

DAMPAK PERLAKUAN *TRANSIENT THERMAL* TERHADAP KETAHANAN LAJU PERAMBATAN RETAK FATIK PADA PENGELASAN *FRICTION STIR WELDING* ALUMINIUM 2024-T3

Pujono

Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap
Jln. Dr Sutomo No 1, Sidakaya, Cilacap
Email : djovent@yahoo.com

ABSTRAK

Paduan aluminium 2024-T3 merupakan paduan aluminium yang memiliki kemampuan las rendah sehingga salah satu metode untuk meningkatkan kekuatan las adalah untuk menerapkan proses pengelasan *friction stir welding* (FSW) dikombinasikan dengan perlakuan *transient thermal* (TT). Proses perlakuan TT dilakukan dengan memberikan pemanasan lokal di daerah sekitar las yang bergerak bersama-sama dengan alat sebagai sumber panas bergerak, dengan pemanasan berada dibelakang *tool* las. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sifat resistensi propagasi retak kelelahan. Metode Penelitian dilakukan dengan pengelasan paduan aluminium plat 2024-T3 menggunakan teknik FSW dengan perlakuan TT dengan penempatan pemanas yang terletak di belakang *tool* las. Kecepatan pengelasan adalah 12 mm / menit dan 1100 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi *ultimate tensile strength* (σ_{max}) dari spesimen untuk FSW dengan menggunakan pemanas adalah 200,7 MPa. Perlakuan TT meningkatkan resistensi kelelahan laju pertumbuhan retak (da/dN) yang ditandai dengan menurunnya ketahanan leleh laju pertumbuhan retak (da/dN) pada stres faktor intensitas ΔK kurang dari 7 MPa.m^{0.5}. Meningkatnya resistensi terhadap laju pertumbuhan kelelahan retak terjadi di spesimen dengan pemanas di belakang dari alat dengan nilai $da/dN = 3,7078E-08 (\Delta K)^{3,7139}$.

Kata Kunci : Aluminum, FSW, *Transient Thermal*, Kelelahan

ABSTRACT

Aluminum alloy 2024-T3 is an aluminum alloy that has low weldability so that one of the methods for improving weldability is to apply friction stir welding (FSW) combined with transient thermal (TT) process. The TT process is conducted by giving a local heating on the area around the weld which moves together with tool as a moving heat source. The purpose of this research is to improve the properties of fatigue crack propagation resistance. The experimental method was carried out by welding aluminum alloy 2024-T3 plates using FSW with TT where the heaters were located in the tool. The travelling speed were 12 mm/min and 1100 rpm respectively. The results show that the highest ultimate tensile strength (σ_{max}) of specimen for FSW welding occurs at the specimen with heaters behind the tool that is 200.7 Mpa. TT treatment improves to fatigue resistance crack growth rate (da/dN) characterized by decreasing of fatigue resistance crack growth rate (da/dN) on the stress intensity factor ΔK is less than 7 MPa.m^{0.5}. The increasing of resistance to fatigue crack growth rate occurs at the specimen with heaters in behind of the tool with the value $da/dN = 3,7078E-08 (\Delta K)^{3,7139}$.

Key Words : Aluminum, FSW, *Transient Thermal*, fatigue

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Paduan aluminium seri 2024-T3 merupakan logam paduan yang memiliki tingkat mampu las (*weldability*) yang rendah sehingga sulit dilas karena kecenderungan mengalami retak panas (*hot cracking*) dan terjadi pengerasan endapan (*precipitation hardening*) saat pengelasan akibat adanya segregasi unsur paduan tembaga. Salah satu upaya untuk memperbaiki sifat sambungan las paduan aluminium adalah dengan menggunakan teknik las *friction stir welding* (FSW).

Teknik las *friction stir welding* (FSW) pertama kali ditemukan pada tahun 1991 oleh TWI [1]. 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 [2]. Proses *friction stir welding* aluminium dilakukan untuk memperbaiki kualitas penyambungan [3].

Aplikasi *transient thermal* pada pengelasan dilakukan untuk mengurangi tekukan, distorsi dan tegangan sisa [4]. Panas yang ditimbulkan dari instrument pemanas yang berada dibelakang *tool* (*shoulder*), secara signifikan bisa mengurangi gradien suhu dibandingkan FSW yang konvensional [1].

