

Pengaruh *Shot Peening* terhadap Laju Perambatan Retak Fatik Sambungan *Friction Stir Welding* pada Aluminium Seri 5083

(1)*Wartono Wartono

(1) Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta,
Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta

*Email: wartono@itny.ac.id

Diterima: 07.05.2020 Disetujui: 14.05.2020 Diterbitkan: 30.05.2020

ABSTRACT

This research aims to find out the effect of shot peening on the rate of fatigue crack propagation in the aluminum alloy 5083, which has undergone the friction stir welding (FSW) process. In general, the FSW welded joint is subjected to softening and decreasing mechanical properties compared to the parent metal. Shot peening treatment is expected to reduce the rate of fatigue crack propagation. The FSW process is carried out on 3 mm thick aluminum and butt joint welding joints. The machine used in the FSW process is a milling machine with a spindle rotation of 910 rpm and a table speed of 18.2 mm/min. The surface of the material that has been processed by FSW, then proceeds with the shot peening process by firing steel balls for 6 minutes, 10 minutes, and 14 minutes. The results of the FSW process without shot peening (NP) and FSW with shot peening (SP) microstructure, SEM, and fatigue crack propagation tests were performed. The test results show that the FSW process with shot peening has decreased the rate of fatigue crack propagation marked by an increase in the value of the Paris constant (n). The increase in Paris's constant values (n) in the FSW with SP6, SP10, and SP14 was 0.241%, 5.428%, and 13.371%, respectively.

Keywords: shot peening, aluminum alloy 5083, fatigue crack propagation, friction stir welding

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *shot peening* terhadap laju perambatan retak fatik pada paduan aluminium 5083 yang telah mengalami proses *friction stir welding* (FSW). Pada umumnya, daerah sambungan las FSW mengalami proses pelunakan dan penurunan sifat mekanis dibanding logam induknya. Perlakuan *shot peening* diharapkan dapat menurunkan laju perambatan retak fatik. Proses FSW dilakukan pada aluminium dengan tebal 3 mm dan sambungan las jenis *butt joint*. Mesin yang digunakan dalam proses FSW ini adalah mesin *milling* dengan putaran spindle sebesar 910 rpm dan kecepatan meja sebesar 18,2 mm/menit. Permukaan bahan yang telah diproses FSW, kemudian dilanjutkan dengan proses *shot peening* dengan menembakkan bola baja selama 6 menit, 10 menit, dan 14 menit. Hasil proses FSW tanpa *shot peening* (NP) dan FSW dengan *shot peening* (SP) dilakukan uji struktur mikro, SEM, dan uji perambatan retak fatik. Hasil uji menunjukkan bahwa proses FSW dengan *shot peening* mengalami penurunan laju perambatan retak fatik yang ditandai dengan peningkatan nilai konstanta Paris (n). Peningkatan nilai konstanta Paris (n) pada FSW dengan SP6, SP10, dan SP14 masing-masing sebesar 0,241%, 5,428%, dan 13,371%.

Kata Kunci: *shot peening*, paduan aluminium 5083, perambatan retak fatik, *friction stir welding*

I. Pendahuluan

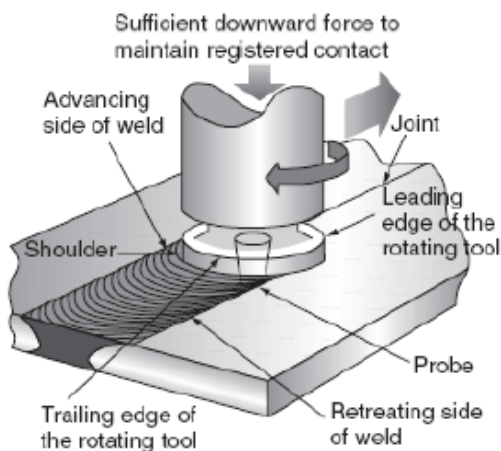
Logam aluminium banyak digunakan pada peralatan kantor, industri struktur atau pemesinan, seperti struktur kapal laut, komponen otomotif, dan struktur pesawat terbang. Aluminium mempunyai sifat yang

baik antara lain: ringan, mudah fabrikasi, mampu bentuk baik, dan ketahanan korosi yang baik.

