

# PERUBAHAN NILAI KEKUATAN TARIK PADA HASIL PENGELASAN *FRICTION STIR WELDING* ALUMINIUM 2024 - T3 YANG MENGGUNAKAN PERLAKUAN *TRANSIENT THERMAL*

Pujono<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap  
Jln. Dr Sutomo No 1, Sidakaya, Cilacap  
Email : [djovent@yahoo.com](mailto:djovent@yahoo.com)

## ABSTRAK

Paduan aluminium seri 2xxx merupakan paduan Al-Cu dengan sifat mekanis yang cukup tinggi, yaitu tegangan tarik maksimum 470 MPa dan tegangan luluh 280 MPa. Paduan aluminium ini merupakan paduan aluminium yang memiliki mampu las rendah sehingga salah satu metode untuk meningkatkan kekuatan las adalah dengan menerapkan proses pengelasan *friction stir welding* (FSW). Salah satu perlakuan yang tepat dalam pengelasan FSW pada aluminium adalah memberikan pemanasan lokal di daerah sekitar las, dengan posisi pemanas berada didepan tool las atau perlakuan *transient thermal*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan nilai kekuatan tarik pada paduan aluminium dengan pengelasan FSW tanpa pemanas dan pengelasan FSW dengan tambahan pemanas (*transient thermal*). Metode Penelitian dilakukan dengan pengelasan paduan aluminium plat 2024-T3 menggunakan teknik FSW tanpa pemanas dan teknik FSW dengan perlakuan *transient thermal*. Perlakuan panas (*transient thermal*) dilakukan dengan meletakkan pemanas di depan tool las. Kecepatan pengelasan FSW ditentukan adalah 12 mm / menit dan 1200 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi *ultimate tensile strength* ( $\sigma_{max}$ ) diperoleh dari spesimen dengan las FSW tanpa perlakuan panas yaitu adalah 297,28 MPa. Perlakuan *transient thermal* dengan posisi heater di depan alur las menyebabkan penurunan nilai kekuatan tarik. Penurunan nilai tegangan tarik maksimum terjadi sekitar 32,2%, sedangkan nilai tegangan luluh terjadi penurunan dari spesimen tanpa pemanasan dengan spesimen yang menggunakan pemanasan (*transient thermal*) yaitu sebesar 32,5%. Hasil pengujian tarik juga menunjukkan bahwa terjadi patah getas dan lokasi patah berada pada daerah las.

**Kata Kunci** : Aluminium, FSW, *Transient Thermal*, Uji tarik

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Aluminium pada umumnya merupakan salah satu logam yang sangat penting dibidang teknik, diantaranya untuk bahan struktur atau mesin, sebagai contoh pada struktur otomotif, kapal, pesawat terbang dan industri lain. Paduan aluminium seri 2xxx merupakan paduan Al-Cu dengan sifat mekanis yang cukup tinggi, yaitu tegangan tarik maksimum 470 MPa dan tegangan luluh 280 MPa. Paduan aluminium seri 2024-T3 juga

merupakan logam paduan yang memiliki *weldability* yang rendah sehingga sulit dilakukan proses pengelasan karena kecenderungan mengalami retak panas (*hot cracking*) atau keropos dan terjadi pengerasan endapan (*precipitation hardening*) saat pengelasan akibat adanya segregasi unsur paduan tembaga (Cu). Salah satu upaya untuk memperbaiki sifat sambungan las paduan aluminium adalah dengan menggunakan teknik las *friction stir welding* (FSW). Pengelasan metode ini memiliki daerah HAZ yang lebih kecil

dibandingkan dengan metode pengelasan lain seperti las busur nyala. Hal ini dikarenakan input panas yang dihasilkan tidak terlalu tinggi. Dengan nilai HAZ yang relatif lebih kecil maka akan didapatkan daerah lasan yang kuat tetapi tidak getas

Saat ini berbagai material dapat digabungkan seperti aluminium dan campuran logamnya, tembaga dan campuran logamnya, titanium dan campuran logamnya, paduan magnesium, seng, plastik dan baja lunak. Pengelasan FSW ini termasuk dalam *non consumable welding* dengan tidak ada material pengisi dan tidak memerlukan pemasangan gas.