B. Batasan Masalah

Penelitian ini hanya dibatasi pada pengelasan FSW untuk material Aluminium 2024-T3, dengan perlakuan *transient thermal*. Rasio tegangan/*stress ratio* (R) untuk pengujian perambatan retak fatik adalah 0,1

C. Tujuan Penelitian

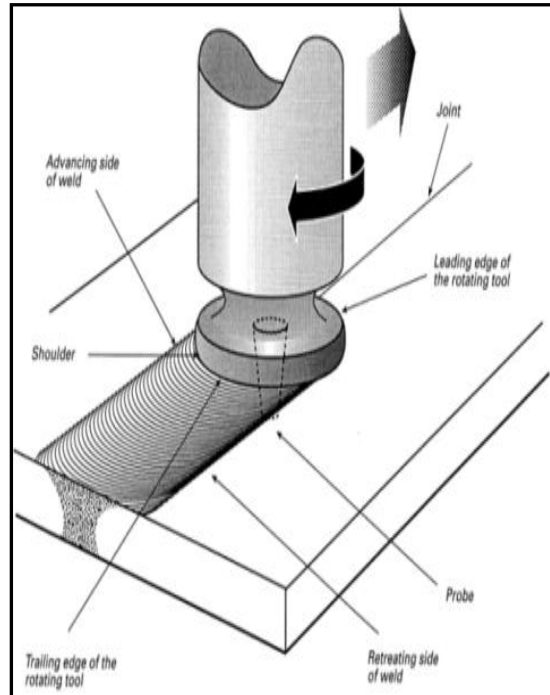
Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh parameter penambahan *preheat* pada las FSW, dengan posisi *heater* dibelakang *tool*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Proses *Friction Stir Welding*

Pengelasan dengan metode *friction stir welding* (FSW) pada paduan aluminium telah digunakan di beberapa industri untuk meningkatkan kualitas sambungan aluminium paduan [3]. 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.

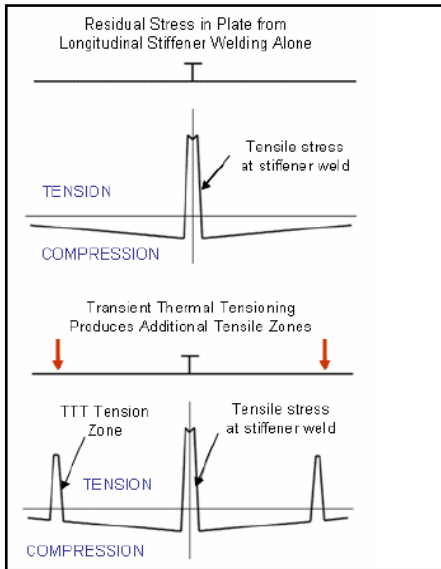


Gambar 1. Proses *Friction Stir Welding* (Thomas dan Nicholas, 1997) [6]

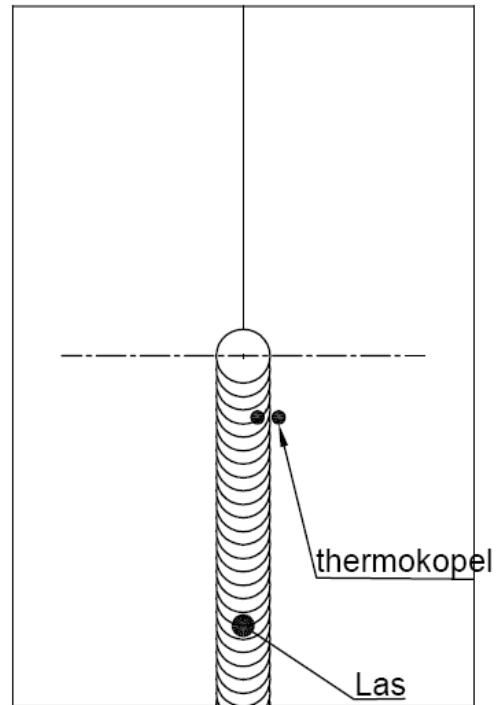
Pergerakan *pin* membuat material menjadi plastis karena panas yang dibangkitkan oleh adanya gesekan antara material dengan permukaan *shoulder* dan *pin*, kemudian kedua material yang disambung menjadi dingin dan membentuk ikatan keadaan padat material.

