UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH
SIDOARJO

UMSIDA
DARI SINI PENCERAHAN BERSEMI

Studi Kekuatan Tarik dan SEM Sambungan Friction Stir Spot Welding Alumunium dengan 3D Printing PLA

Riki Tri Andriansyah
211020200066
Ir. Iswanto, S.T., M.MT., IPM., Asean Eng.

TEKNIK MESIN
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO
2026

PENDAHULUAN

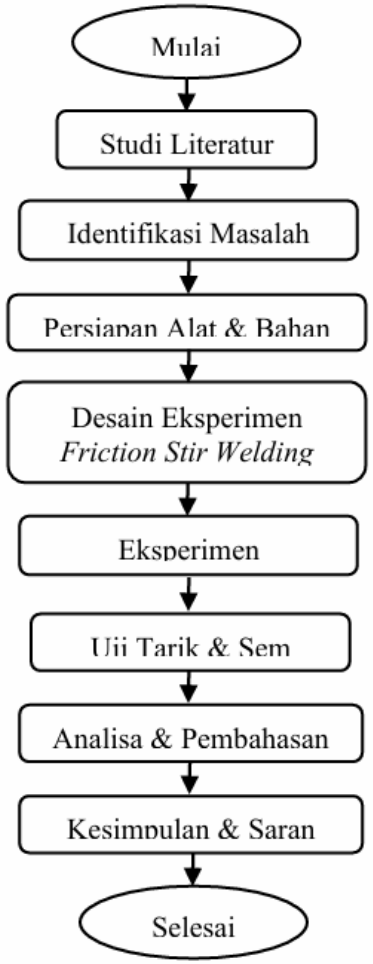
Material logam yang banyak digunakan adalah Aluminium Alloy 6061, Paduan ini memiliki karakteristik unggul seperti densitas rendah, kekuatan tarik tinggi, ketahanan terhadap korosi, serta kemampuan machinability yang baik, sehingga menjadikannya pilihan utama pada aplikasi struktural. Sementara itu, polimer juga semakin populer digunakan, terutama Polylactic Acid (PLA), karena memiliki sifat ramah lingkungan, biodegradabel, dan mudah diproses. Kombinasi antara aluminium dan polimer berpotensi menghasilkan material hibrida dengan rasio kekuatan terhadap berat yang lebih tinggi dibanding penggunaan logam murni, serta dapat mengurangi bobot komponen secara signifikan.

FSSW adalah proses penyambungan solid-state yang bekerja dengan prinsip gesekan mekanis dari tool yang berputar dan menekan dua material yang akan disambungkan. Keunggulan FSSW adalah prosesnya tidak melelehkan material sepenuhnya, melainkan menghasilkan ikatan melalui deformasi plastis dan difusi antarmuka, sehingga dapat digunakan pada kombinasi logam polimer.

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa parameter FSSW seperti kecepatan putar (*rotational speed*), waktu penahanan (*dwell time*), dan kedalaman penetrasi (plunge depth) sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dan kualitas sambungan. Variasi kecepatan putar memengaruhi jumlah panas gesek yang dihasilkan, sedangkan dwell time memengaruhi difusi dan kualitas ikatan antarmuka. Apabila parameter terlalu rendah, ikatan tidak terbentuk sempurna, sedangkan bila terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi termal pada polimer

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, pada bulan juni - agustus 2026. Penelitian ini akan dilakukan dengan tahapan eksperimen untuk mengetahui kekuatan dan kualitas sambungan pengelasan Friction Stir Spot Welding (FSSW). Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dengan pembuatan pin tool dengan material baja ASTM A36, kemudian pemilihan material material aluminium 6061 tebal 4 mm dan filament 3d printing dengan material Ad Polypropylene (PP) tebal 5 mm [14]. Parameter proses yang signifikan seperti kecepatan putar (rotational speed), waktu penahanan (dwell time) dan jenis pin tool dipelajari dengan seksama dalam variasi yang terkontrol. Setelah pengelasan selesai, dilakukan proses pengelasan Friction Stir Spot Welding (FSSW) dengan mesin milling universal. Kemudian dilakukan pengujian kekuatan pengujian tarik, dan pengujian SEM data yang dihasilkan kemudian dianalisis statistik untuk mengidentifikasi hubungan parameter proses pengelasan Friction Stir Spot Welding (FSSW) dengan karakteristik mekanis sambungan pengelasan aluminium 6061 dengan filament 3d printing Berikut merupakan gambar diagram alir penelitian.