Perlakuan *transient thermal* pada pengelasan dilakukan untuk mengurangi distorsi, tekukan, dan tegangan sisa (Michaleris dan Sun, 2004). Panas yang ditimbulkan dari instrumen pemanas yang berada di belakang *tool / probe (shoulder)*, secara signifikan dapat mengurangi gradien suhu dibandingkan FSW yang tanpa perlakuan *transient thermal* (Mandal, 2005)

### **Batasan Masalah**

Penelitian yang dilakukan diberikan batasan masalah yaitu : Pengelasan dengan metode FSW untuk material Aluminium 2024 - T3 tanpa perlakuan *transient thermal* dan dengan perlakuan *transient thermal*. Rasio tegangan (R) yang digunakan untuk pengujian perambatan retak fatik adalah 0,1.

### **Tujuan Penelitian**

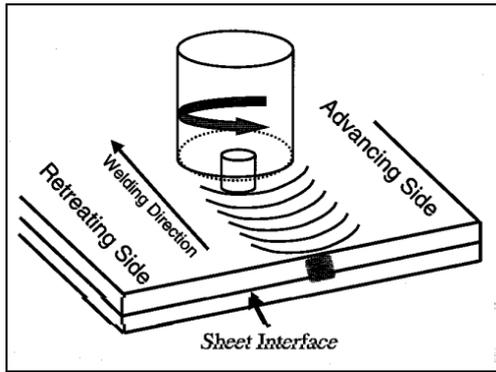
Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh parameter

pada material yang tanpa perlakuan *preheat* dan dengan penambahan *preheat* pada las FSW, dengan posisi *heater* di depan *tool*.

## **LANDASAN TEORI**

### **Proses *Friction Stir Welding***

Teknik las *friction stir welding* (FSW) pertama kali ditemukan pada tahun 1991 oleh TWI (Thomas, 1991). Proses pengelasan dengan *friction stir welding* (FSW) termasuk metode proses penyambungan yang baru, teknik penyambungan ini energinya efisien, ramah lingkungan dan bisa untuk berbagai kegunaan (Mishra dan Ma, 2005). Proses *friction stir welding* aluminium dilakukan untuk memperbaiki kualitas penyambungan (Deepa dan Sherif, 2007). Pengelasan dengan metode *friction stir welding* (FSW) pada paduan aluminium telah digunakan di beberapa industri untuk meningkatkan kualitas sambungan aluminium paduan (Deepa dan Sherif, 2007). Pengelasan *friction stir welding* (FSW) merupakan teknik pengelasan yang dapat menyambung material dalam kondisi lumer (tidak mencapai titik cair). Prinsip dari proses FSW adalah material yang akan disambung dijepit cukup kuat supaya saat proses pengelasan tidak lepas/loncat. Sebuah *pin* dari baja dalam posisi berputar diarahkan pada lubang yang ada pada material dan bergerak maju pada garis las seperti pada gambar 1.

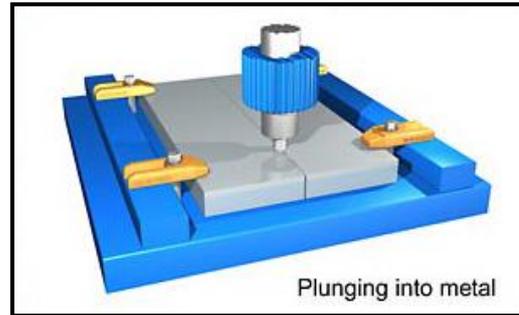


Gambar 1. Proses *Friction Stir Welding* (Reynolds, 1997)

