

Experimental Study of Flash Butt Welding with Variations in Flashing Time and Tilt Angle on Tensile Strength of Joints

[Studi Eksperimen Flash Butt Welding Dengan Variasi Waktu Flashing Dan Sudut Kemiringan Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan]

Muhammad Dicky Bagus Setiawan Edi¹⁾, Mulyadi^{*2)}

^{1),2)} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: mulyadi@umsida.ac.id

Abstract. Flash Butt Welding (FBW) is one of the resistance welding methods that is widely used due to its ability to produce homogeneous joints without the use of filler material and its high process efficiency. The quality of FBW joints is strongly influenced by process parameters, particularly flashing time and inclination angle, especially when applied to aluminum materials that exhibit high thermal conductivity and a relatively low melting point. This study aims to analyze the effect of variations in flashing time and inclination angle on the mechanical characteristics of Flash Butt Welding joints in AA6061-T6 aluminum alloy. The research method was conducted experimentally using round bar specimens of 6061-T6 aluminum. The welding process was carried out with inclination angle variations of 5°, 10°, and 15°, as well as variations in upsetting time. After welding, the specimens were machined according to tensile test standards using a conventional lathe, followed by tensile testing to obtain stress, strain, and elastic modulus values. The results showed that the highest tensile stress of 4.846 Kg/mm² was obtained at an inclination angle of 5° with an upsetting time of 5.62 s, while the lowest tensile stress of 1.791 Kg/mm² occurred at an inclination angle of 10° with an upsetting time of 5.70 s. Parameter variations also affected the fracture location of the specimens, which was generally located around the weld zone. This study indicates that proper control of FBW parameters is crucial for improving the strength of aluminum joints and can serve as a reference for optimizing welding processes in industrial applications.

Keywords – Flash Butt Welding (FBW), Flashing Time, Tilt Angle, Tensile Strength.

Abstrak. Pengelasan Flash Butt Welding (FBW) merupakan salah satu metode pengelasan resistansi yang banyak digunakan karena mampu menghasilkan sambungan homogen tanpa bahan pengisi serta memiliki efisiensi proses yang tinggi. Kualitas sambungan FBW sangat dipengaruhi oleh parameter proses, terutama waktu flashing dan sudut kemiringan, khususnya pada material aluminium yang memiliki karakteristik konduktivitas termal tinggi dan titik leleh relatif rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu flashing dan sudut kemiringan terhadap karakteristik mekanik sambungan pengelasan Flash Butt Welding pada aluminium paduan AA6061-T6. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan material aluminium 6061-T6 berbentuk batang bundar. Proses pengelasan dilakukan dengan variasi sudut kemiringan sebesar 5°, 10°, dan 15° serta variasi waktu penekanan. Setelah pengelasan, spesimen dibentuk sesuai standar uji tarik menggunakan mesin bubut konvensional, kemudian dilakukan pengujian tarik untuk memperoleh nilai tegangan, regangan, dan modulus elastisitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 4,846 Kg/mm² diperoleh pada sudut kemiringan 5° dengan waktu penekanan 5,62 s, sedangkan nilai terendah sebesar 1,791 Kg/mm² terjadi pada sudut kemiringan 10° dengan waktu penekanan 5,70 s. Variasi parameter juga memengaruhi lokasi titik patah spesimen yang umumnya berada di sekitar daerah sambungan. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengaturan parameter FBW yang tepat sangat penting untuk meningkatkan kekuatan sambungan aluminium dan dapat menjadi acuan dalam optimalisasi proses pengelasan di industri.

Kata Kunci – Flash Butt Welding (FBW), Waktu Flashing, Sudut Kemiringan, Kekuatan Tarik.

I. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan salah satu metode penyambungan logam yang paling umum digunakan dalam dunia industri. Proses ini memungkinkan dua atau lebih logam disatukan secara permanen melalui kombinasi panas dan tekanan, menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama. Dalam konteks industri modern seperti otomotif, konstruksi, dan manufaktur alat transportasi, kebutuhan akan metode pengelasan yang efisien, cepat, dan mampu menghasilkan sambungan berkualitas tinggi menjadi sangat krusial [1].

Salah satu metode pengelasan yang banyak digunakan untuk sambungan logam padat adalah *Flash Butt Welding* (FBW). FBW merupakan jenis pengelasan resistansi (resistance welding) di mana kedua permukaan logam yang akan disambung dijepit, dialiri arus listrik, lalu ditekan bersamaan hingga terbentuk sambungan logam cair yang menyatu [2]. Kelebihan FBW adalah mampu menghasilkan sambungan yang homogen tanpa perlu bahan pengisi (*filler*), serta