STUDI LITERATUR

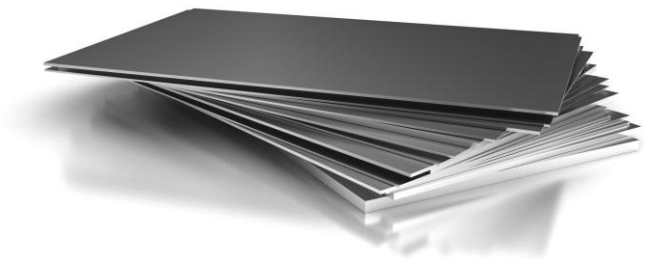
Studi literatur ini di lakukan sebagai tahap awal dan juga sebagai landasan materi dengan mempelajari beberapa refrensi dari jurnal, artikel, buku, tugas akhir yang berkaitan, pengamatan scara langsung di lapangan, juga dari media internet, dan diskusi dengan dosen pembimbing yang ada kaitannya dengan besar perencanaan tinjauan parameter pengelasan Friction Stir Spot Welding (FSSW) Terhadap hasil pengujian kekuatan Tarik dan pengujian SEM.





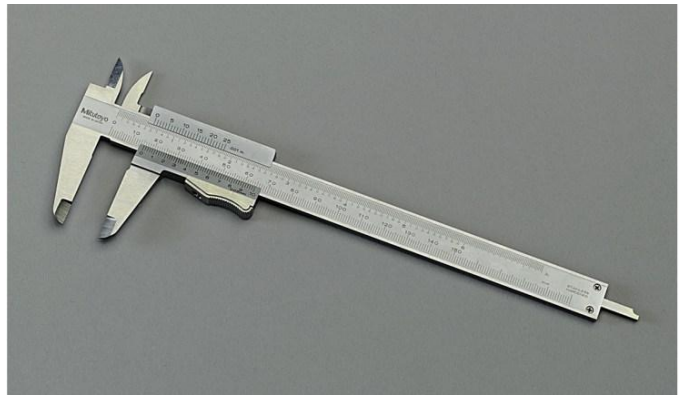


ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

















Rancangan Penelitian (Design of Experiment)

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang dapat diukur, dikontrol, atau dimanipulasi dalam suatu penelitian. Variabel berfungsi sebagai elemen utama dalam penelitian ilmiah karena menentukan hubungan yang diteliti dan hasil yang diperoleh. Variabel dapat berupa sifat, nilai, kategori, atau keadaan tertentu yang diamati dan diukur oleh peneliti. Keberadaan variabel memungkinkan peneliti untuk mengkaji hubungan sebab-akibat atau keterkaitan antar fenomena secara ilmiah.

1. Variabel Bebas
- Kecepatan putar *(rotational speed): 2000, 2500, 3000 rpm*
- Waktu penahanan *(dwell time): 5,10,15 detik*
- Jenis *pin tool: Silinder* dengan kedalaman 6 mm dan 7 mm

2. Variabel Terikat
- Kekuatan tarik *(tensile strength, MPa)*
- Hasil gambar uji SEM

3. Variabel Terikat
- Material: Aluminium Alloy 6061 dan *Polylactic Acid* (PLA) tebal 4 mm
- Tekanan aksial: konstan
- Kondisi lingkungan: suhu ruang

Rancangan Penelitian (Design of Experiment)

Penelitian ini menggunakan metode eksperiment dengan satu kali pengulangan dengan 2 tipe letak material yaitu 3D printing diatas dengan filament dibawah dan 3D printing dibawah dengan filament diatas, sehingga terdapat 18 kombinasi parameter yang diuji masing-masing satu spesimen untuk uji tarik dan satu spesimen untuk uji SEM.

