifat mampu las (*weldability*) yang bervariasi tergantung pada jenis paduannya. Kelebihan paduan aluminium dibandingkan dengan logam lainnya menyebabkan banyak digunakan di bidang struktur dan permesinan.

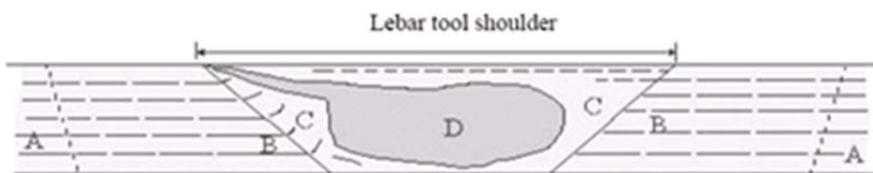
Proses *friction stir welding* (FSW) merupakan teknik pengelasan baru yang dapat menyambung material dalam kondisi lumer (tidak mencapai titik cair). FSW merupakan metode alternatif yang dapat digunakan untuk pengelasan aluminium paduan dengan kandungan seperti, Mg, Si, Cu, Mn dan lainnya. Pada proses ini akan terhindar dari masalah-masalah yang terjadi pada pengelasan cair seperti: retak panas (*hot cracking*) dan porositas saat proses solidifikasi pada kawah las. Proses FSW tidak memerlukan gas pelindung, oxida mudah dihilangkan serta tidak memerlukan prosedur pembersihan.

Dewasa ini proses las FSW (friction stir welding) banyak digunakan untuk menyambung paduan aluminium. Proses FSW telah dipatenkan oleh TWI (The Welding Institute) di Inggris tahun 1991 [1]. Proses FSW (Gambar 1) adalah teknik las padat dengan menggunakan bantuan tools (*shoulder and pin*) yang berputar dengan gerak maju (feeding) tertentu sehingga logam mengalami pelunakan (lumer) di kedua sisi benda yang dilas dan terjadi penyambungan. Pemakaian las FSW pada pengelasan aluminium dan paduannya didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut: tidak menimbulkan asap, peralatan yang sederhana serta tidak memerlukan operator yang bersertifikat. Kelebihan lain proses FSW yaitu dapat mengelas beberapa paduan aluminium yang sulit dilas (sifat mampu las rendah) termasuk menyambung jenis aluminium yang berbeda (dissimilar joint).



**Gambar 1** Proses friction stir welding [2]

Perbedaan metallurgi logam las pada proses pengelasan tak sejenis akan mengakibatkan kendala tersendiri dan ini perlu perhatian khusus. Paduan aluminium seri 5083 tidak dapat dilakukan perlakuan panas, sedangkan seri 6061 dapat diproses perlakuan panas, sehingga perbedaan ini akan berpengaruh pada daerah HAZ (*heat affected zone*), TMAZ (*thermomechanically affected zone*) dan WM (*weld metal*) (Gambar 2) [2]. Disamping itu sifat mampu las aluminium paduan seri 5083 lebih baik dibanding seri 6061 karena pada aluminium paduan seri 6061 cenderung terjadi retak panas [3]. Hasil proses pengelasan mengalami siklus termal berupa pemanasan sampai temperatur maksimum dengan diikuti pendinginan yang menyebabkan terjadinya perubahan metallurgi dan deformasi daerah lasan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