Transient Thermal (TT)

Proses TT telah dikembangkan di *Edison Welding Institute* (EWI) sejak pertengahan tahun 1990. Proses TT menggunakan prinsip penguatan tegangan termal, dan tidak memerlukan pendinginan (*quenching*), serta proses pemberian panas lokal pada daerah dapat didesain secara mekanis untuk proses pengelasan. Proses *transient thermal* merupakan sekita las dengan menggunakan sumber panas bergerak sehingga menghasilkan tegangan termal tarik saat pendinginan yang melawan tegangan sisa yang dihasilkan oleh proses pengelasan, hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Ilustrasi Model Tegangan Sisa, (A) tanpa TT, (B) dengan TT (Huang dkk, 2006).



Gambar 4 Posisi *Thermokopel* Pada Pengelasan FSW (satuan dalam mm)

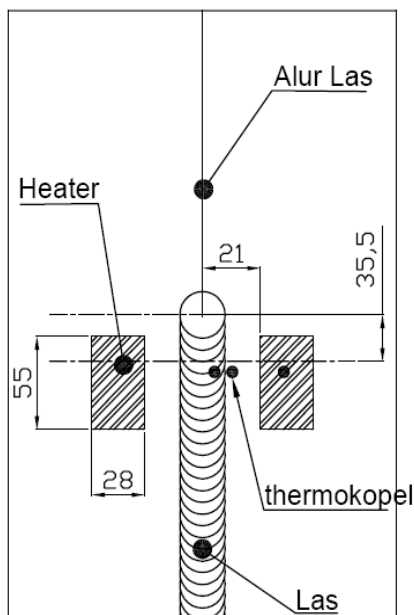
3. METODE PENELITIAN

A. Material Penelitian

Material yang dipakai adalah lembaran aluminium paduan seri 2024-T3.

B. Prosedur Pengelasan

Proses pengelasan FSW dengan perlakuan TT menggunakan mesin *milling (frais)* dengan variasi posisi penempatan *heater* seperti pada Gambar 3 dan posisi penempatan *thermokopel* seperti Gambar 4. Kecepatan maju las 12 mm/menit dan putaran *tool* 1100 rpm.

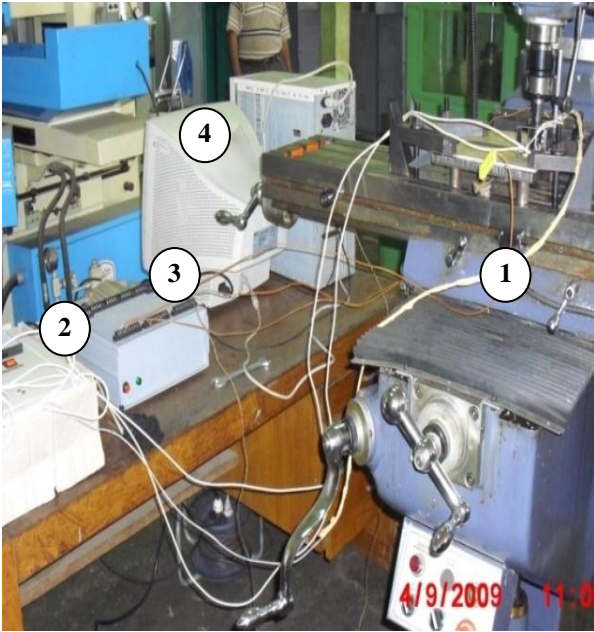


Gambar 3. Posisi *Heater* Pada Pengelasan FSW (satuan dalam mm)

Untuk pengelasan FSW dengan TT, digunakan rangkaian alat yang terdiri dari mesin *milling* tampak depan seperti pada Gambar 5, *box heater*, *data logger box*, dan komputer seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5 Mesin *Milling* Untuk Proses FSW



Gambar 6. Rangkaian Alat Untuk Las FSW, Terdiri Dari : (1) Mesin Milling, (2) Box Panel Heater, (3) Data Loger Box, (4) Komputer

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Komposisi Kimia

Pengujian spektrometri menghasilkan data komposisi kimia material pengujian seperti ditunjukkan pada Tabel 1 (dalam % wt).