Tabel Parameter Proses pengelasan *Friction Stir Spot Welding* (FSSW) dengan letak material 3D printing diatas dengan filament dibawah.

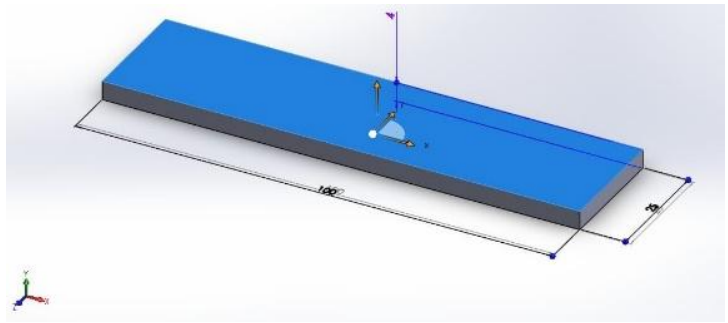
Spc	Kecepatan (rpm)	*Dwell Time* (s)	Kedalaman *Pin Tool*	Uji Tarik	Uji SEM
A1	2000	5	7	-	-
A2	2000	10	7	-	-
A3	2000	15	7	-	-
B1	2500	5	7	-	-
B2	2500	10	7	-	-
B3	2500	15	7	-	-
C1	3000	5	7	-	-
C2	3000	10	7	-	-
C3	3000	15	7	-	-

Tabel Parameter Proses pengelasan *Friction Stir Spot Welding* (FSSW) dengan letak material 3D printing dibawah dengan filament diatas.

Spc	Kecepatan (rpm)	*Dwell Time* (s)	Kedalaman *Pin Tool*	Uji Tarik	Uji SEM
A1	2000	5	6	-	-
A2	2000	10	6	-	-
A3	2000	15	6	-	-
B1	2500	5	6	-	-
B2	2500	10	6	-	-
B3	2500	15	6	-	-
C1	3000	5	6	-	-
C2	3000	10	6	-	-
C3	3000	15	6	-	-

PROSEDUR PENELITIAN

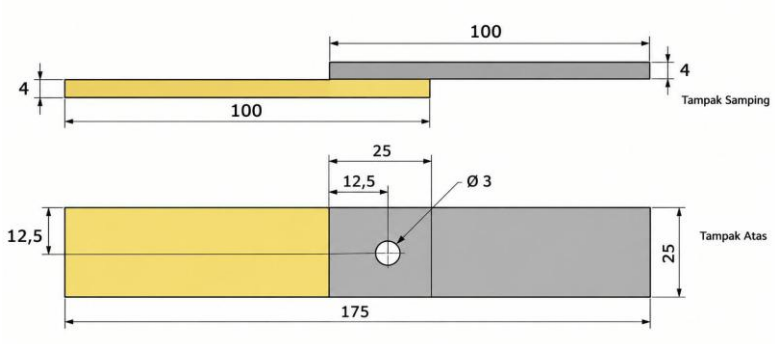
1. Proses Pembuatan Filament dengan Mesin 3D Printing





2. Proses Pengelasan FSSW





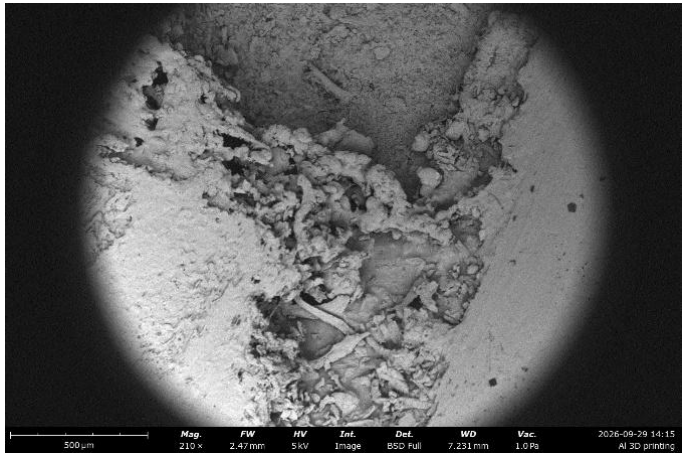


PROSEDUR PENELITIAN

3. Proses Pengujian Tarik (Tensile Test)



4. Proses Pengujian Visual SEM



PENGUJIAN KEKUATAN TARIK (*TENSILE TEST*)

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.