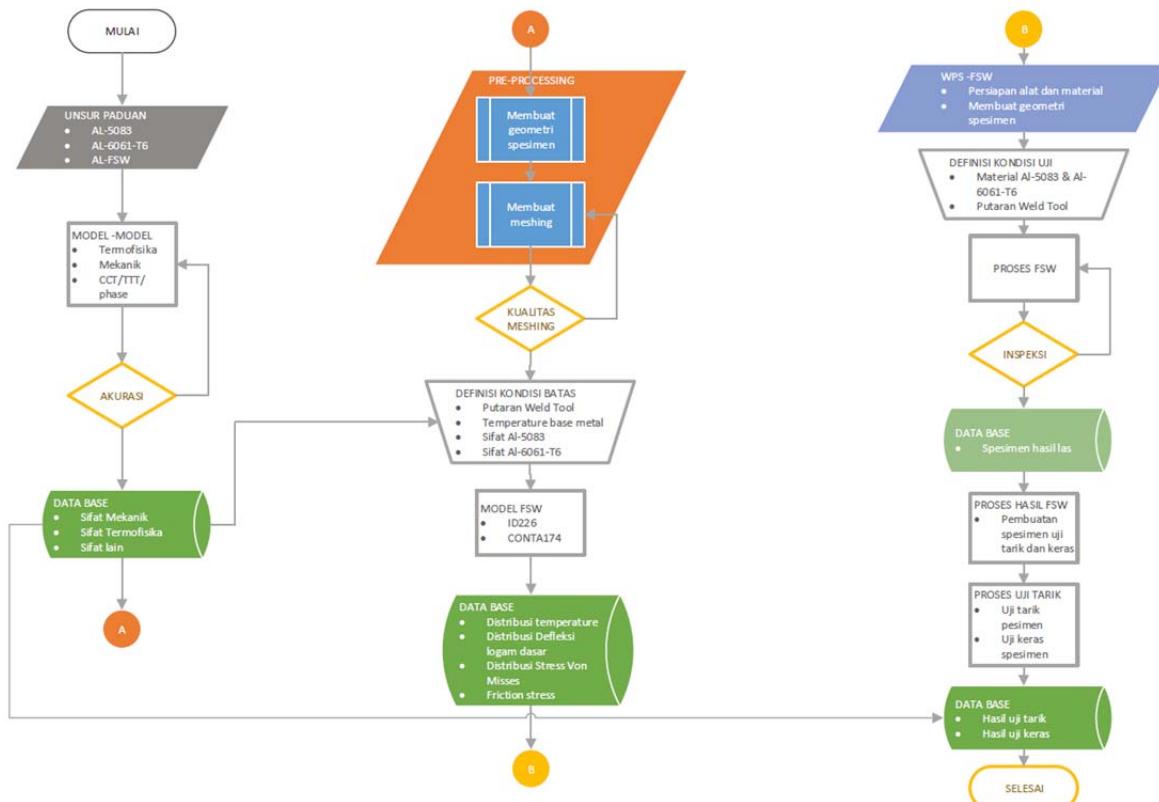
**Gambar 2** Batas antara daerah las, A) Logam induk, B) Heat Affected Zone (HAZ), C) Unrecrystallisation, D) Nugget, antara C) dan D) Thermomechanically Affected Zone (TMAZ) [2]

Daerah terpengaruh panas HAZ didefinisikan sebagai daerah yang mengalami temperatur diatas  $250^{\circ}\text{C}$  pada aluminium mampu perlakuan panas. Daerah *thermo-mechanically affected zone* (TMAZ) adalah daerah transisi antara logam induk dan daerah las yang mengalami deformasi struktur tapi tidak terjadi rekristalisasi [4]. Daerah las (nugget) adalah daerah mengalami deformasi plastis dan pemanasan selama proses FSW sehingga mengalami proses rekristalisasi yang menghasilkan butiran halus didaerah pengadukan. Nugget bentuknya bergantung pada parameter proses, geometri tool, dan arah putaran, temperatur benda kerja dan konduktivitas termal material. Sedangkan logam induk tidak pengaruh terhadap siklus termal, mikrostruktur maupun sifat mekanik.

Bahan yang digunakan pada proses FSW ini adalah aluminium paduan tak sejenis (dissimilar) seri 5083 dan seri 6061-T6. Pada aplikasi teknik sambungan tak sejenis aluminium paduan 5083 dan 6061 dapat dijumpai pada struktur-struktur lasan seperti pada I-beam dan batangan-batangan berongga (hollow channels) [5,6].

## 2. Metodologi

Tahapan proses penelitian terdiri dari kaji simulasi numerik dan kaji eksperimental yang dapat digambarkan menggunakan diagram alir seperti tampak pada Gambar 3. Proses simulasi terdiri dari 2 tahap yaitu simulasi numerik untuk mendapatkan Sifat Fisika dan Mekanik (SFM) Al-5083 dan Al-6061-T6 (Gambar 3-kiri). Proses simulasi dilanjutkan untuk men-simulasi proses FSW pada setiap putaran tertentu weld tool (Gambar 3-tengah). Proses FSW melalui kaji eksperimen dilakukan untuk mendapatkan salah satu data yaitu unsur-unsur paduan pada daerah TMAZ akibat pengaruh putaran pada SFM hasil FSW (Gambar 3-kanan).