relatif cepat dalam pelaksanaannya. Namun, kualitas sambungan sangat bergantung pada parameter proses, salah satunya adalah waktu flashing [3]. Waktu flashing merupakan durasi saat kedua ujung benda kerja saling bersentuhan dan arus listrik dialirkan sebelum gaya upset (penekanan) diberikan. Durasi ini memengaruhi pembentukan zona leleh dan distribusi panas di daerah sambungan. Jika waktu flashing terlalu singkat, pelelehan bisa tidak merata, sedangkan waktu yang terlalu lama dapat menimbulkan cacat seperti excessive burr, burn-through, atau deformasi. Oleh karena itu, pengaturan waktu flashing yang tepat sangat penting untuk menjamin kualitas hasil pengelasan [4].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh parameter pada proses *Flash Butt Welding*. Misalnya, penelitian oleh S. R. Patil dan S. M. Sonawane (2019) menunjukkan bahwa peningkatan waktu *flashing* pada pengelasan baja karbon dapat memperbaiki kualitas fusi sambungan, namun berisiko meningkatkan zona *termal* (*heat affected zone* / HAZ) yang luas. Penelitian lain oleh Chowdhury et al. (2013) pada pengelasan aluminium menunjukkan bahwa arus, tekanan upset, dan waktu flashing secara signifikan memengaruhi kekuatan tarik sambungan. Penelitian oleh Y. Prawoto dkk. (2019) yang melakukan pengelasan *butt joint* aluminium menggunakan metode *resistance welding* menyimpulkan bahwa variasi parameter seperti tekanan dan durasi pengelasan dapat mengubah struktur mikro di sekitar HAZ serta menurunkan kekuatan mekanik apabila tidak dikendalikan secara optimal. Selain itu, penelitian oleh Zhou et al. (2021) menyatakan bahwa pada material aluminium paduan, proses Flash Butt Welding dapat menghasilkan zona transisi yang kompleks akibat konduktivitas termal aluminium yang tinggi, sehingga kontrol parameter menjadi sangat penting. Walaupun banyak penelitian telah dilakukan pada baja karbon, penelitian khusus mengenai pengaruh waktu flashing pada pengelasan aluminium dengan metode *Flash Butt Welding* masih relatif terbatas. Padahal, aluminium memiliki karakteristik unik, seperti lapisan oksida yang cepat terbentuk dan titik leleh yang relatif rendah [5].

Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk mengisi celah pengetahuan tersebut, khususnya dalam konteks pengelasan aluminium paduan seri AA6061 yang banyak digunakan pada struktur otomotif dan kerangka ringan [6]. Dalam penelitian ini, akan dikaji pengaruh variasi waktu flashing terhadap karakteristik kekuatan tarik hasil sambungan *Flash Butt Welding* pada material aluminium. Pengujian akan dilakukan secara eksperimen dengan memvariasikan durasi flashing dan sudut kemiringan serta mengevaluasi hasilnya melalui uji tarik. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi acuan dalam penentuan parameter optimal untuk pengelasan aluminium menggunakan metode ini [7]. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan pemahaman teoritis mengenai hubungan antara waktu flashing dan kualitas sambungan, tetapi juga memberikan kontribusi praktis dalam proses manufaktur berbasis aluminium, terutama di sektor industri yang menuntut efisiensi, kekuatan struktural, dan kualitas pengelasan yang tinggi [8].

II. METODE

Penelitian ini akan dilakukan dengan tahapan eksperimen untuk mengetahui kekuatan dan kualitas sambungan pengelasan *Flash Butt Welding* (FBW). Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dengan pemilihan material aluminium 6061-T6 dengan bentuk batang bundar atau as yang cocok untuk pengelasan menggunakan teknik *Flash Butt Welding* (FBW) [9]. Parameter proses yang signifikan seperti sudut kemiringan dan waktu penekanan dipelajari dengan seksama dalam variasi yang terkontrol. Setelah pengelasan selesai, dilakukan proses pembentukan menjadi bentuk spesimen uji Tarik dengan mesin bubut konvensional. Kemudian dilakukan pengujian kekuatan pengujian tarik, data yang dihasilkan kemudian dianalisis statistik untuk mengidentifikasi hubungan parameter proses pengelasan *Flash Butt Welding* (FBW) dengan karakteristik mekanis sambungan pengelasan aluminium 6061-T6 [10]. Metode ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang mendalam tentang optimalisasi proses pengelasan *Flash Butt Welding* (FBW) untuk meningkatkan kualitas sambungan aluminium dalam berbagai aplikasi industri. Langkah-langkah secara detail proses penelitiannya adalah sebagai berikut:

A. Diagram Alir Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam proses penyusunan penelitian ini digambarkan secara sistematis dalam diagram alir (*flowchart*). Berikut merupakan diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan sebagai tahap awal dan juga sebagai landasan materi dengan mempelajari beberapa referensi dari jurnal, artikel, buku, tugas akhir yang berkaitan, pengamatan secara langsung di lapangan, juga dari media internet, dan diskusi dengan dosen pembimbing yang ada kaitannya dengan besar perencanaan tinjauan parameter pengelasan *Flash Butt Welding* (FBW) terhadap hasil pengujian kekuatan tarik [11].

C. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan yang perlu dilakukan untuk melakukan pengelasan *Flash Butt Welding* (FBW) juga pengujian kekuatan tarik spesimen yaitu sebagai berikut.

1. Aluminium AA 6061-T6

Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu Aluminium AA6061-T6 dimana aluminium seri 6061 yang memiliki kekuatan dan ketahanan korosi yang cukup baik. Plat Aluminium lembaran dibentuk menjadi spesimen berbentuk batang atau as dengan ukuran diameter 8 mm dan panjang 100 mm.