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

Dimana :

σ : Tegangan (Kgf/mm^2)

F : Gaya (Kgf)

A : Luas Penampang (mm^2)

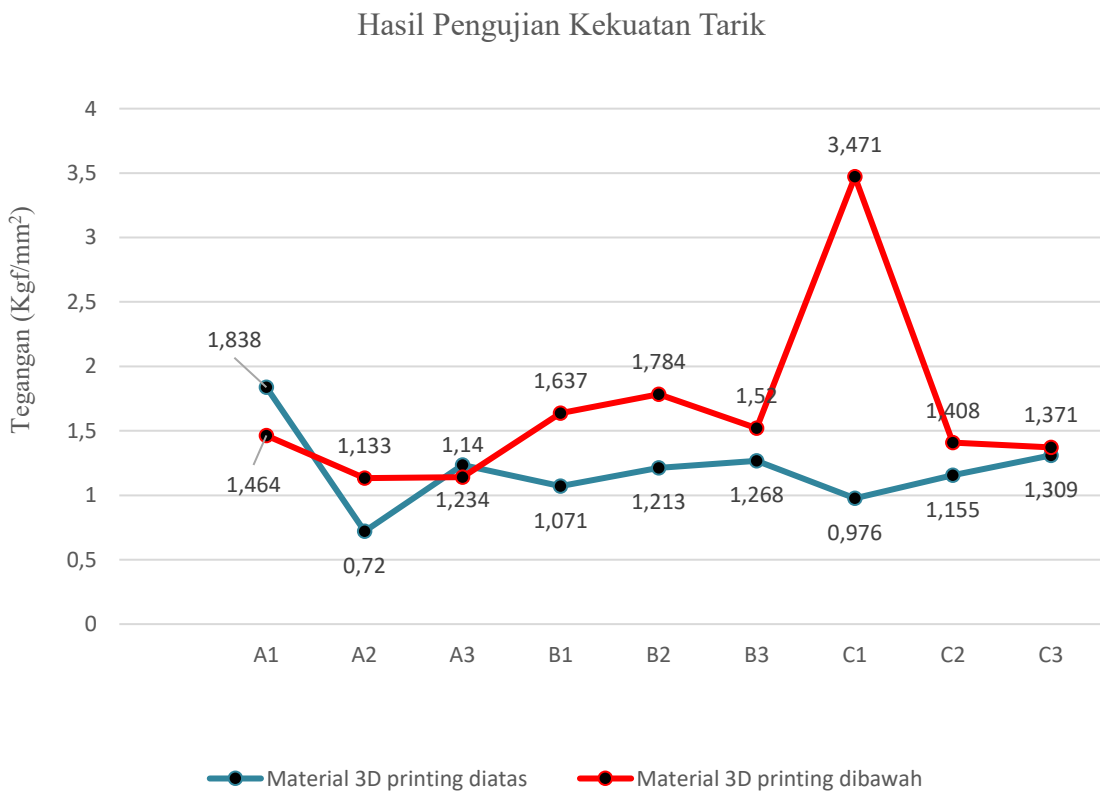
PENGUJIAN KEKUATAN TARIK (*TENSILE TEST*)

Spc	Kecepatan (rpm)	*Dwell Time* (s)	Tegangan (Kgf/mm²) material 3D printing diatas	Tegangan (Kgf/mm²) material 3D printing dibawah
A1	2000	5	1,838	1,464
A2	2000	10	0,720	1,133
A3	2000	15	1,234	1,140
B1	2500	5	1,071	1,637
B2	2500	10	1,213	1,784
B3	2500	15	1,268	1,520
C1	3000	5	0,976	3,471
C2	3000	10	1,155	1,408
C3	3000	15	1,309	1,371

Pada tabel disamping menunjukkan bahwa kecepatan putar, waktu penekanan (*dwell time*) dan kedalaman pin tool pada proses pengelasan sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik spesimen pengelasan *Friction Stir Spot Welding* (FSSW). Pada spesimen dengan material 3D printing diatas hasil nilai tegangan tarik tertinggi 1,838 Kgf/mm^2 dengan table warna merah pada spesimen A1 dengan kecepatan putar 2000 rpm, waktu penekanan 5 sekon dengan kedalaman pin toll 7 mm dan nilai tegangan tarik terendah 0,720 Kgf/mm^2 dengan table warna biru pada spesimen A2 dengan kecepatan putar 2000 rpm, waktu penekanan 10 sekon dengan kedalaman pin toll 7 mm.