**Gambar 3** Diagram proses simulasi SFM sebelum dan sesudah FSW

Aktivitas yang dilakukan pada tahap simulasi numerik adalah melakukan proses simulasi untuk mendapatkan SFM material Al-5083, material Al-6061 T6 serta SFM material hasil pengelasan FSW. Berdasarkan SFM Al-5083 dan Al6061 T6 hasil simulasi, maka proses FSW dapat disimulasi dengan tahapan yaitu pre-processing, proses iterasi dan proses post-processing.

Proses simulasi diawali dengan data komposisi atau unsur paduan yang diproses menggunakan model termofisika, model TTT/CCT, model mekanik dan model kesetimbangan fasa (pada penelitian ini terbatas pada Sifat Termofisika dan Mekanik). Hasil simulasi dibandingkan dengan data SFM aktual untuk mendapatkan nilai kesalahan (error). Jika nilai kesalahan relatif besar, maka dilakukan proses simulasi ulang dengan mengubah kondisi yaitu memperkecil ukuran time step ataupun temperature step menggunakan model-model tersebut di atas sampai diperoleh nilai kesalahan yang relatif kecil yaitu 5% sehingga proses simulasi dinyatakan selesai. Proses simulasi diulang dengan tahapan yang sama untuk masing-masing paduan yaitu paduan alumunium AL-5083 dan Al-6061-T6.

Hasil simulasi yang mempunyai kesalahan relatif kurang-lebih 5%, bisa digunakan sebagai data yang baik dan benar yang bisa digunakan sebagai data untuk proses simulasi FSW.

Tahapan awal proses simulasi numerik yaitu melengkapi data unsur masing-masing paduan yaitu AL-5083 dan Al-6061-T6 sebelum FSW serta unsur paduan hasil FSW (logam las FSW) pada daerah TMAZ seperti tampak pada Tabel 1, kemudian berdasarkan unsur-unsur paduan tersebut dilakukan

proses simulasi numerik untuk mendapatkan SFM AL-5083 dan Al-6061-T6 (sebelum FSW) dan SFM logam las FSW (hasil setelah FSW)

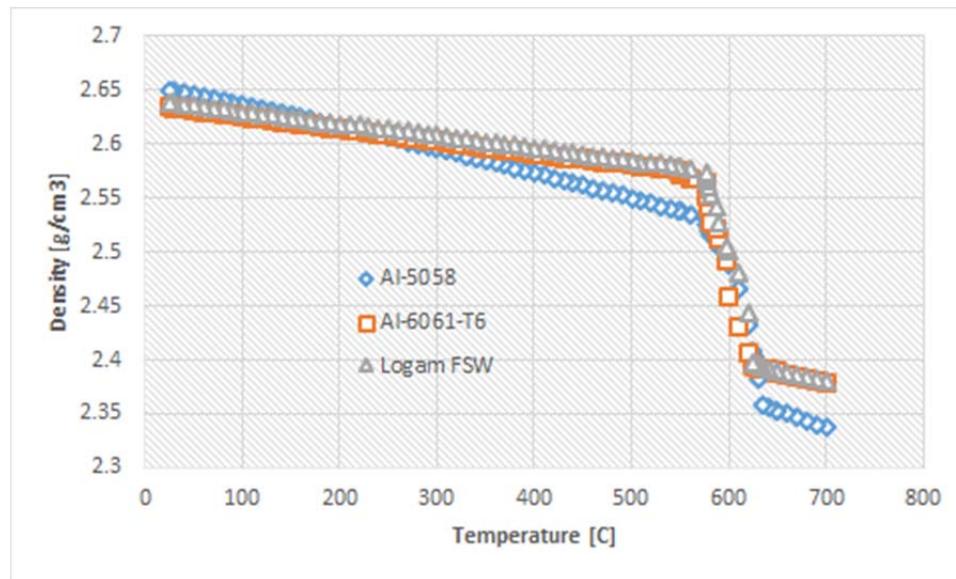
**Tabel 1** Hasil uji komposisi kimia logam induk dan logam las

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Al
Al-6061-T6	0,769	0,366	0,073	0,088	1,110	0,013	0,024	0,277	97,110
Al-5083	0,390	0,333	0,094	0,465	4,800	0,061	0,020	0,121	93,016
Logam las FSW	0,798	0,393	0,074	0,3675	1,240	0,024	0,020	0,162	96,750