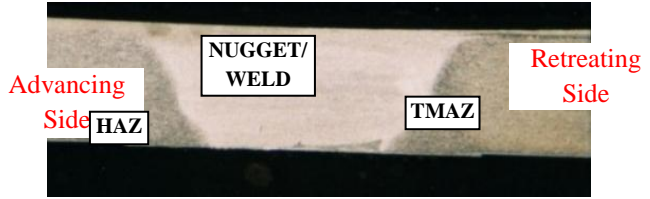
Tabel 1 Komposisi kimia (dalam % wt)

Materi	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
2024-T3	0,0 97	0,3 44	3,8 6	0,8 6	1,1 4	0,0 37	0,0 15	0,1 76

Dari data hasil pengujian spektrometri didapatkan kandungan Cu sebesar 3,86% wt, Mn 0,862%, dan Mg 1,14%. 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), makadari hasil uji spektrometri dapat disimpulkan bahwa material tersebut adalah paduan aluminium seri 2024.

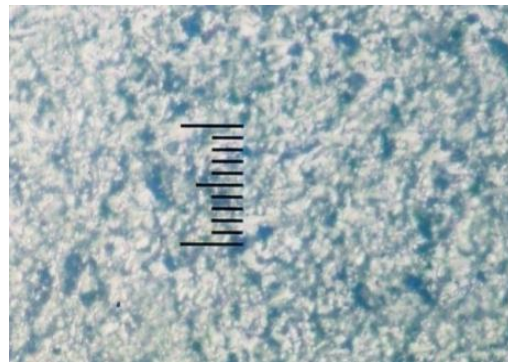
B. Struktur Makro dan Mikro Las

Gambar 7 menunjukkan foto makro hasil dari proses pengelasan FSW dengan putaran *tool* searah jarum jam. 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*.



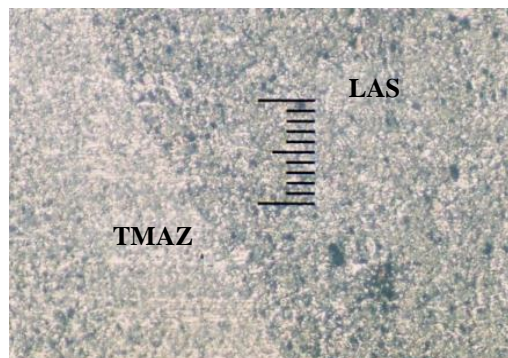
Gambar 7. Struktur Makro FSW

Hasil foto struktur mikro pengelasan *friction stir welding* (FSW) pada daerah las (nugget) ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Struktur Mikro Pada Daerah Las (Nugget) 1 strip = 2µm

Hasil foto mikro pada Gambar 8 dapat dijelaskan bahwa daerah *Weld/Nugget* adalah daerah las (*weld*) adalah daerah mengalami deformasi plastis dan pemanasan selama proses FSW sehingga menghasilkan rekristalisasi yang menghasilkan butiran halus di daerah pengadukan. *Weld* bentuknya bergantung pada parameter proses, geometri *tool*, temperatur, benda kerja dan konduktivitas termal material.



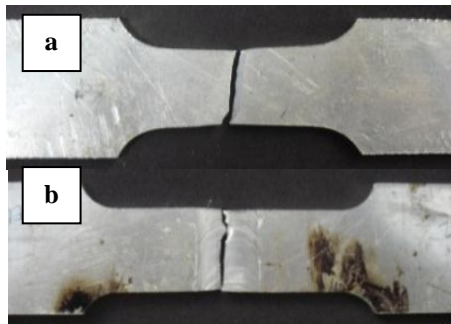
Gambar 9. Struktur Mikro Batas TMAZ-las 1 strip = 2µm

Hasil foto mikro pada Gambar dapat dijelaskan bahwa *Thermomechanically Affected Zone* (TMAZ) daerah transisi antara logam induk

dan daerah las yang mengalami deformasi struktur tetapi tidak terjadi rekristalisasi.