Pada spesimen dengan material 3D printing dibawah hasil nilai tegangan tarik tertinggi 3,471 Kgf/mm^2 dengan table warna merah pada spesimen C1 dengan kecepatan putar 3000 rpm, waktu penekanan 5 sekon dengan kedalaman pin toll 6 mm dan nilai tegangan tarik terendah 1,133 Kgf/mm^2 dengan table warna biru pada spesimen A2 dengan kecepatan putar 2000 rpm, waktu penekanan 10 sekon dengan kedalaman pin toll 6 mm.

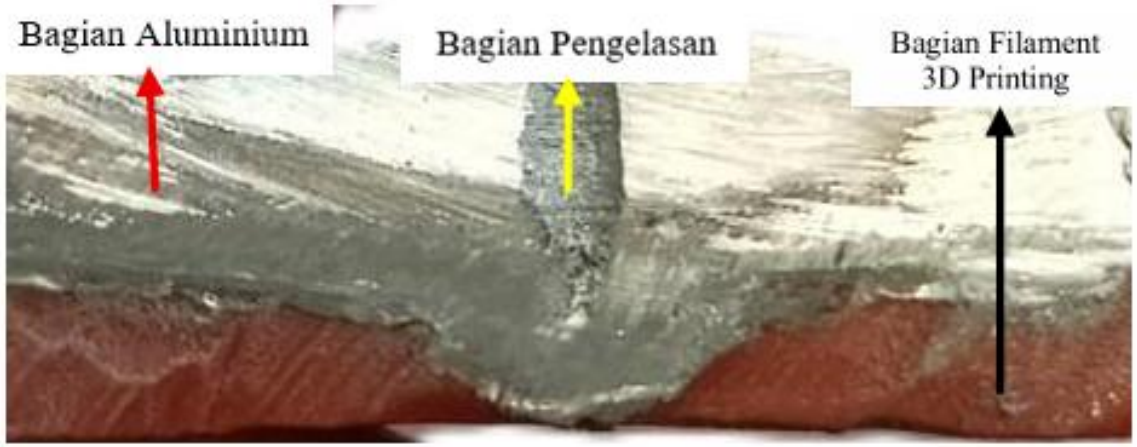
PENGUJIAN KEKUATAN TARIK (*TENSILE TEST*)



Berdasarkan nilai tegangan tarik kecepatan putar tool pada spesimen C1 dengan kecepatan putar 3000 rpm, gesekan antara tool dan material berpotensi menghasilkan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan putar 2000 rpm, Panas tersebut membantu melunakkan material di sekitar sambungan sehingga material dapat mengalami deformasi plastis dan membentuk ikatan yang lebih baik. Waktu penekanan tool juga berpengaruh terhadap proses pembentukan sambungan pada spesimen C1, waktu penekanan selama 5 sekon diduga cukup untuk menghasilkan panas dan deformasi plastis yang memadai pada kondisi parameter yang digunakan. Sebaliknya, pada spesimen A2, waktu penekanan selama 10 sekon menghasilkan kekuatan tarik yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa waktu penekanan yang lebih lama tidak selalu meningkatkan kekuatan sambungan. Penekanan yang terlalu lama dapat menyebabkan masukan panas berlebih. Kedalaman pin tool pada spesimen C1 dengan kedalaman pin 6 mm menghasilkan nilai tegangan tarik tertinggi. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa kedalaman pin yang digunakan berpotensi menghasilkan pembentukan sambungan yang lebih optimal pada kombinasi parameter tersebut. Sebaliknya, kedalaman pin 7 mm pada spesimen A2 menghasilkan nilai tegangan tarik terendah. Kedalaman pin yang lebih besar dapat meningkatkan penetrasi dan pengadukan material, tetapi juga berpotensi menyebabkan penipisan material, pembentukan cacat, atau berkurangnya luas penampang efektif sambungan apabila penetrasi terlalu dalam