2. Mesin *Flash Butt Welding* (FBW)

Mesin *flash butt welding* (FBW) adalah jenis mesin las yang digunakan untuk menyambung dua batang logam (biasanya dalam bentuk batang, pipa, atau rel) secara ujung ke ujung (*butt*) menggunakan panas dari percikan listrik (*flash*) dan tekanan. Proses ini termasuk ke dalam kategori pengelasan resistansi (*resistance welding*) [12]. komponen dan fungsi utama alat *flash butt welding* antara lain :

- Power supply (sumber daya listrik)
- Elektroda penjepit (*clamps*)
- Sistem penggerak (ram atau *hydraulic cylinder*)
- Kontrol waktu dan arus
- Sistem pendingin (*cooling system*)



Gambar 2. Mesin *Flash Butt Welding* (FBW)

3. Mesin Bubut Konvensional

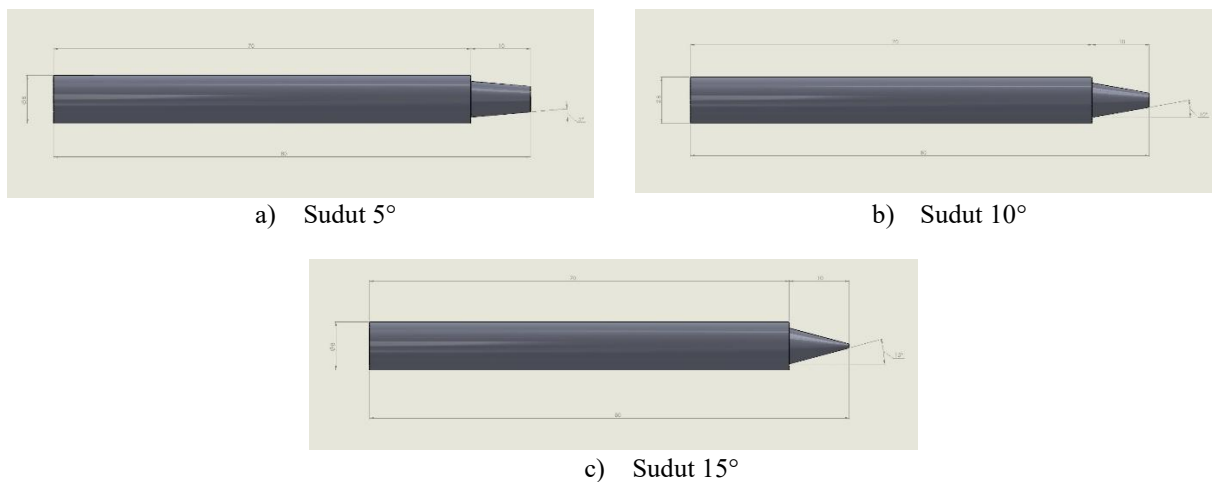
Mesin bubut (lathe) adalah mesin perkakas yang digunakan untuk membentuk benda kerja dengan cara memutarnya pada sumbu sambil mata potong (pahat bubut) menyayat material, menghasilkan benda berbentuk silinder, poros, ulir, atau bentuk presisi lainnya [13]. Pada penelitian ini mesin bubut digunakan untuk membuat sudut pengelasan dan membuat specimen pengujian tarik.

4. Alat Uji Kekuatan Tarik

Uji tarik pengelasan adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dan letak putusnya sambungan las. Uji tarik merupakan salah satu pengujian yang paling sering dilakukan untuk mengetahui sifat suatu material [14]. Prinsip kerja uji tarik adalah memberikan beban pada spesimen secara bertahap hingga terjadi kegagalan atau kerusakan. Selama pengujian, dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan-regangan [15].

D. Desain Eksperimen Pengelasan *Flash Butt Welding* (FBW)

Pada penelitian ini pengelasan dilakukan dalam keadaan solid. Batang aluminium AA6061-T6 akan dilakukan proses pengelasan *flash butt welding* (FBW) dengan beberapa parameter yang akan menjadi acuan variasi yaitu variasi kuat arus pengelasan dan variasi pendinginan setelah pengelasan.



Gambar 3. Dimensi Sudut Spesimen Pengelasan *Flash Butt Welding* (FBW)