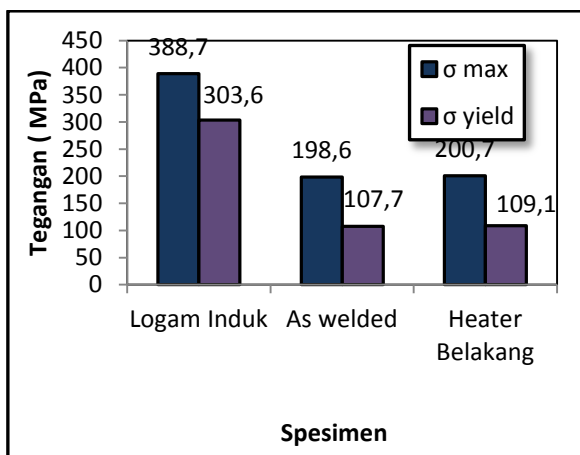
C. Uji Tarik

Hasil pengujian tarik menghasilkan perpatahan tarik didaerah las seperti pada Gambar 10, sedangkan nilai tegangan tarik maksimum dan tegangan luluh ditunjukkan pada Gambar 11. Bentuk penampang patahan tegak lurus dengan arah gaya tariknya, menunjukkan bahwa patahan las termasuk patah getas. Kekuatan tarik maksimal (σ_{max}) untuk spesimen dengan las FSW tertinggi terjadi pada spesimen *heater* belakang yaitu 200,7 MPa, tetapi masih lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tarik pada logam induk yaitu 388,7 MPa atau terjadi penurunan sebesar 48,3%.



Gambar 10 Tegangan Maksimum Dan Tegangan Yield Tiap Spesimen

Tegangan maksimum dan tegangan luluh pada masing-masing spesimen dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Tegangan Maksimum Dan Tegangan Yield Tiap Spesimen

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik tidak sensitif terhadap tegangan sisa pada spesimen. Hal ini

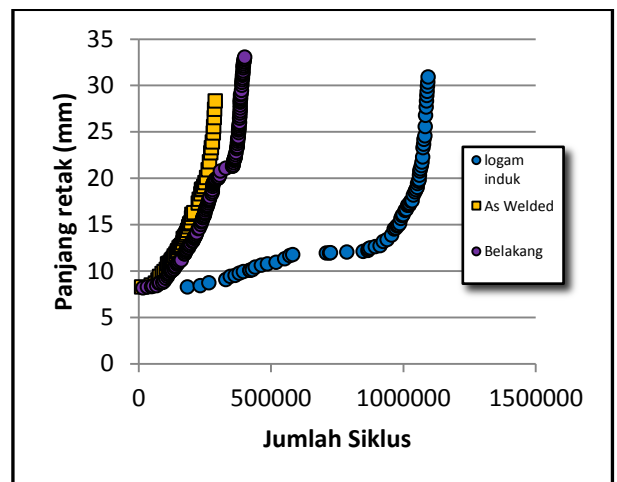
kemungkinan karena persentasi beban uji tarik terhadap tegangan sisa cukup besar.

D. Uji Fatik

Pengujian fatik dilakukan dengan menggunakan mesin *Shimadzu Hydraulic Servo Pulser*, tipe EHF-EB20-40L. Tabel 2 menunjukkan jumlah siklus untuk tiap-tiap spesimen, logam induk yaitu 1.093.469. Siklus terendah terjadi pada spesimen tanpa pemanas (*as welded*) yaitu 289.905 siklus. Secara umum, umur fatik biasanya berupa pengukuran pertambahan panjang retak sebagai fungsi perubahan jumlah siklus beban. Gambar 12 memperlihatkan bahwa logam induk mempunyai umur fatik yang paling tinggi dibanding spesimen yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengelasan menggunakan FSW belum mampu menghasilkan penyatuan logam yang baik dan mempunyai sifat mekanik seperti pada logam induknya (Lomolino dkk, 2004).