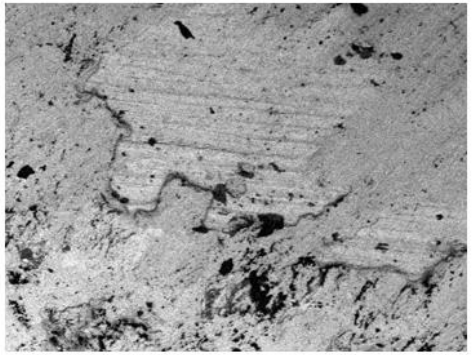
PENGUJIAN SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan salah satu metode karakterisasi material yang digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dan struktur mikro suatu material dengan resolusi tinggi. SEM bekerja dengan memindai permukaan spesimen menggunakan berkas elektron berenergi tinggi, kemudian menangkap sinyal elektron yang dipantulkan untuk menghasilkan citra dengan perbesaran hingga ribuan kali. Pada pengujian SEM ini dilakukan pada spesimen terbaik dengan hasil nilai tegangan tarik tertinggi yaitu spesimen C1 dengan kecepatan putar 3000 rpm, waktu penekanan 5 sekon dengan kedalaman pin toll 6 mm. pengujian SEM ini dilakukan pada 3 titik bagian spesimen yaitu bagian Aluminium

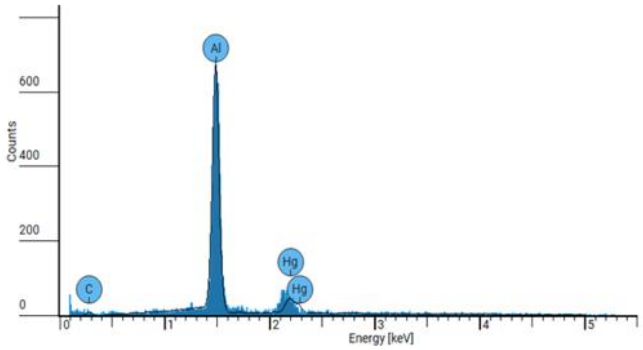


PENGUJIAN SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

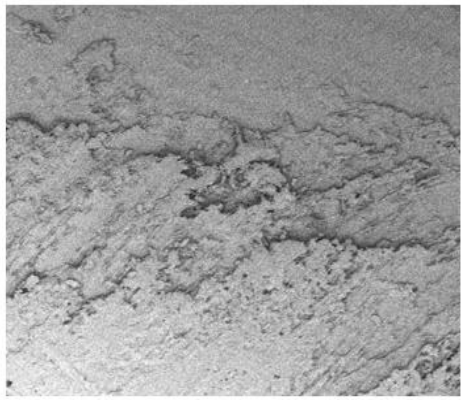
1. Bagian Aluminium



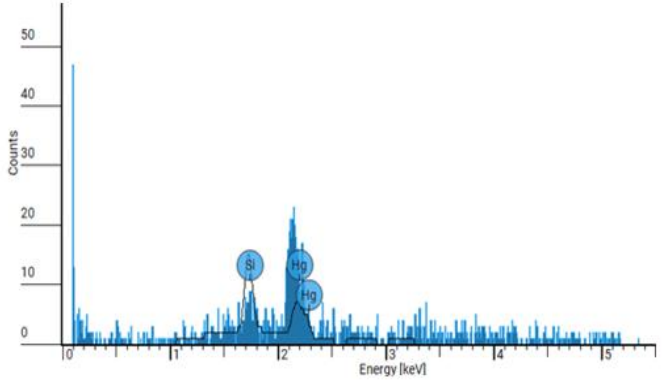
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc. [%]	Weight Conc. [%]
6	C	Carbon	2.30	0.70
13	Al	Aluminum	90.30	61.70
80	Hg	Mercury	7.40	37.60