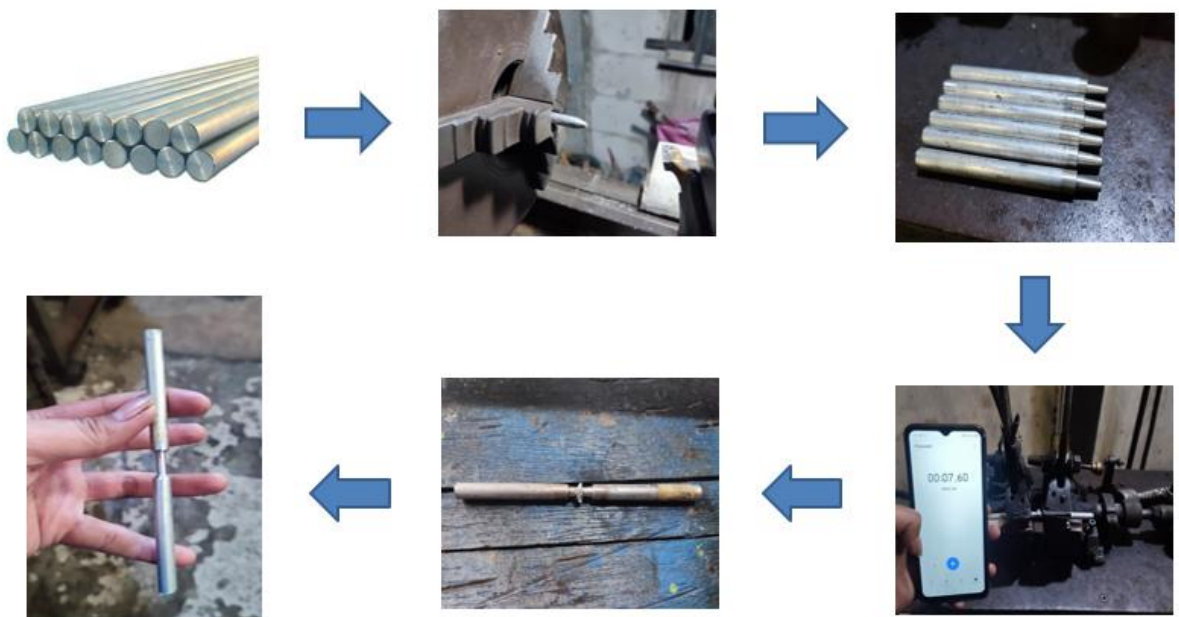
Tabel 1. Parameter Proses pengelasan *flash butt welding* (FBW).

No. spc	Waktu Penekanan (s)	Sudut Kemiringan (°)	Uji Kekuatan Tarik
1.	3	5	-
2.	5	5	-
3.	7	5	-
4.	3	10	-
5.	5	10	-
6.	7	10	-
7.	3	15	-
8.	5	15	-
9.	7	15	-

E. Langkah - Langkah Pengelasan *Flash Butt Welding* (FBW)

Pada penelitian ini proses Pengelasan *flash butt welding* (FBW) dilakukan sebanyak 9 kali dengan perbedaan parameter yang telah ditentukan. Berikut adalah langkah –langkah proses Pengelasan *flash butt welding* (FBW) :

1. Persiapan Material
Pastikan kedua ujung benda kerja bersih dari karat, oli, dan kotoran. Ujung benda kerja dibuat rata dan sejajar agar kontak listrik merata.
2. Penjepitan Benda Kerja
Kedua benda kerja dijepit kuat pada clamping jaw mesin flash butt welding. Posisi harus lurus (segaris) untuk mencegah cacat sambungan.
3. Proses Flashing
Kedua ujung benda kerja didekatkan perlahan. Terjadi loncatan bunga api (flash) akibat hambatan listrik. Panas dari flash melelehkan dan memanaskan ujung material hingga plastis.
4. Pemanasan Merata
Proses flashing berlanjut hingga suhu ujung material cukup tinggi dan merata. Kotoran dan oksida ikut terbakar dan terbuang.
5. Proses Upsetting (Penekanan)
Setelah suhu tercapai, arus dihentikan. Kedua benda kerja ditekan kuat secara tiba-tiba hingga menyatu. Logam cair dan kotoran terdorong keluar membentuk flash di sekitar sambungan.
6. Pendinginan
Sambungan dibiarkan mendingin secara alami atau dengan kontrol tertentu sesuai standar.
7. Pembersihan
Hasil Las Sisa logam berlebih (flash) dipotong atau digerinda. Permukaan sambungan dirapikan.
8. Pemeriksaan
Kualitas Dilakukan pemeriksaan visual, uji dimensi, atau uji mekanik (jika diperlukan). Pastikan tidak ada retak, porositas, atau cacat sambungan.



Gambar 4. Proses Pengelasan *Flash Butt Welding* (FBW)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Kekuatan Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dan letak putusnya sambungan las . Uji tarik merupakan salah satu pengujian yang paling sering dilakukan untuk mengetahui sifat suatu material menggunakan standar ASTM E8. Prinsip kerja uji tarik adalah memberikan beban pada spesimen secara bertahap hingga terjadi kegagalan atau kerusakan. Pengujian tarik dilakukan di Labulatorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Berikut merupakan hasil pengujian kekuatann tarik.



Gambar 5. Spesimen Pengujian Tarik

Pada **Gambar 5.** Menunjukkan proses pengujian tarik spesimen pengelasan *flash butt welding* (FBW) dimana kedua sisi spesimen dicapit dan diberi beban tarik sampai patah yang seragam kearah vertikal. Dari hasil pengujian tarik yang didapat dilakukan pengolahan data untuk mengetahui regangan, tegangan, modulus elastisitas yang dapat dilihat pada **Tabel 2.**

Tabel 2. Data Uji Tarik

No. Spc	Sudut Kemiringan (°)	Waktu Penekanan (s)	Tegangan (Kgf/mm ²)	Regangan	Modulus Elastisitas (Kgf/mm ²)
1.	5°	03.55	2,345	0,065	36,07
2.	5°	05.62	4,846	0,059	82,13
3.	5°	07.95	3,5	0,165	21,21
4.	10°	03.65	3,04	0,019	160
5.	10°	05.70	1,791	0,017	105,35
6.	10°	07.6	2,96	0,016	185
7.	15°	03.48	3,338	0,022	151,72
8.	15°	05.75	2,945	0,035	84,14
9.	15°	07.70	2,764	0,214	12,91