Pengelasan merupakan salah satu dari beberapa metode penyambungan logam. Logam yang sering dilakukan penelitian dalam

pengelasan adalah baja karbon rendah maupun stainless steel (Maarif, Pani, Chamim, & Sukarjo, 2018). Mesin las yang digunakan untuk menyambung logam baja karbon antara lain mesin las listrik (Faqih, Ma'arif, & Sukarjo, 2019), mesin las oxy-acetylene atau las karbit (Wisnujati & Nurhuda, 2017), las MIG (Wartono, Taufiq, & Julius, 2019). Logam yang sering dilakukan pengelasan adalah aluminium paduan. Salah satu jenis pengelasan aluminium yang sering pernah diteliti adalah dengan *friction stir welding* (FSW) (Jatimurti, Kurniawan, & Kurniawan, 2019).

Friction stir welding (FSW) adalah versi terbaru dari pengelasan gesek yang dikenal dengan teknik penyambungan pada kondisi padat atau logam las tidak mencair (*solid-state process*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Proses FSW dilakukan pada aluminium dengan tebal 3 mm, dengan sambungan las jenis *butt joint*. Mesin yang digunakan dalam proses FSW ini adalah mesin *milling* dengan putaran spindle sebesar 910 rpm dan kecepatan meja sebesar 18,2 mm/menit. Pemakanan pada mesin *milling* menimbulkan kekasaran permukaan material (Sugiyanto & Prabowo, 2018).

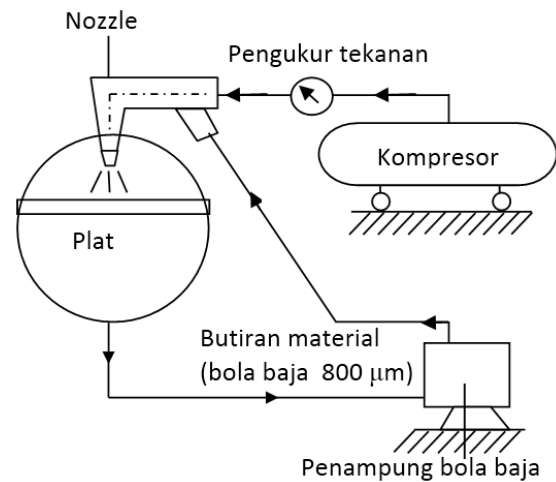


Gambar 1. Proses *Friction Stir Welding* (Mandal, 2005)

Daerah sambungan las FSW akan mengalami proses pelunakan dan penurunan sifat mekanis dibanding logam induknya, akibat rekristalisasi saat proses pengadukan (*stirring*), sehingga menurunkan laju perambatan retak fatik pada daerah las tersebut. Oleh karena itu, sambungan las perlu mendapat perlakuan permukaan dengan cara *shot peening* (*proses shot peening*).

Proses *shot peening* merupakan proses penembakan butiran material biasanya berupa bola baja atau *steel grit* pada daerah las dengan tekanan tinggi, dengan tujuan untuk menurunkan laju perambatan retak fatik. Proses *shot peening* ditunjukkan pada Gambar 2.

FSW adalah versi terbaru dari pengelasan gesek yang dikenal dengan teknik penyambungan pada kondisi padat atau logam las tidak mencair (*solid-state process*) (U.S. Patent No. PCT/GB92/02203, 1991). Pada daerah HAZ, TMAZ dan daerah las (*nugget*), pada daerah tersebut mengalami proses pelunakan dan penurunan sifat mekanis dibandingkan logam induknya (Bradley & James, 2000).



Gambar 2. Proses *shot peening*.

Proses *shot peening* merupakan metode perlakuan permukaan untuk meningkatkan sifat mekanik materialnya (Ishak, 2011). Proses *shot peening* merupakan proses penembakan butiran material berupa bola baja (*steel grit*) pada daerah lasan atau garis sambungan benda kerja dengan tekanan tinggi pada permukaan daerah lasan, dengan tujuan untuk meningkatkan sifat mekaniknya.