2. Bagian Filament 3D Printing



Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc. [%]	Weight Conc. [%]
14	Si	Silicon	66.30	21.60
80	Hg	Mercury	33.70	78.40

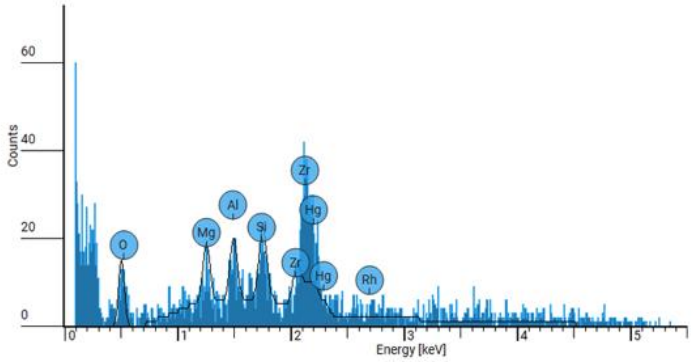


PENGUJIAN SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

3. Bagian Pengelasan Aluminium dengan Filament 3D Printing



Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc. [%]	Weight Conc. [%]
8	O	Oxygen	22.94	7.49
12	Mg	Magnesium	11.07	5.49
13	Al	Aluminum	16.88	9.29
14	Si	Silicon	24.05	13.79
40	Zr	Zirconium	17.06	31.77
45	Rh	Rhodium	0.29	0.60
80	Hg	Mercury	7.71	31.57



KESIMPULAN

1. Hasil pengujian tarik dari 18 spesimen menunjukkan bahwa kombinasi kecepatan putar 3000 rpm, waktu penekanan 5 sekon, dan kedalaman pin 6 mm pada spesimen C1 menghasilkan nilai tegangan tarik tertinggi yaitu 3,431 Kgf/mm2 dalam variasi penelitian yang diuji. Sebaliknya, kombinasi kecepatan putar 2000 rpm, waktu penekanan 10 sekon, dan kedalaman pin 7 mm pada spesimen A2 menghasilkan nilai tegangan tarik terendah yaitu 0,720 Kgf/mm2. Berdasarkan hasil ini mengindikasikan bahwa kekuatan sambungan FSSW dipengaruhi oleh interaksi antara kecepatan putar, waktu penekanan, dan kedalaman pin tool. Oleh karena itu, penentuan parameter optimal perlu mempertimbangkan keseimbangan antara pembentukan panas, deformasi plastis, kedalaman penetrasi, dan kualitas ikatan sambungan.
2. Hasil pengamatan SEM menunjukkan adanya perbedaan morfologi permukaan pada setiap area pengujian. Area 1 pada material aluminium menunjukkan permukaan dengan garis-garis dan area gelap yang tidak beraturan dengan unsur karbon (C), aluminium (Al), dan merkuri (Hg), dengan aluminium sebagai unsur yang memiliki konsentrasi atom tertinggi sebesar 90,30 at.%, sedangkan area 2 pada filamen hasil 3D printing menunjukkan permukaan yang tidak homogen dengan adanya alur memanjang dan area gelap dengan unsur silikon (Si) dan merkuri (Hg), dengan silikon memiliki konsentrasi atom sebesar 66,30 at.%, sedangkan merkuri memiliki konsentrasi berat terbesar sebesar 78,40 %. Pada area 3, yaitu daerah pengelasan aluminium dengan filamen hasil 3D printing, permukaan terlihat relatif lebih kasar dan tidak homogen dengan tekstur yang berbeda antara bagian yang lebih padat dan bagian yang lebih tidak beraturan dengan unsur oksigen (O), magnesium (Mg), aluminium (Al), silikon (Si), zirkonium (Zr), rhodium (Rh), dan merkuri (Hg), yang menunjukkan adanya perubahan dan keragaman komposisi unsur pada daerah hasil pengelasan. Perubahan morfologi tersebut menunjukkan adanya pengaruh proses manufaktur dan siklus termal selama pengelasan terhadap karakteristik permukaan material.


UMSIDA
DARI SINI PENCERAHAN BERSEMI