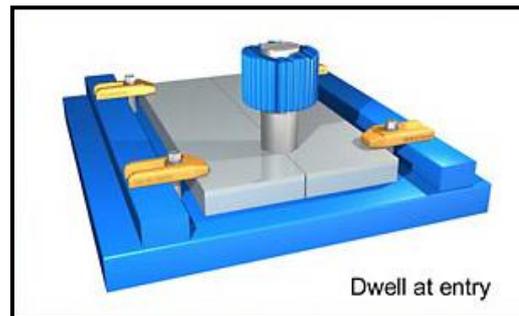
Secara garis besar *friction stir welding* dilakukan dalam 3 langkah operasi sebagai berikut (Lomolino and Santos, 2004) :

1. Langkah *Plugging*

Untuk melakukan ikatan pada *native material*, *tool* dari FSW terdiri dari *pin* dan *shoulder* yang digunakan untuk menghasilkan panas gesekan dan mengaduk (*stirring*) material saat pengelasan. *Tool* FSW tersebut terpasang pada *spindle* seperti pada mesin *milling*, yang berputar pada kecepatan tertentu dan diturunkan ke garis pengelasan dari 2 material yang dijepit dengan kuat pada meja mesin untuk menghindari terpisahnya material yang akan dilas. Panas gesekan dihasilkan oleh gesekan *pin* dan material yang menyebabkan material akan melunak sehingga *tool* dapat terus diturunkan. *Tool* akan terus diturunkan sampai *shoulder* bersentuhan dengan permukaan material. Panas tambahan material dapat dihasilkan dengan mengatur waktu *dwell* dan dalamnya penurunan *tool*. Waktu *dwell* dapat diatur berdasarkan tebal dan jenis material dengan maksud untuk mendapatkan material dalam kondisi plastis sebelum melakukan langkah *traversing*.



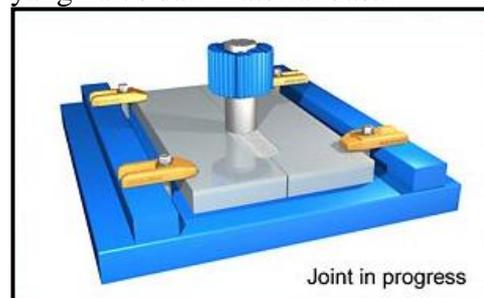
Gambar 2. Langkah *plugging*



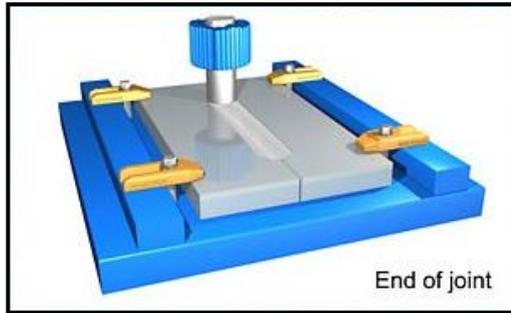
Gambar 3. Langkah *dwell*

2. Langkah *Traversing*

Pada langkah ini *tool* dari FSW akan bergerak pada *buttock line* atau mengikuti garis pengelasan. Panas gesekan yang dihasilkan oleh gesekan *tool* dengan material pada langkah *plugging* menyebabkan material tetap dalam kondisi plastis. *Pin* akan mengaduk (*stirring*) atau menekan material yang dalam kondisi plastis dari sisi *advancing*. Hal ini dapat dianggap menerapkan gaya tempa (*forging*) yang memaksa untuk menggabungkan logam las ke sisi *retreating*. Proses ini menghasilkan campuran struktur yang halus dari material dasar.