Kelelahan (*fatigue*) merupakan salah satu jenis kegagalan (patah) pada sambungan las akibat beban dinamis (pembebanan yang berulang-ulang atau berubah-ubah). Diperkirakan 50% - 90% kegagalan mekanis disebabkan oleh kelelahan (Abrianto, 2007). Menurut Muchtar (Muchtar, 2002), pengaruh *shot peening* terhadap umur lelah sambungan las, bahwa *shot peening* dapat meningkatkan umur lelah sambungan las secara signifikan. Kenaikan umur lelah ini diduga akibat penguatan kembali tegangan sisa yang sudah

mulai melemah ketika dilakukan pembebanan fatik.

Penelitian tentang peningkatan ketahanan lelah pada aluminium seri 6061-T6 sambungan FSW dengan *laser peening* tanpa *coating*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kekuatan lelah pada logam induk mengalami peningkatan dari 110 MPa menjadi 170 MPa pada siklus 10^7 setelah dilakukan *laser shot peening*, demikian pula pada logam las mengalami peningkatan dari 90 MPa menjadi 120 MPa (Sano, Masaki, Gushi, & Sano, 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *shot peening* terhadap laju perambatan retak fatik sambungan *friction stir welding* pada aluminium alloy seri 5083.

II. Bahan dan Metode

2.1. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, alat yang digunakan adalah:

1. Mesin frais,
2. Mesin *shot peening*,
3. Mesin pemoles,
4. Mesin uji fatik,
5. Mikroskop Optik.

Adapun alat pendukung lainnya, berupa:

1. Amplas grit 100, 120, 200, 360, 500, 800, 1.000, 1.500, 2.000 dan 5.000 mesh,
2. Kain bludru,
3. Pasta poles merk Autosol,
4. Larutan HNO_3 (asam nitrat) kadar 5% untuk etsa,
5. Larutan alkohol kadar 70% untuk bahan etsa.

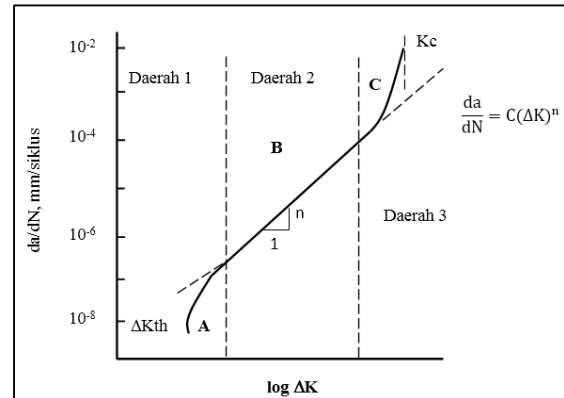
Material uji yang digunakan adalah bahan pelat aluminium seri 5083 yang berukuran 2.400 mm x 1.200 mm x 3 mm, kemudian dipotong lagi dengan ukuran 300 mm x 100 mm x 3 mm sebanyak 20 buah. Setelah didapatkan ukuran yang diinginkan kemudian dilanjutkan dengan meratakan bagian tepi pelat dengan mesin frais.

2.2. Pengujian Perambatan Retak Fatik

Kelelahan (*fatigue*) adalah salah satu jenis kegagalan (patah) pada komponen akibat beban dinamis (pembebanan yang berulang-ulang atau berubah-ubah). Diperkirakan 50% - 90% kegagalan mekanis disebabkan oleh kelelahan.

Kelelahan logam diawali dengan pembentukan awal retak dan dilanjutkan dengan penjarangan retakan hingga komponen mengalami patah.

Lokasi awal retak pada komponen atau logam yang mengalami pembebanan dinamis atau siklik adalah pada titik daerah dimana memiliki kekuatan yang paling minimum dan atau pada titik daerah dimana mengalami tegangan yang paling maksimum. Laju perambatan retak, da/dN , sebagai fungsi ΔK dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Laju perambatan retak, da/dN , sebagai fungsi ΔK

Besarnya laju perambatan retak (da/dN) sebagai fungsi ΔK , dapat dihitung dengan persamaan seperti pada Rumus 1.

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n \quad (1)$$

Dengan,

da/dN : kecepatan perambatan retak.

ΔK : *Stress intensity factor range*

ΔK : $K_{max} - K_{min}$.