Tabel 2. Jumlah Siklus Uji Fatik

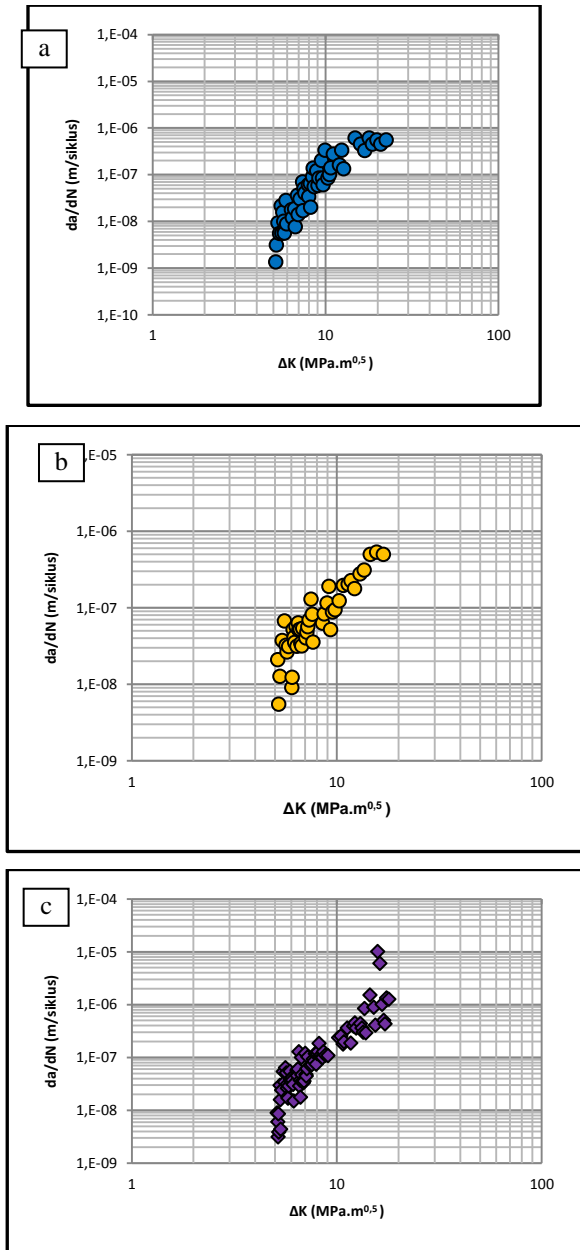
No.	Spesimen	Jumlah siklus	Prosentase kenaikan jumlah siklus terhadap <i>as welded</i>
1.	Logam Induk	1.093.469	-
2.	<i>As Welded</i>	289.905	-
3.	<i>Heater</i> belakang	401.000	38,3%



Gambar 12 Hubungan Antara Pertambahan Panjang Retak (a) Sebagai Fungsi dari Siklus (n)

Laju perambatan retak fatik, da/dN , sebagai fungsi ΔK dapat ditunjukkan pada Gambar 13. Kurva ini mempunyai bentuk sigmoidal yang

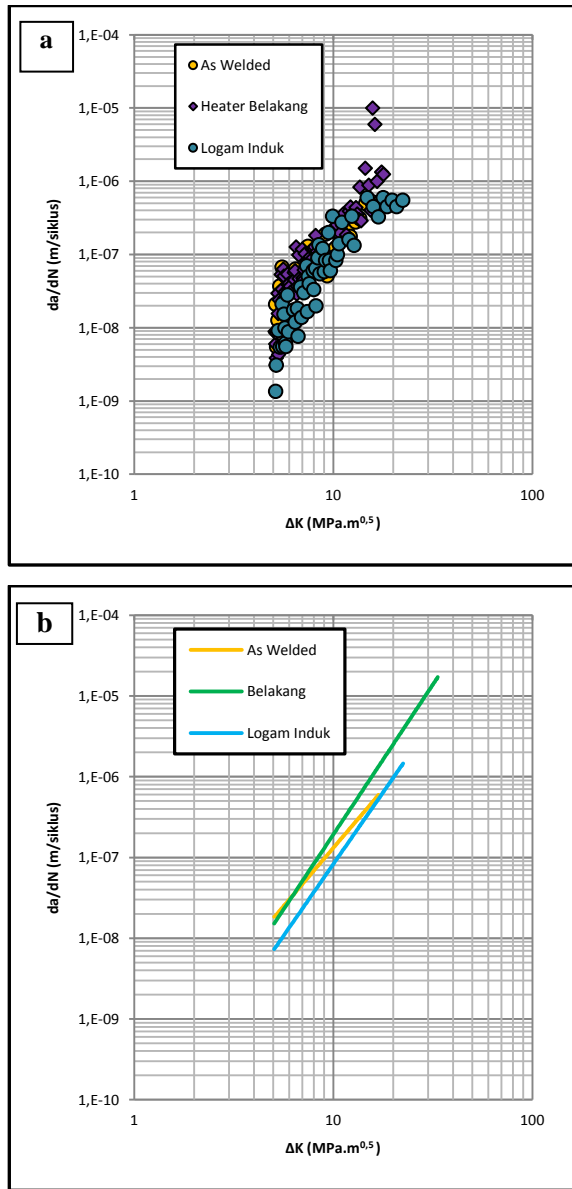
terbagi dalam tiga daerah, yaitu daerah I yang menunjukkan suatu harga ambang ΔK , dibawah harga ini tidak ada perambatan retak yang dapat diobservasi. Daerah II menunjukkan hubungan linier antara $\log da/dN$ dan $\log \Delta K$. Daerah III menunjukkan bahwa perambatan retak sangat tinggi sehingga sulit dikontrol.