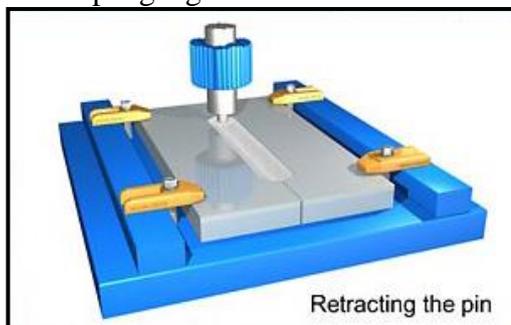
Gambar 4. Langkah *traversing*



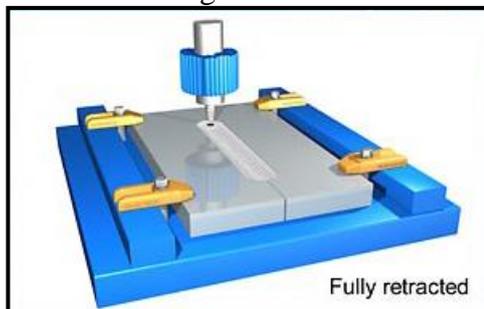
Gambar 5. Akhir langkah *traversing*

### 3. Langkah *Termination*

Ada beberapa metode untuk mengakhiri pengelasan FSW. Pada umumnya, gerakan maju dihentikan kemudian *tool* ditarik dari material. Langkah ini adalah langkah akhir dari proses *friction stir welding*. Waktu *dwelt* dapat diatur sebelum *tool* diangkat dengan maksud untuk meratakan aliran material yang di-*stir* oleh *pin*. Hasil dari langkah ini meninggalkan lubang pada material akibat pengangkatan *tool* tersebut.



Gambar 6. Langkah *termination*

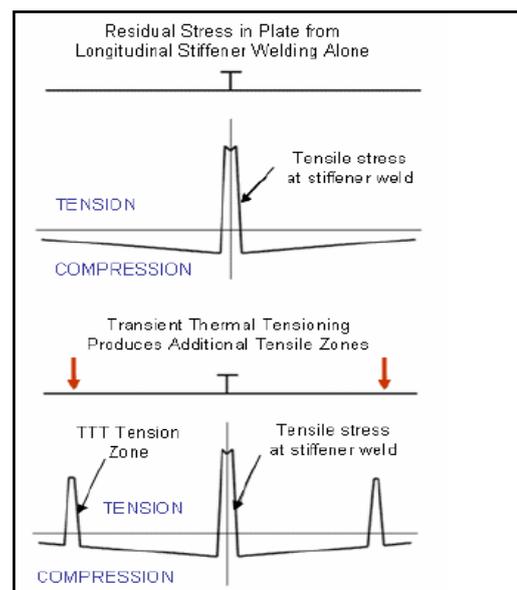


Gambar 7. Akhir langkah *termination*

### **Transient Thermal (TT)**

Proses *Transient Thermal* menerapkan prinsip penguatan pada

tegangan termal, dan tidak membutuhkan pendinginan (*quenching*), hal ini dapat dirancang secara mekanis untuk proses pengelasan pada material. Proses *Transient Thermal* pada dasarnya telah dikembangkan di *Edison Welding Institute (EWI)* sejak pertengahan tahun 1990. Proses *transient thermal* merupakan proses pemberian panas yang terlokalisir pada daerah sekitar *nugget* (daerah las) dengan menggunakan sumber panas yang bergerak sehingga menghasilkan tegangan tarik saat pendinginan yang melawan tegangan sisa yang dihasilkan oleh proses pengelasan. Model tegangan sisa pada material hasil las ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Model tegangan sisa, (A) tanpa TT, (B) dengan TT (Huang dkk, 2006)

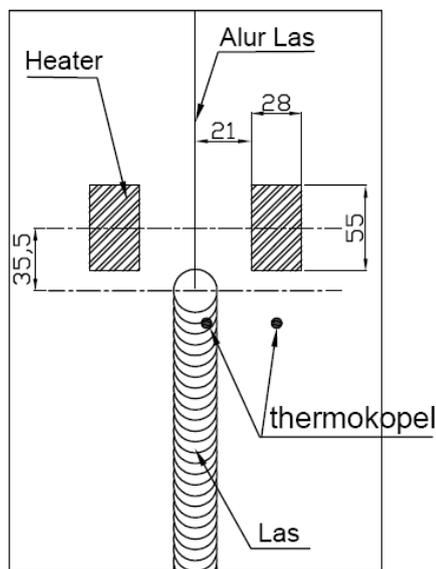
## **METODE PENELITIAN**

### **Material penelitian**

Material yang digunakan pada penelitian adalah lembaran aluminium paduan seri 2024 - T3