Nilai Tegangan, Regangan dan Modulus Elastisitas dapat dicari dengan persamaan berikut :

1. Tegangan (*Stress*)

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

σ : Tegangan (Kgf/mm²)

F : Gaya (Kgf)

A : Luas Penampang (mm²)

2. Regangan (*Strain*)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

ε : Regangan

F : Perubahan Panjang (mm)

L : Panjang Penampang (mm²)

3. Modulus Elastisitas (*Modulus young*)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

E : Modulus Elastisitas (Kgf/mm²)

σ : Tegangan (Kgf/mm²)

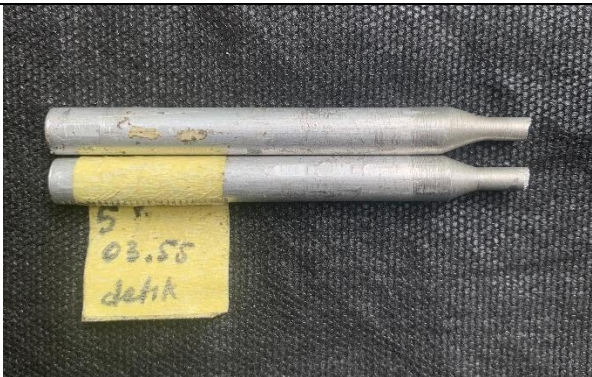
ε : Regangan

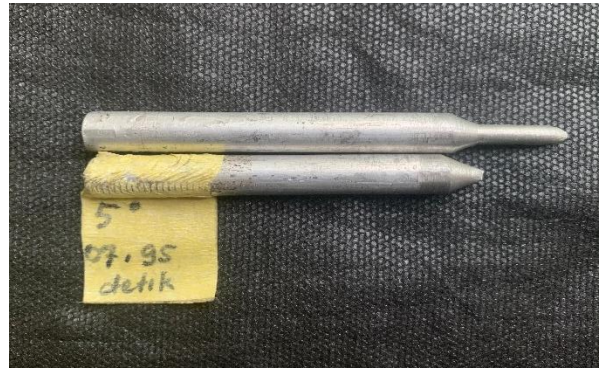
Pada **Tabel 2.** Menunjukkan bahwa sudut kemiringan dan waktu penekanan pada proses pengelasan sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik spesimen pengelasan *flash butt welding* (FBW). Hasil pengujian tarik dari 9 spesimen didapatkan nilai tegangan tertinggi 4,846 Kgf/mm² pada spesimen 2 dengan sudut kemiringan 5° waktu penekanan 05.62 s dan nilai tegangan terendah 1,791 Kgf/mm² pada spesimen 5 dengan sudut kemiringan 10° waktu penekanan 05.70 s. Nilai regangan tertinggi 0,214 pada spesimen 9 dengan sudut kemiringan 15° waktu penekanan 07.70 s dan nilai regangan terendah 0,016 pada spesimen 6 dengan sudut kemiringan 10° waktu penekanan 07.60 s. Nilai modulus elastisitas tertinggi 185 Kgf/mm² pada spesimen 6 dengan sudut kemiringan 10° waktu penekanan 07.60 s dan nilai modulus elastisitas terendah 12,91 Kgf/mm² pada spesimen 9 dengan sudut kemiringan 15° waktu penekanan 07.70 s.

Tabel 3. Titik Patahan Spesimen Uji Tarik

No. Spc	Sudut Kemiringan (°)	Waktu Penekanan (s)	Titik Patahan (mm)
1.	5°	03.55	7 mm ke kiri dari titik tengah spesimen
2.	5°	05.62	3,5 mm ke kanan dari titik tengah spesimen
3.	5°	07.95	5,5 mm ke kiri dari titik tengah spesimen
4.	10°	03.65	0 mm dari titik tengah spesimen
5.	10°	05.70	2 mm ke kanan dari titik tengah spesimen
6.	10°	07.6	6 mm ke kiri dari titik tengah spesimen
7.	15°	03.48	2 mm ke kanan dari titik tengah spesimen
8.	15°	05.75	7.5 ke kanan dari titik tengah spesimen
9.	15°	07.70	6,5 ke kanan dari titik tengah spesimen

Tabel 4. Foto Patahan Spesimen Uji Tarik

Spesimen Sebelum di Uji Tarik	Spesimen Sesudah di Uji Tarik
	
	