C, n : konstanta Paris

(ditentukan dari percobaan)

Harga n merupakan slope dari kurva, dan C adalah koefisien yang dapat dicari dengan menarik garis lurus sampai harga $\Delta K_I = 1 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$.

III. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian

1. Uji Komposisi Kimia

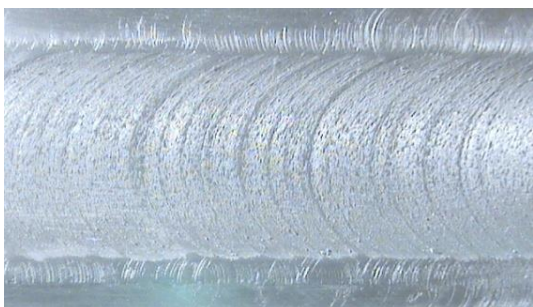
Material yang digunakan dalam penelitian adalah Al 5083, dengan komposisi kimia material (dalam % wt) seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi Kimia

No	Raw Material	
	Unsur	(%)
1	Al	92,55
2	Si	0,40
3	Fe	0,40
4	Cu	0,10
5	Mn	0,40 - 1,00
6	Mg	4,00 - 4,90
7	Ti	0,15
8	Cr	0,05 - 0,25
9	Zn	0,25

2. Hasil Pengelasan

Hasil proses las *FSW*, secara visual nampak perbedaan bentuk manik-manik las (permukaan) dari proses *FSW* tanpa *shot peening* ditunjukkan pada Gambar 4. Bentuk manik-manik las secara umum, hasil *FSW* tanpa *shot peening* lebih halus dibandingkan hasil *FSW* dengan *shot peening*. Hal ini terjadi akibat efek tempa (*forging*) oleh *shot peening* pada permukaan plat di daerah sambungan las seperti pada Gambar 5.



Gambar 4. Hasil *FSW* tanpa *shot peening*



Gambar 5. Hasil *FSW* dengan *shot peening*

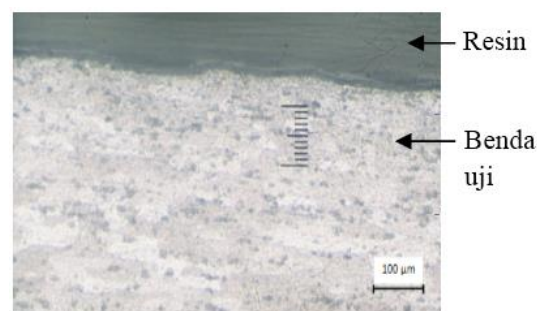
3. Hasil Struktur Mikro dan SEM

Pada Gambar 6 menunjukkan daerah las (*nugget*) terjadi penghalusan butir akibat rekristalisasi. Fase yang terbentuk α -Al + Al₃Mg₂. Daerah yang berwarna putih merupakan unsur Al, sedangkan yang berwarna hitam merupakan senyawa Al₃Mg₂ yang berbentuk

presipitat. Ukuran butir rata-rata 10 μ m. Kristal berbentuk *equiaxed*.

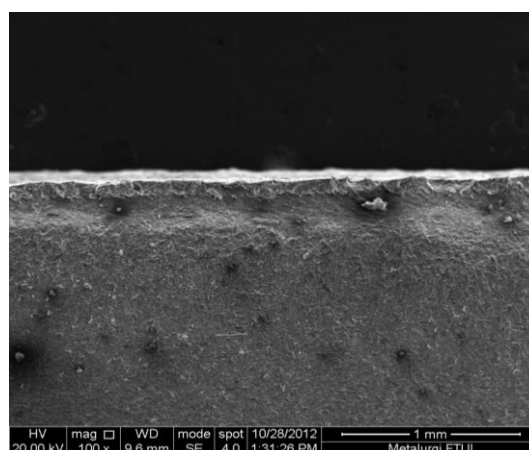


Gambar 6. Struktur mikro daerah *nugget* (*weld metal*)



Gambar 7. Struktur mikro *FSW* dengan *shot peening* pada permukaan benda

Pada gambar 7 menunjukkan hasil foto struktur mikro dimana pengaruh proses *shot peening* hanya terbatas pada lapisan tipis permukaan bahan. Keadaan tersebut diperjelas oleh foto SEM yang memperlihatkan butir-butir yang terdeformasi akibat proses *shot peening*.