Gambar 13 Hubungan Antara Faktor Intensitas Tegangan Dan Laju Perambatan Retak Dalam Skala Log (A) Logam Induk, (B) As Welded (C) Heater Belakang

Kombinasi dari Gambar 13(a)-(c) dapat dilihat pada Gambar 14(a), sedangkan *trendline* daerah stabil/linier untuk semua spesimen ditunjukkan pada Gambar 14(b). Nilai-nilai n

dan A dapat dicari dari garis-garis *trendline* tersebut. Dari Tabel 3 terlihat bahwa harga n berkisar antara 2,8845 ~ 3,7139, dimana harga n ini menunjukkan gradien garis linier atau *slope* dari kurva, sedangkan harga C merupakan perpotongan dengan garis sumbu tegak sampai harga $\Delta K=1$ MPa.m^{0.5}. Nilai n berkisar antara 2~8 [9].



Gambar 14 Grafik Garis Hubungan Antara Faktor Intensitas Tegangan Dan Laju Perambatan Retak Dalam Skala Log, (A) Kombinasi, (B) *Trendline*.

Nilai konstanta paris dapat dilihat dari grafik hubungan faktor intensitas tegangan dan laju perambatan retak dalam bentuk *trendline*. Nilai konstanta paris ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Konstanta paris

No	Spesimen	n	A
1.	Logam induk	3,5530	2,3128E-08
2.	As welded	2,8845	1,7101E-07
5.	Heater belakang	3,7139	3,7078E-08

Pada ΔK kurang dari $7 \text{ MPa.m}^{0.5}$, laju perambatan retak fatik las heaterbelakang relatif rendah dibandingkan dengan spesimen *as welded*, atau dengan kata lain terjadi peningkatan ketahanan perambatan retak fatik pada spesimen dengan perlakuan TT pada posisi heater di belakangtool FSW, namun pada ΔK tinggi yaitu diatas $7 \text{ MPa.m}^{0.5}$ spesimen las tanpa TT (*as welded*) menunjukkan ketahanan terhadap laju perambatan fatik yang paling baik.

5. KESIMPULAN

1. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa terjadi patah getas dan lokasi patah berada pada daerah las, Kekuatan tarik maksimal (σ_{max}) untuk spesimen dengan las FSW tertinggi terjadi pada spesimen heater belakang yaitu 200,7 MPa.
2. Perlakuan TT menyebabkan peningkatan ketahanan fatik, ditandai dengan turunnya laju perambatan retak fatik (da/dN) pada *stress intensity factor* ΔK kurang dari $7 \text{ MPa.m}^{0.5}$. Peningkatan ketahanan laju perambatan retak fatik terbaik terjadi pada spesimen heaterbelakang dengan nilai $da/dN = 3,7078E-08 (\Delta K)^{3,7139}$. Peningkatan umur fatik las FSW dengan perlakuan TT terhadap spesimen dengan posisiheater belakang 38.3% (401.000 siklus).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Thomas,M.W., Nicholas . J., [1997], *Friction Stir Welding for TransportationIndustries*, TWI, Abington Hall, Abington, Cambridge CB1 6AL, UK.
- [2] 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
- [3] Deepa,R.A.,SherifE.,[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.
- [4] 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.
- [5] Mandal,N.R., [2002], *Aluminium Welding*, Departement of Ocean Engineering and Naval Architecture ,India Institute of Technology Kharagpur, Kharagpur, India.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] ASM Metal Handbook Vol 19, [1996], *Fatigue And Fracture*, ASM International.