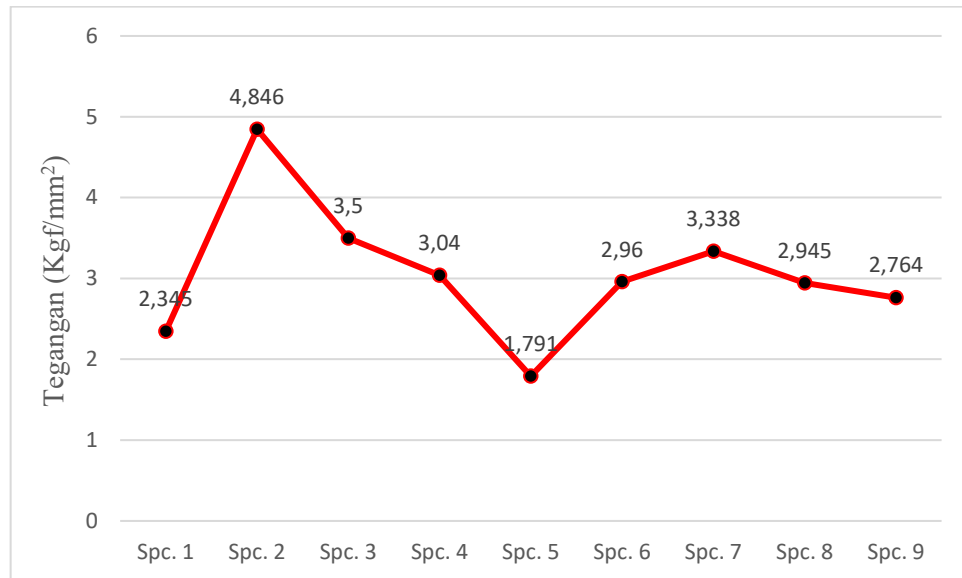
Berdasarkan **Tabel 3.** dan **Tabel 4.** Menunjukkan bahwa sudut kemiringan dan waktu penekanan pada proses pengelasan sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik spesimen pengelasan *flash butt welding* (FBW). Hasil titik patahan spesimen uji tarik yaitu pada spesimen 1 sudut kemiringan 5° dengan waktu penekanan 03.55 sekon titik patahannya 7 mm ke kiri dari titik tengah spesimen, lalu pada spesimen 2 sudut kemiringan 5° dengan waktu penekanan 05.62 sekon titik patahannya 3,5 mm ke kanan dari titik tengah spesimen, pada spesimen 3 sudut kemiringan 5° dengan waktu penekanan 07.95 sekon titik patahannya 5,5 mm ke kiri dari titik tengah spesimen, pada spesimen 4 sudut kemiringan 10° dengan waktu penekanan 03.65 sekon titik patahannya 0 mm dari titik tengah spesimen, pada spesimen 5 sudut kemiringan 10° dengan waktu penekanan 05.70 sekon titik patahannya 2 mm ke kanan dari titik tengah spesimen, pada spesimen 6 sudut kemiringan 10° dengan waktu penekanan 07.60 sekon titik patahannya 6 mm ke kiri dari titik tengah spesimen, pada spesimen 7 sudut kemiringan 15° dengan waktu penekanan 03.48 sekon titik patahannya 2 mm ke kanan dari titik tengah spesimen, pada spesimen 8 sudut kemiringan 15° dengan waktu penekanan 05.75 sekon titik patahannya 7,5 mm ke kanan dari titik tengah spesimen. pada spesimen 9 sudut kemiringan 15° dengan waktu penekanan 07.70 sekon titik patahannya 6.5 mm ke kanan dari titik tengah spesimen.

Pada pengelasan *flash butt welding*, sudut kemiringan yang kecil menghasilkan distribusi panas dan tekanan yang lebih merata sehingga meningkatkan kekuatan tarik sambungan. Lama waktu penekanan yang optimum memungkinkan terbuangnya oksida dan terjadinya ikatan metalurgi yang baik. Sudut kemiringan besar serta waktu penekanan yang terlalu singkat atau terlalu lama menyebabkan penurunan kekuatan tarik akibat ikatan tidak sempurna dan perubahan mikrostruktur yang merugikan.

B. Analisa dan Pembahasan Hasil Uji Kekuatan Tarik

Untuk memudahkan pemahaman pada data dari hasil uji tarik yaitu dengan menampilkan grafik tegangan, regangan dan modulus elastisitas kemudian. dilakukan proses analisa pada hasil pengelasan *flash butt welding* (FBW). Tujuan analisa ini guna visualisasi yang lebih baik dan lebih mudah dimengerti.