Gambar 8. SEM permukaan benda

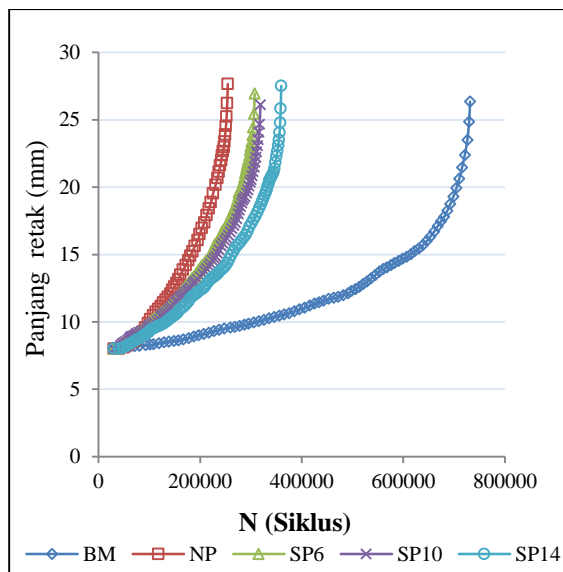
Hasil pengamatan SEM (Gambar 8) pada sambungan las *FSW* setelah dilakukan *shot peening*, menunjukkan perubahan bentuk (deformasi) pada lapisan tipis permukaan benda. Efek tempa (*forging*) oleh *shot peening*

pada permukaan benda akan meningkatkan kerapatan dislokasi pada batas butirnya.

4. Hasil Uji Fatik

Pengujian perambatan retak fatik dilakukan pada arah transversal (arah pengerolan). Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya pengaruh *shot peening* terhadap laju perambatan retak fatik. Dalam pengujian perambatan retak fatik menggunakan mesin Servopulser Shimadzu Kyoto Jepang, type EHF-EB20 dengan kapasitas 20 ton. Besarnya beban pengujian dipilih sebesar 20% dari tegangan maksimum bahan. Rasio tegangan dipilih sebesar 0,1. Sedangkan frekuensi yang dipilih sebesar 11 Hz.

Gambar 9 menunjukkan kurva hubungan antara panjang retak (a) dan jumlah siklus (N) untuk *base material (BM)* dan bahan yang diproses *friction stir welding* tanpa *shot peening (NP)* serta *friction stir welding* dengan *shot peening* selama 6 menit (SP6), *friction stir welding* dengan *shot peening* selama 10 menit (SP10), *friction stir welding* dengan *shot peening* selama 14 menit (SP14).



Gambar 9. da/dN untuk *base material*, FSW SP 6 menit, SP 10 menit, SP 14 menit

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa paduan Al 5083 yang diproses *friction stir welding* tanpa *shot peening*, siklusnya (N) mengalami penurunan dari *raw material/base material (BM)*. Penurunan siklus ini dapat dilihat dari grafik laju perambatan retak fatik (da/dN) terhadap faktor intensitas tegangan (ΔK), dimana *friction stir welding* tanpa *shot peening* cenderung meningkatkan laju perambatan retak fatik (da/dN).

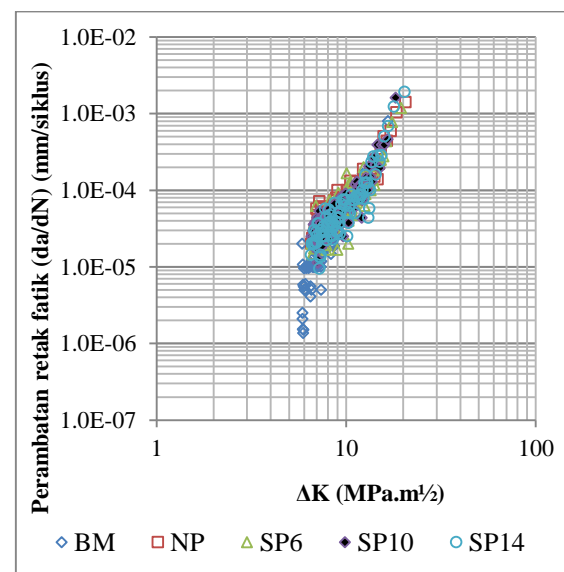
Sedangkan paduan Al 5083 yang diproses *friction stir welding* dengan *shot peening*, siklusnya (N) mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan waktu *shot peening*. Peningkatan siklus ini dapat dilihat dari grafik laju perambatan retak fatik (da/dN) terhadap faktor intensitas tegangan (ΔK), dimana *friction stir welding* dengan *shot peening* cenderung menurunkan laju perambatan retak fatik (da/dN).