## Prosedur Pengelasan

Ada 2 Proses pengelasan FSW yang dilakukan menggunakan mesin *milling* yaitu (1) Las FSW tanpa menggunakan *heater* dan (2) Las FSW dengan perlakuan *transient thermal* dengan posisi penempatan *heater* di depan alur las seperti pada gambar 9 Dimensi ukuran *probe/pin* seperti gambar 10 Kecepatan maju las 12 mm/menit dan putaran *tool* 1200 rpm.

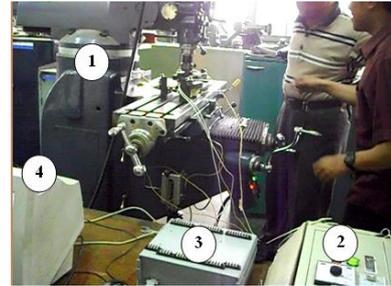


Gambar 9. Posisi *heater* di depan alur las pada pengelasan FSW (satuan dalam mm)



Gambar 10. Dimensi *Probe/Tool* (satuan dalam mm)

Untuk pengelasan FSW dengan TT, digunakan rangkaian alat yang terdiri dari : mesin *milling*, *panelbox heater*, *data logger box*, dan komputer seperti ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Rangkaian alat untuk las FSW, terdiri dari : (1) mesin *milling*, (2) panel *box heater*, (3) *data logger box*, (4) komputer

## Uji Tarik

Uji tarik menggunakan spesimen sesuai standar JIS Z2201.

## Uji Fatik

Pengujian Fatik dilakukan sesuai dengan standar ASTM E 647-00, beban yang digunakan sebesar 600kg, frekwensi 11 Hz, *Stress Ratio* (R) 0,1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Komposisi Kimia

Komposisi kimia pada material penelitian didapatkan melalui uji spektrometri. Hasil uji komposisi kimia seperti ditunjukkan pada Tabel 1 (dalam % wt) :

Tabel 1 Komposisi kimia material (dalam % wt)

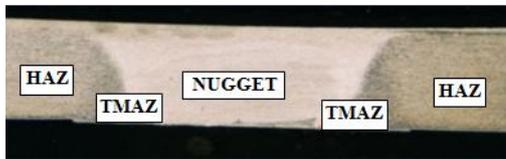
Materi al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
2024-T3	0,097	0,344	3,86	0,86	1,14	0,037	0,015	0,176

Data pada tabel 1 menunjukkan hasil pengujian spektrometri, didapatkan kandungan Zn sebesar 0,176% wt, Fe sebesar 0,344% wt, Cu sebesar 3,86% wt, Mn sebesar 0,862%, dan Mg sebesar 1,14%. Hasil pengujian tersebut mendekati

data paduan aluminium yang ada yaitu Paduan aluminium seri 2024 mempunyai kandungan Cu sebesar 3,8~4,9%, Mn 0,3~0,9%, Si maksimal 0,5%, Cr maksimal 0,1% dan Fe maksimal 0,5% (Alcoa, USA), sehingga dari hasil uji spektrometri di atas dapat disimpulkan bahwa material tersebut adalah paduan aluminium seri 2024.