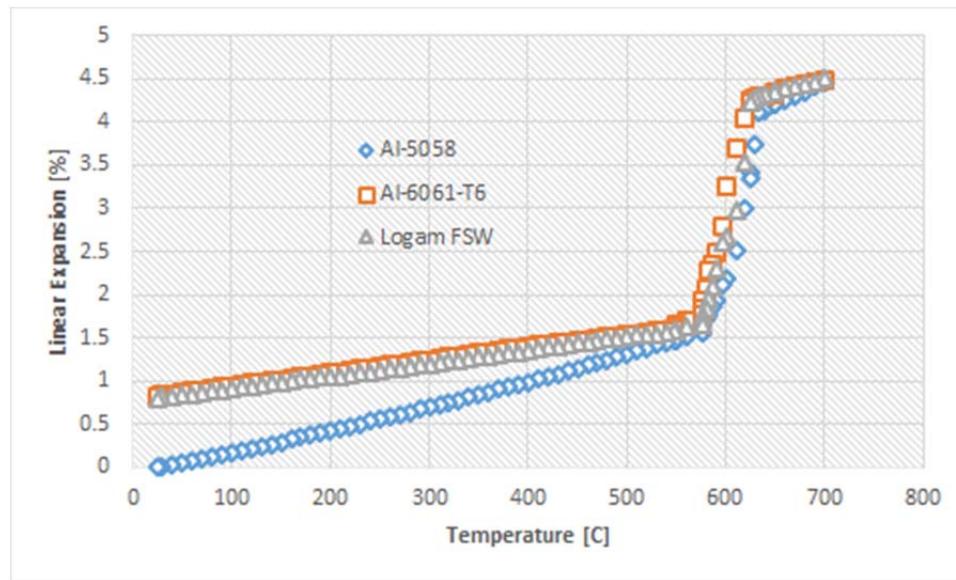
### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi numerik untuk mendapatkan SFM logam paduan sebelum proses FSW yaitu paduan Al-5058 dan Al-6061-T6 serta logam paduan setelah proses FSW yaitu Logam FSW terdiri dari rapat massa/densitas (Gambar 4), konstanta muai linier/Linear expansion (Gambar 5), konduktivitas panas/thermal conductivity (Gambar 6), modulus Young (Gambar 7), modulus geser (Gambar 8), bilangan rasio Poisson (Gambar 9).

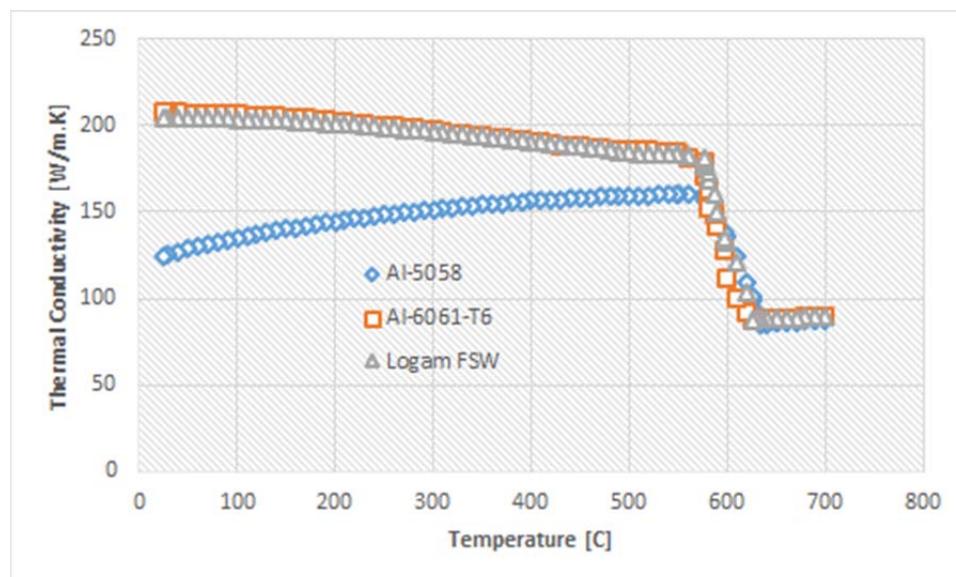
Berdasarkan Gambar 4 sampai Gambar 9, tampak terlihat kecendrungan nilai SFM menurun terhadap peningkatan temperatur terjadi pada SFM rapat massa/densitas (Gambar 4), konduktivitas panas/thermal conductivity (Gambar 6), modulus Young (Gambar 7), modulus geser (Gambar 8) dan sebaliknya nilai SFM meningkat pada konstanta muai linier (Gambar 5), bilangan rasio Poisson (Gambar 9). Peningkatan dan penurunan nilai SFM dengan ekstrim terjadi pada interval temperatur 575 °C sampai 650 °C., hal ini terjadi disebabkan oleh perubahan padat menjadi cair secara bertahap mulai terjadi pada temperatur 575 °C.