3.2. Analisis dan Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *base material (raw material)* dan bahan yang diproses *friction stir welding* tanpa *shot peening*, umur fatiknya (jumlah siklus) mengalami penurunan sebesar 65%. Sedangkan bahan *friction stir welding* yang telah di-*shot peening*, umur fatiknya (jumlah siklus) mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan waktu *shot peening*. Pada *shot peening* selama 6 menit, 10 menit, dan 14 menit dapat meningkatkan umur fatik masing-masing sebesar 20,95%, 25,43%, dan 41,53% dibandingkan bahan *friction stir welding* tanpa *shot peening*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Besar siklus patah setiap spesimen

No	Spesimen	Siklus Patah	% Kenaikan
1.	<i>Base material</i>	731.600	-
2.	<i>FSW NP</i>	254.186	-
3.	<i>FSW SP 6 menit</i>	307.447	20,95 %
4.	<i>FSW SP 10 menit</i>	318.827	25,43 %
5.	<i>FSW SP 14 menit</i>	359.749	41,53 %



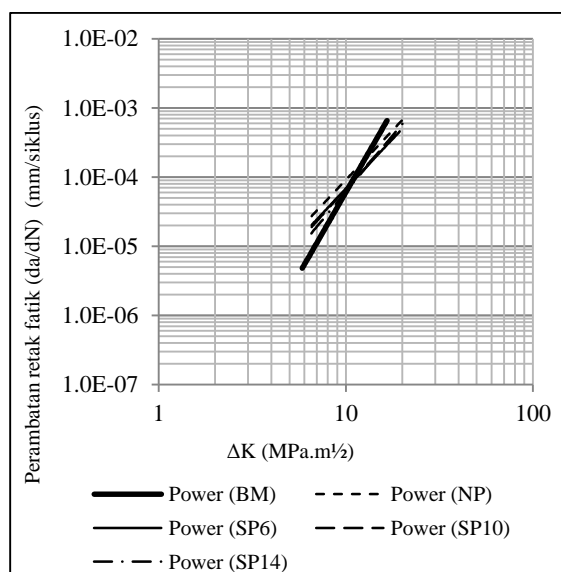
Gambar 10. Gabungan kurva da/dN – ΔK

Pada Gambar 10 menunjukkan gabungan kurva perambatan retak fatik (da/dN) dan perubahan faktor intensitas tegangan (ΔK). Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa bahan *friction stir welding* tanpa *shot peening* (NP) cenderung mengalami peningkatan laju perambatan retak fatik (da/dN) dibandingkan dengan *base materialnya* (BM). Hal ini dapat dilihat dari penurunan nilai konstanta Paris (n) untuk aluminium paduan tersebut.

Bahan *friction stir welding* yang telah di-*shot peening*, dapat menurunkan laju perambatan retak fatik yang ditandai dengan peningkatan nilai konstanta Paris (n) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Peningkatan nilai n terbesar terjadi pada SP14.

Tabel 3. Konstanta Paris C dan n setiap spesimen

No	Spesimen	C	n	% Kenaikan
1.	BM	1,1775E-09	4,7106	-
2.	FSW NP	1,2396E-07	2,8666	-
3.	FSWSP 6	9,1292E-08	2,8735	0,241
4.	FSW SP10	6,4634E-08	3,0222	5,428
5.	FSW SP14	3,4554E-08	3,2499	13,371



Gambar 11. Trendline gabungan kurva $da/dN - \Delta K$

Pada Gambar 11 menunjukkan *trendline* gabungan kurva $da/dN - \Delta K$. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa $\Delta K < 10$ MPa. \sqrt{m} , maka laju perambatan retak fatik *base material* (BM) mengalami penurunan, sedangkan $\Delta K > 10$ MPa. \sqrt{m} , maka laju perambatan retak fatik bahan FSW yang telah di-*shot peening* mengalami penurunan.