### Struktur Makro dan Mikro Las

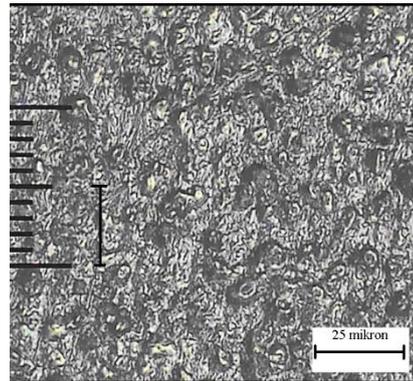
Hasil foto struktur makro pada alas FSW dengan putaran *tool* searah jarum jam ditunjukkan pada Gambar 12. Gesekan yang terjadi menyebabkan panas sehingga logam mengalami pelunakan dan terjadi efek ekstrusi yaitu aliran logam plastis dari depan *tool* ke belakang *tool* sehingga pada sisi *retreating* terjadi deposit material, sedangkan pada bagian permukaan ditahan oleh *shoulder*.



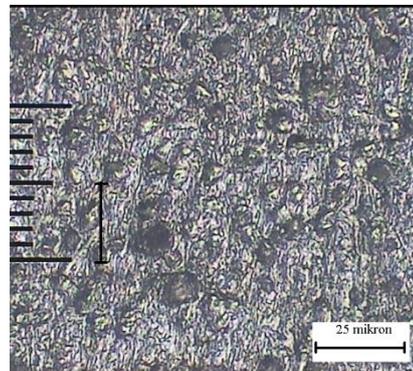
Gambar 12. Struktur Makro Las FSW

Pada material yang sama juga dilakukan penelitian struktur mikro dengan melakukan uji foto mikro. Uji dengan foto mikro ini dilakukan di daerah las (*nugget*) dan daerah sekitar las / terpengaruh panas las.

Hasil uji struktur mikro dengan foto struktur mikro pada pengelasan *friction stir welding* (FSW) pada daerah las (*nugget*) ditunjukkan pada gambar 13 dan gambar 14



Gambar 13. Struktur mikro pada daerah las (*nugget*) pada logam induk tanpa *heater*



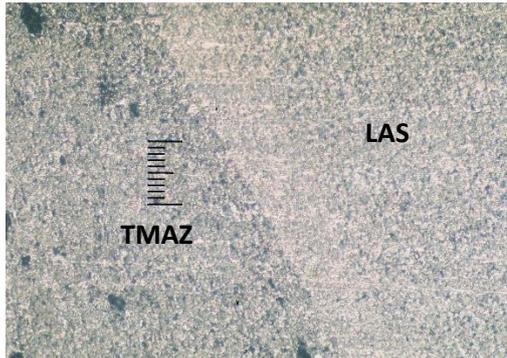
Gambar 14. Struktur mikro pada daerah TMAZ pada logam induk tanpa *heater*



Gambar 15. Struktur mikro pada daerah las (*nugget*) pada spesimen dengan *heater* di depan 1 strip = 2µm

Hasil foto mikro pada gambar 15 dapat dijelaskan sebagai berikut : Daerah *Weld / Nugget* adalah Daerah las (*weld*) adalah daerah mengalami

deformasi plastis dan pemanasan selama proses FSW sehingga menghasilkan rekristalisasi yang menghasilkan butiran halus didaerah pengadukan. *Weld* bentuknya bergantung pada parameter proses, geometri *tool*, temperatur, benda kerja dan konduktivitas termal material.



**Gambar 16.** Struktur mikro pada batas Las TMAZ pada spesimen dengan *heater* didepan, 1 strip = 2 $\mu$ m

Hasil foto mikro pada gambar 16 dijelaskan sebagai berikut : *Thermo Mechanically Affected Zone* (TMAZ) daerah transisi antara logam induk dan daerah las yang mengalami deformasi struktur tetapi tidak terjadi rekristalisasi.

### Uji Tarik

Hasil pengujian tarik tanpa menggunakan *heater* menghasilkan perpatahan tarik didaerah las seperti pada gambar 17, dan gambar 18. Sedangkan nilai tegangan Tarik untuk masing - masing spesimen ditunjukkan pada gambar 19. Hasil pengujian tarik yang menggunakan *heater* menghasilkan perpatahan tarik di daerah las seperti pada gambar 20, Nilai tegangan tarik maksimum dan tegangan luluh untuk hasil las FSW dengan heater ditunjukkan pada gambar 21.