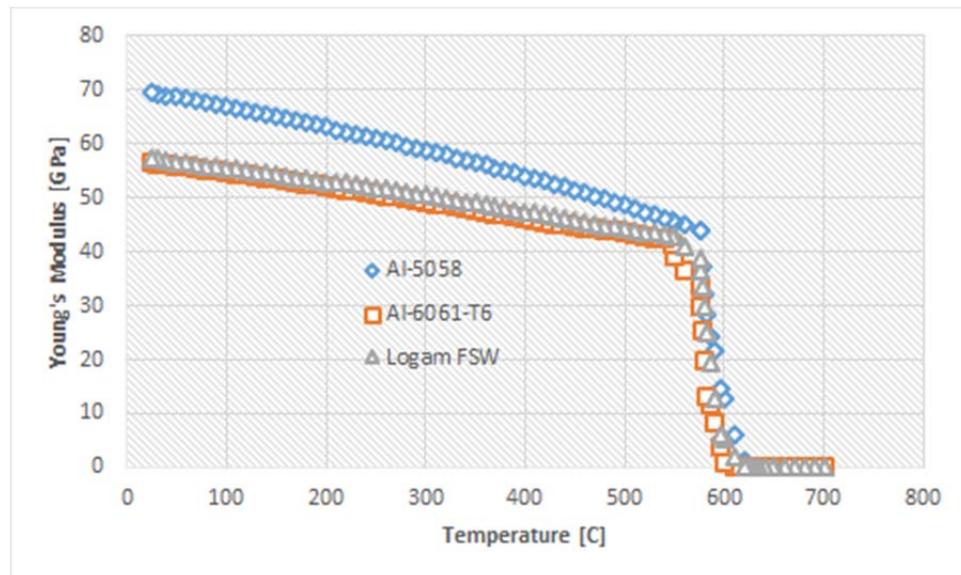
**Gambar 4** Kurva rapat massa terhadap temperatur pada sebelum dan sesudah FSW



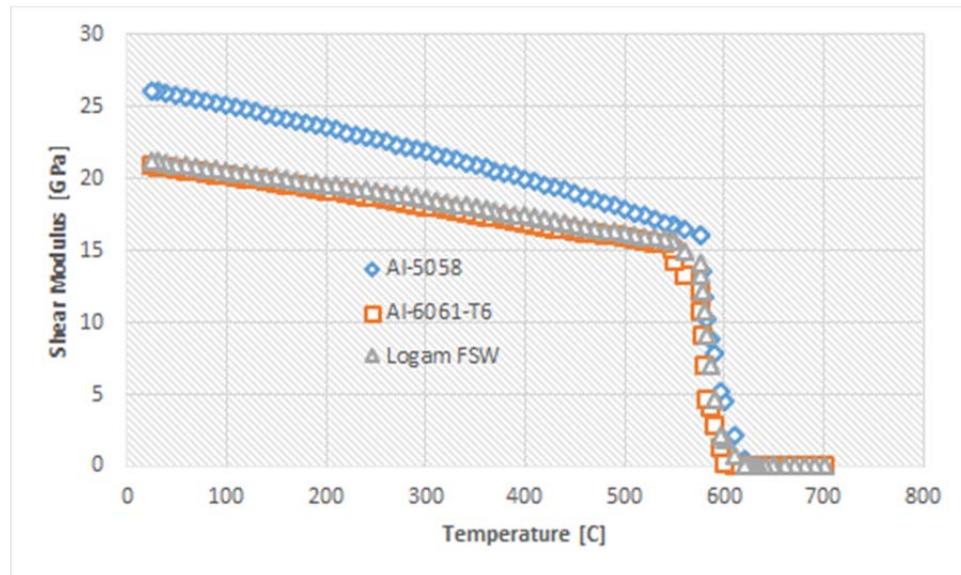
Gambar 5 Kurva konstanta muai linear terhadap temperature pada sebelum dan sesudah FSW