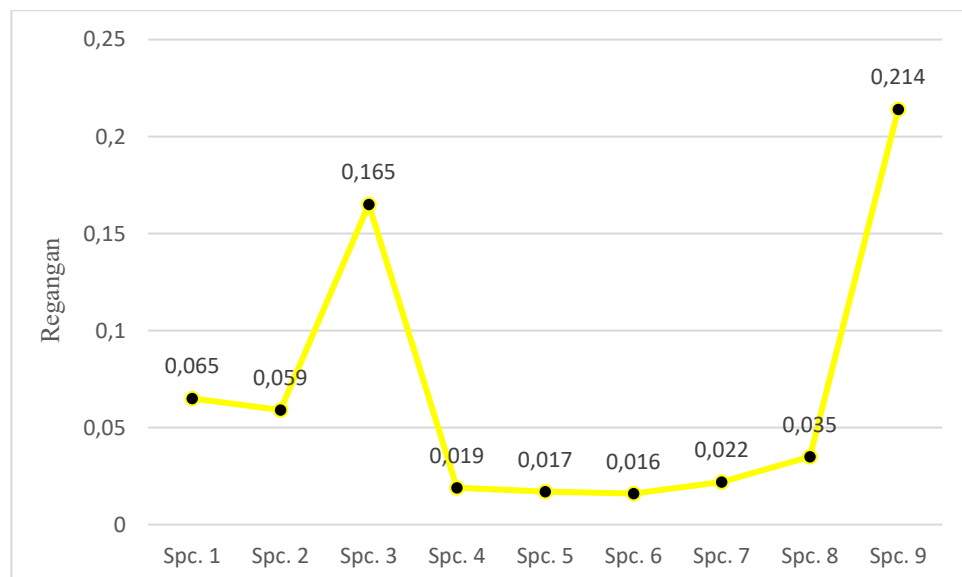
1. Tegangan



Gambar 6. Grafik Nilai Tegangan Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Berdasarkan **Gambar 6.** Grafik nilai tegangan hasil pengujian kekuatan tarik didapatkan nilai tegangan tertinggi 4,846 Kg/mm² pada spesimen 2 dengan sudut kemiringan 5° waktu penekanan 05.62 s dan nilai tegangan terendah 1,791 Kg/mm² pada spesimen 5 dengan sudut kemiringan 10° waktu penekanan 05.70 s.

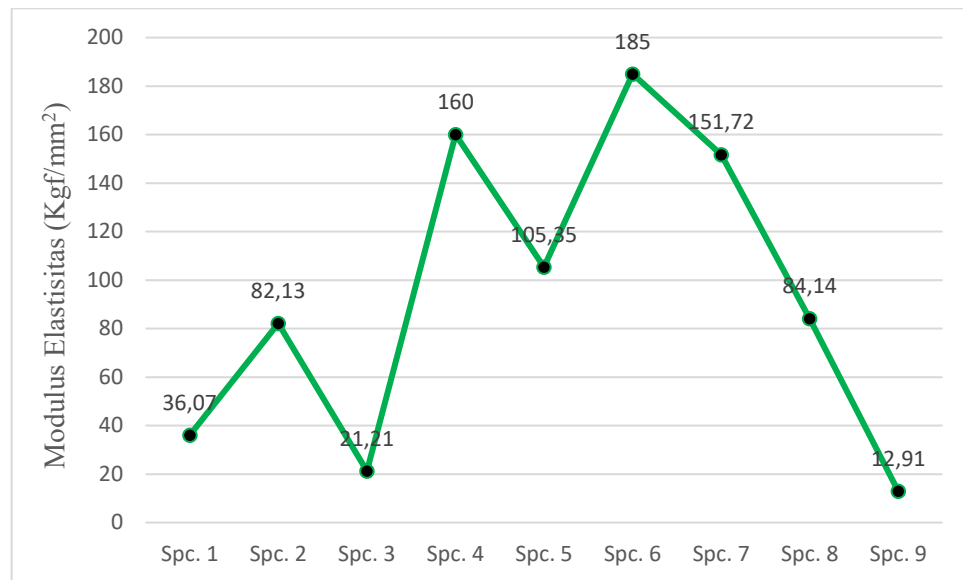
2. Regangan



Gambar 7. Grafik Nilai Regangan Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Berdasarkan **Gambar 7.** Grafik nilai regangan hasil pengujian kekuatan tarik didapatkan nilai regangan tertinggi 0,214 pada spesimen 9 dengan sudut kemiringan 15° waktu penekanan 07.70 s dan nilai regangan terendah 0,016 pada spesimen 6 dengan sudut kemiringan 10° waktu penekanan 07.60 s.

3. Modulus Elastisitas



Gambar 8. Grafik Nilai Modulus Elastisitas Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Berdasarkan **Gambar 8.** Grafik nilai regangan hasil pengujian kekuatan tarik didapatkan nilai modulus elastisitas tertinggi 185 Kg/mm² pada spesimen 6 dengan sudut kemiringan 10° waktu penekanan 07.60 s dan nilai modulus elastisitas terendah 12,91 Kg/mm² pada spesimen 9 dengan sudut kemiringan 15° waktu penekanan 07.70 s.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dari “Studi Eksperimen Flash Butt Welding Dengan Variasi Waktu Flashing Dan Sudut Kemiringan Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan” dapat disimpulkan :