IV. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. FSW dengan *shot peening* akan mengalami peningkatan kekasaran permukaan akibat efek tempa (*forging*),
2. FSW dengan *shot peening* selama 14 menit hanya berpengaruh pada bagian permukaan bahan sampai kedalaman kurang dari 0,7 mm.
3. FSW yang telah di-*shot peening* menunjukkan penurunan laju perambatan retak fatik yang ditandai dengan peningkatan nilai konstanta Paris (n) masing-masing sebesar 2,8735, 3,0222, dan 3,2499 atau masing-masing sebesar 0,241%, 5,428%, dan 13,371%.
4. Nilai konstanta Paris (n) semakin meningkat, maka ketahanan retak fatiknya rendah. $\Delta K < 10$ MPa. \sqrt{m} , maka laju perambatan retak fatik pada *base material* (BM) mengalami peningkatan, sedangkan $\Delta K > 10$ MPa. \sqrt{m} , maka laju perambatan retak fatik pada bahan FSW yang telah di-*shot peening* mengalami penurunan.

Daftar Pustaka

- Abrianto. (2007). *Kelelahan Logam*. Bandung: Teknik Metalurgi, Universitas Jenderal Achmad Yani.
- Bradley, G. R., & James, M. N. (2000). "Geometry and Microstructure of Metal Inert Gas and Friction Stir Welded Aluminium Alloy 5383-H321".
- Faqih, I. A., Ma'arif, S., & Sukarjo, H. (2019). The Effect of Current Variation on MMA Welding to Mechanical Properties and Microstructure of Mild Steel. *Proceeding International Conference on Materials Science and Technology* (pp. 21-26). Serpong: Center for Science and Technology of Advanced Materials - BATAN.
- Ishak. (2011). *Pengaruh Sandblasting dan Electropolishing Terhadap Kekasaran Permukaan, Kekerasan, Struktur Mikro dan Ketahanan Korosi Baja Tahan Karat AISI 316 L*. Yogyakarta: Tesis S2 Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada.

- Jatimurti, W., Kurniawan, F., & Kurniawan, B. A. (2019). Analisa Kecepatan Pengelasan dan Kecepatan Putar Mata Pahat terhadap Konduktivitas Listrik Sambungan Aluminium dan Tembaga Hasil Friction Stir Welding (FSW). *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 3(2), 39-46.
- Maarif, S., Pani, R. S., Chamim, M., & Sukarjo, H. (2018). Prediction of Distortion Behavior due to Load Thermal Laser Welded Low Carbon Steel with Stainless Steel 304 Based on Computation Simulation. *Proceeding International Conference on Materials Science and Technology* (pp. 72-79). Serpong: Center for Science and Technology of Advanced Materials - BATAN.
- Mandal, N. R. (2005). *Aluminum Welding* (2nd ed.). New Delhi: Narosa Publishing House.
- Muchtar, K. K. (2002). Pengaruh Shot Peening Ulang Terhadap Kelelahan (Fatigue) Sambungan Las. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), 1-6.
- Sano, Y., Masaki, K., Gushi, T., & Sano, T. (2012). Improvement in fatigue performance of friction stir welded A6061-T6 aluminium alloy by laser peening without coating. *Material & Design*, 36, 809-814.
- Sugiyanto, S., & Prabowo, Y. (2018). Pembuatan Kekasaran Permukaan Material ST 37 terhadap Kecepatan Pemakanan pada Milling Machine. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 2(1), 1-6.
- Thomas, W. M. (1991). *U.S. Patent No. PCT/GB92/02203*. Friction Stir Butt Welding.
- Wartono, W., Taufiq, M., & Julius, A. (2019). Pengaruh Preheat terhadap Sifat Mekanis Sambungan Metal Inert Gas (MIG) pada Baja Karbon Rendah. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 3(1), 15-22.
- Wisnujati, A., & Nurhuda, A. (2017). Analisis Sifat Fisik dan Mekanik Sambungan Las Oxy-Acetylene pada Pelat Baja Karbon Rendah dengan Variabel Nyala Torch Karburasi. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 1(2), 1-7.