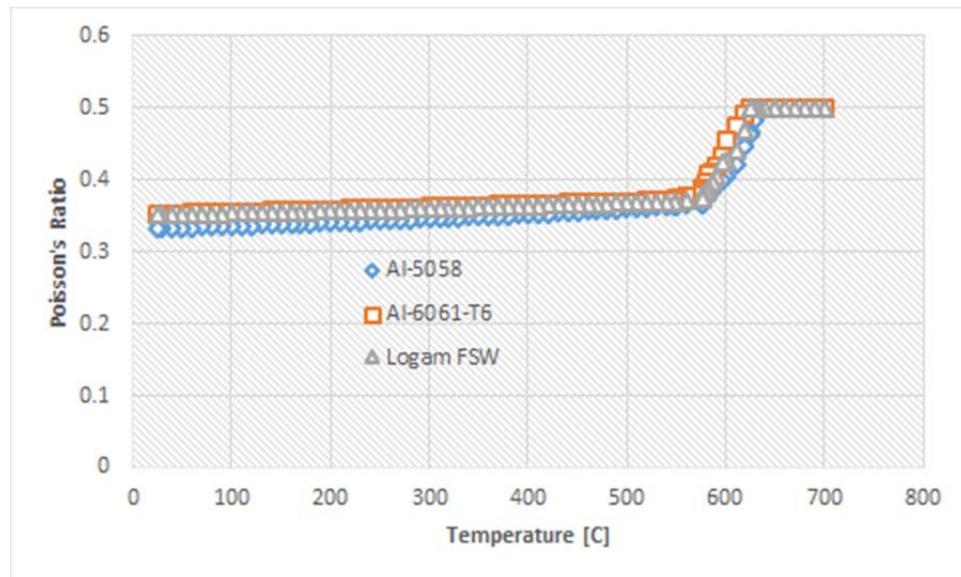
Gambar 6 Kurva konduktivitas panas terhadap temperature pada sebelum dan sesudah FSW



Gambar 7 Kurva modulus young terhadap temperature pada sebelum dan sesudah FSW



Gambar 8 Kurva modulus geser terhadap temperature pada sebelum dan sesudah FSW



Gambar 9 Kurva rasio poisson terhadap temperature pada sebelum dan sesudah FSW

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan komposisi unsur paduan pada Tabel 1 tampak terjabarkan bahwa logam FSW lebih indentik atau cenderung sama dengan komposisi unsur paduan Al-6061-T6. Hal ini berdampak pada nilai SFM logam FSW akan lebih identik dengan paduan Al-6061-T6 yang terjabarkan pada kurva Gambar 4 sampai Gambar 9.

#### Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Para Pimpinan Manajemen POLBAN karena Penelitian ini dibiayai oleh DIPA Politeknik Negeri Bandung sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Program Penelitian Terapan Nomor : 464.17/PL1.R7/LT/2018

#### Daftar Pustaka

- [1] Freeman., R., 2003, *Friction Stir Welding (FSW)*, TWI Bulletin, September - October 2003, The Welding Institute (TWI) Inggris.
- [2] Griffing, L., 1972, *Welding Handbook*, 6 ed., Published by AMERICAN WELDING SOCIETY, 2501 N.W. 7th Street Miami, Florida 33125.
- [3] Mandal., 2005, *Aluminium welding*, 2 ed., Kharagpur, India
- [4] N.F.M. Selamat, dkk, 2016, *Friction stir welding of similar and dissimilar aluminium alloy for automotive applications*, International journal of automotive and mechanical engineering ISSN 2180-1606 (online); volume 13, issue 2 pp. 3401 – 3412, September 2016 Universitas Malayasia Pahang
- [5] Davis, J.R., 1998, “Aluminium and Aluminium Alloys”, 4 ed., ASM International, United States of America.
- [6] Huskins, EL, Cao, B & Ramesh, K.T., 2010, “Strengthening mechanisms in an Al-Mg alloy”. Materials Science and Engineering Journal, vol. 527, no. 6, pp. 1292-1298.