- Hasil pengujian tarik dari 9 spesimen didapatkan nilai tegangan tertinggi 4,846 Kg/mm² pada spesimen 2 dengan sudut kemiringan 5° waktu penekanan 05.62 s dan nilai tegangan terendah 1,791 Kg/mm² pada spesimen 5 dengan sudut kemiringan 10° waktu penekanan 05.70 s. Nilai regangan tertinggi 0,214 pada spesimen 9 dengan sudut kemiringan 15° waktu penekanan 07.70 s dan nilai regangan terendah 0,016 pada spesimen 6 dengan sudut kemiringan 10° waktu penekanan 07.60 s. Nilai modulus elastisitas tertinggi 185 Kg/mm² pada spesimen 6 dengan sudut kemiringan 10° waktu penekanan 07.60 s dan nilai modulus elastisitas terendah 12,91 Kg/mm² pada spesimen 9 dengan sudut kemiringan 15° waktu penekanan 07.70 s.
- Hasil titik patahan spesimen uji tarik yaitu pada spesimen 1 sudut kemiringan 5° dengan waktu penekanan 03.55 sekon titik patahannya 7 mm ke kiri dari titik tengah spesimen, lalu pada spesimen 2 sudut kemiringan 5° dengan waktu penekanan 05.62 sekon titik patahannya 3,5 mm ke kanan dari titik tengah spesimen, pada spesimen 3 sudut kemiringan 5° dengan waktu penekanan 07.95 sekon titik patahannya 5,5 mm ke kiri dari titik tengah spesimen, pada spesimen 4 sudut kemiringan 10° dengan waktu penekanan 03.65 sekon titik patahannya 0 mm dari titik tengah spesimen, pada spesimen 5 sudut kemiringan 10° dengan waktu penekanan 05.70 sekon titik patahannya 2 mm ke kanan dari titik tengah spesimen, pada spesimen 6 sudut kemiringan 10° dengan waktu penekanan 07.60 sekon titik patahannya 6 mm ke kiri dari titik tengah spesimen, pada spesimen 7 sudut kemiringan 15° dengan waktu penekanan 03.48 sekon titik patahannya 2 mm ke kanan dari titik tengah spesimen, pada spesimen 8 sudut kemiringan 15° dengan waktu penekanan 05.75 sekon titik patahannya 7,5 mm ke kanan dari titik tengah spesimen. pada spesimen 9 sudut kemiringan 15° dengan waktu penekanan 07.70 sekon titik patahannya 6.5 mm ke kanan dari titik tengah spesimen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada Progam Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat serta rekan aslab, himpunan mahasiswa dan teman-teman yang telah membantu untuk menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A. Sujatno and R. S., “Studi scanning electron microscopy (SEM) untuk karakterisasi proses oksidasi pada zirkonium,” *Jurnal*, vol. 9, no. 2, 2020.
- [2] A. Nuhafid and S. J., “Analisa pengaruh perbedaan feed rate terhadap kekuatan tarik dan dampak aluminium 6061 metode pengelasan friction stir welding,” *Jurnal*, vol. 5, no. 2, 2019.
- [3] T. Aprianto, “SISTEMIK (Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik),” 2022.
- [4] I. Rani and M. R., “A study of process parameters of friction stir welded AA 6061 aluminum alloy in O and T6 conditions,” *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 6, no. 2, pp. 61–66, 2021.
- [5] M. Khusaini and F. Y., “Pengaruh kuat arus terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro pada pengelasan MIG (Metal Inert Gas) aluminium,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 25–29, 2021.
- [6] R. A. Y. Faruq and S. J., “Analisa pengaruh perbedaan diameter pin tool terhadap kekuatan tarik, dampak, dan mikrofotografi pada aluminium 6061 dengan metode pengelasan friction stir welding (FSW),” *Jurnal*, vol. 7, no. 1, 2019.
- [7] R. T. Wicaksono and S. A., “Pengaruh kuat arus pada pengelasan paduan aluminium 6061 dengan menggunakan metode las TIG terhadap kekerasan dan struktur mikro,” *Jurnal*, vol. 1, no. 1, pp. 29–36, 2019.
- [8] A. A. Santoso, “Proses penghubung pada velg/rim welding dengan metode pencekaman hidrolik,” *Jurnal*, vol. 9, no. 14, pp. 143–159, 2023.
- [9] D. Setyawan, “Seni etsa logam karya Rocka Radipa,” *Jurnal*, vol. 2, no. 1, pp. 80–90, 2020.
- [10] I. S. Sunardi, “Pengaruh reduksi canai terhadap sifat mekanis baja karbon rendah dengan sambungan flash butt welding,” *Jurnal*, vol. 5, no. 2, 2019.
- [11] Soleh, M. Z. A., & Mulyadi, M. Design and Build JIG Design on Friction Stir Welding Using Fillet Connection on AA6061-T6 Material. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 14, 10-21070. 2021.
- [12] Wardana, A. I., & Mulyadi, M. Analysis of Underwater Friction Stir Welding (UFSW) Process Joint on AA6005-T6 Series Aluminium Alloy on Tensile Strength and Macro Structure: Analisa Sambungan Proses Underwater Friction Stir Welding (UFSW) pada Paduan Aluminium Seri AA6005-T6 terhadap Kuat Tarik dan Struktur Makro. 2023.
- [13] Mulyadi, R. Firdaus, and R. S. Untari, “Optimization of Friction Stir Welding Parameters for AA6061-T651 Aluminum Alloy: Defect Analysis and Process Improvement,” *Acad. Open*, vol. 8, no. 1, pp. 1–13, doi: 10.21070/acopen.8.2023.6665. 2023.
- [14] R. Ramadan, Analisa kekuatan dampak dan struktur mikro pengelasan logam berbeda ASTM A36 dan AISI 316 L setelah PWHT, *M.S. thesis*, Universitas Hasanuddin, 2023.
- [15] Subkhan, M. F., & Mulyadi, M. Confirmation Experiment of Friction Stir Welding Process on Aluminum Alloy Aa-6061-T6561 on Tensile Strength and Weld Penetration: Eksperimen Konfirmasi Proses Friction Stir Welding pada Material Aluminium Alloy Aa-6061-T6561 Terhadap Kekuatan Tarik dan Penetrasi Las. 2023.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.