Bentuk penampang patahan tegak lurus dengan arah gaya tariknya, menunjukkan bahwa patahan las termasuk patah getas. Kekuatan tarik rata - rata ( $\sigma_{rata-rata}$ ) untuk spesimen dengan las FSW tanpa *heater* yaitu 296,16 MPa, regangan rata - rata yang terjadi adalah 52,63%. Kekuatan tarik maksimal ( $\sigma_{max}$ ) untuk spesimen dengan las FSW tertinggi pada spesimen *heater* depan yaitu 200,5 MPa, tetapi masih lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tarik pada spesimen tanpa perlakuan panas yaitu 297,28 MPa atau terjadi penurunan sebesar 32%.

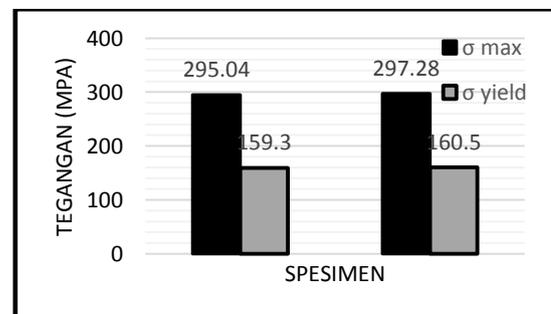
Nilai tegangan luluh yang terjadi pada spesimen *heater* depan yaitu 107,8 MPa.



**Gambar 17.** Spesimen Hasil Uji Tarik tanpa *Heater* (1)



**Gambar 18.** Spesimen Hasil Uji Tarik tanpa *Heater* (2)

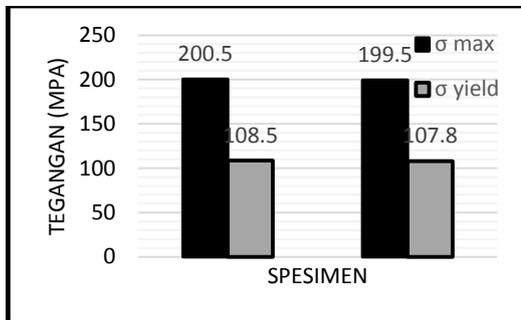


**Gambar 19.** Tegangan maksimum dan tegangan *yield* tiap spesimen



**Gambar 20.** Spesimen Hasil Uji Tarik dengan Posisi *Heater* di Depan Alur Las

Tegangan maksimum dan tegangan luluh pada masing - masing spesimen dapat dilihat pada gambar 21.



**Gambar 21.** Tegangan maksimum dan tegangan *yield* tiap spesimen

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik tidak sensitif terhadap tegangan sisa pada spesimen. Hal ini kemungkinan karena prosentasi beban uji tarik terhadap tegangan sisa cukup besar.

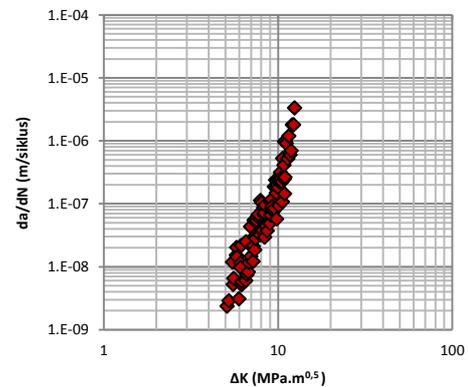
### Uji fatik

Uji fatik yang dilakukan hanya untuk material dengan perlakuan las FSW dan pemanasan dengan heater posisi didepan alur las. Hasil uji fatik berupa jumlah siklus ditunjukkan pada tabel 2.

**Tabel 2. Hasil Uji Fatik**

No	Spesimen	Jumlah siklus
1	<i>Heater</i> depan	1.293.578

Laju perambatan retak fatik mempunyai kurva dengan bentuk sigmoidal. Laju perambatan fatik ini merupakan fungsi dari  $\Delta K$  yang dinyatakan dengan  $da/dN$ . Bentuk kurva sigmoidal dapat ditunjukkan pada gambar 22. Kurva dengan bentuk sigmoidal adalah merupakan kurva yang terbagi dalam tiga daerah, yaitu daerah I, daerah II dan daerah III. Masing - masing daerah mempunyai penjelasan sebagai berikut, daerah I merupakan daerah yang menunjukkan suatu harga ambang  $\Delta K$ , dibawah harga ini tidak ada perambatan retak yang dapat diobservasi. Pada daerah II menunjukkan hubungan linier antara  $\log da/dN$  dan  $\log \Delta K$ , sedangkan pada daerah III menunjukkan bahwa perambatan retak sangat tinggi sehingga sulit untuk dikendalikan.



**Gambar 22** Hubungan antara  $da/dN$  dan  $\Delta K$  dalam skala log

## PENUTUP

### Kesimpulan

1. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa terjadi patah getas dan lokasi patah berada pada daerah las, Kekuatan tarik maksimal ( $\sigma_{max}$ ) untuk spesimen dengan las FSW tanpa perlakuan panas memiliki

nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil uji tarik pada spesimen *heater* posisi di depan alur las.

2. Perlakuan *transient thermal* dengan posisi *heater* di depan alur las menyebabkan penurunan nilai kekuatan Tarik. Penurunan nilai tegangan tarik maksimum terjadi sekitar 32,2%, sedangkan nilai tegangan luluh terjadi penurunan dari spesimen tanpa pemanasan dengan spesimen yang menggunakan pemanasan yaitu sebesar 32,5%.

### Saran

1. Untuk peneliti selanjutnya perlu melakukan uji tegangan sisa untuk mengetahui dampak dari perlakuan *transient thermal* pada alas FSW.
2. Perlu dilakukan penelitian perlakuan *transient thermal* dengan posisi *tool* yang berbeda (di belakang atau sejajar *tool*).

### DAFTAR PUSTAKA

- Deepa, R.A., Sherif E., [2007], *Characterization of Mechanical Properties and Study of Microstructure of Friction Stir Welded Joints Fabricated From Similar and Dissimilar alloys of Aluminium*, Thesis, University of Missouri Columbia.
- Huang, T.D., Conrardy, C., Dong, P., Kvidahl, L., Decan, L., [2006], *Distortion Mitigation Technique for Lightweight Ship Structure Fabrication*, Northrop Grumman Ship Systems, Society of Naval Architects and Marine Engineers, US.
- Lomolino, S., Tovo, R., Santos, J.D., 2004, *Fatigue Behaviour of Friction Stir Welded Butt Joint in A6056 Alloy for Airframe Application*, GKSS Forschungszentrum, Geesthacht, Germany.
- Mandal, N.R., [2002], *Aluminium Welding*, Department of Ocean Engineering and Naval Architecture, Indian Institute of Technology Kharagpur, Kharagpur, India.
- Michaleris, P., Sun, X., [2004], *Finite Element Analysis of Thermal Tensioning Techniques Mitigating Weld Buckling Distortion*, The Pennsylvania State University, University Park, PA, Battelle, Columbus, OH.
- Mishra, R.S., Ma, Z.Y., [2005], *Friction stir welding and processing*, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China ME 3701, Materials of Engineering Laboratory, LSU
- Renolds A.P [1997], *Factors Affecting The Properties of Friction Stir Welded Aluminium Lap Joints*, Mechanical Eng Department, University Of South Carolina, Columbia.
- Thomas, M.W., Nicholas J., [1997], *Friction Stir Welding for Transportation Industries*, TWI, Abington Hall, Abington, Cambridge CB1 6AL, UK