



Jurnal Artikel

## Analisis Variasi Waktu Tekan Terhadap Sambungan Pengelasan Rotary Friction Welding Menggunakan SEM EDX

Salman Al Farizi<sup>1</sup>, Agus Fikri<sup>2\*</sup>, Mohammad Mujirudin<sup>3</sup>, Arry Avorizano<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof.DR.Hamka

<sup>2</sup>Teknologi Rekayasa Mekanika, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof.DR.Hamka

<sup>3</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof.DR.Hamka

<sup>4</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof.DR.Hamka

\*Corresponding author – Email: [agus\\_fikri@uhamka.ac.id](mailto:agus_fikri@uhamka.ac.id)

Artikel Info - : Received: 24 Oct 2024; Revised: 26 Oct 2024; Accepted: 27 Oct 2024

### Abstrak

*Rotary friction welding* adalah teknik pengelasan yang memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gesekan. Prosesnya melibatkan dua logam yang dipertemukan pada ujung-ujungnya, kemudian kedua permukaan ditekan menggunakan gaya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu tekan terhadap pembentukan senyawa intermetalik antara aluminium dan tembaga. Waktu tekan pada penyambungan aluminium dan tembaga ditetapkan sebesar 60, 120, dan 180 detik. Selanjutnya untuk mengidentifikasi distribusi dan konsentrasi senyawa intermetalik yang terbentuk pada masing-masing waktu tekan tersebut digunakan SEM-EDX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa morfologi dan komposisi zona sambungan sangat dipengaruhi oleh waktu tekan. Tembaga berdifusi ke dalam aluminium pada waktu tekan yang lebih singkat yaitu 60 detik, menciptakan lapisan intermetalik tipis dan rata. Sebaliknya dengan waktu tekan yang lebih lama 120 dan 180 detik, maka konsentrasi tembaga di zona sambungan cenderung turun karena mekanisme *self cleaning* dan redistribusi material, yang menghasilkan lapisan intermetalik yang lebih tebal tetapi dengan distribusi yang tidak merata.

**Kata kunci:** *intermetalik; SEM EDX; aluminium; tembaga; waktu tekan*

### Abstract

Rotary friction welding is a welding technique that utilizes heat generated from friction. The process involves two metals that are brought together at their ends, then both surfaces are pressed using force. The aim of this research is to determine the effect of pressing time on the formation of intermetallic compounds between aluminum and copper. The pressing time for joining aluminum and copper was set at 60, 120, and 180 seconds. Furthermore, SEM-EDX was used to identify the distribution and concentration of intermetallic compounds formed at each pressing time. The results showed that the morphology and composition of the joint zone were greatly influenced by the pressing time. Copper diffused into aluminum at a shorter pressing time of 60 seconds, creating a thin and even intermetallic layer. In contrast, with a longer pressing time of 120 and 180 seconds, the copper concentration in the joint zone tended to decrease due to the self-cleaning mechanism and material redistribution, which resulted in a thicker intermetallic layer but with an uneven distribution.

**Keywords:** *intermetallic; SEM EDX; aluminum; copper; pressing time*



© 2020 by authors. Lisensi Jurnal Metal : Manufaktur, Energi, Material Teknik, Uhamka, Jakarta. Artikel ini bersifat open access yang didistribusikan di bawah syarat dan ketentuan Creative Commons Attribution ([CC-BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)) license.

## Pendahuluan

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah metode penyambungan material yang menggunakan energi panas dari kemunculan antara dua permukaan tanpa memerlukan

material tambahan. Teknik ini menghasilkan sambungan yang kuat dan berkualitas, menjadikannya semakin populer dalam industri karena efisiensi dan kualitas hasilnya (Winardi et al., 2020).

Penelitian ini berfokus pada penerapan teknik *Rotary Friction Welding* (RFW) untuk menyambung dua material

berbeda, yaitu aluminium dan tembaga, yang dikenal memiliki keunggulan konduktivitas termal dan elektrik. Aluminium merupakan bahan ringan yang tahan karat, kuat, dan resisten terhadap korosi, sedangkan tembaga unggul dalam konduktivitas listrik dan termal serta memiliki sifat mekanik yang kuat. Kombinasi kedua material ini dalam proses pengelasan gesek diharapkan menghasilkan sambungan yang kuat, ringan, dan konduktif.

Namun, tantangan utama dalam penyambungan aluminium dan tembaga adalah terbentuknya senyawa intermetalik di area sambungan, yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dan performa sambungan secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengendalian pembentukan senyawa intermetalik selama proses pengelasan sangat penting. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu tekan terhadap pembentukan senyawa intermetalik yang terbentuk.

## Dasar Teori

### Pengelasan Gesek (Friction Welding)

Las gesek, juga dikenal sebagai *friction welding*, adalah teknik pengelasan inovatif yang memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gesekan. Prosesnya melibatkan dua logam yang dipertemukan pada ujung-ujungnya, dengan salah satu logam berputar sementara yang lain tetap diam. Kedua permukaan ini kemudian ditekan bersama dengan gaya tertentu.

Gesekan yang terus-menerus antara kedua permukaan menghasilkan panas yang cukup untuk membawa struktur logam ke titik lelehnya. Peningkatan suhu ini terjadi secara progresif selama proses berlangsung. Akibatnya, material pada titik kontak menjadi plastis, memungkinkan terjadinya ikatan metalurgi antara kedua logam (Supriyanto et al., 2023).

Metode ini unik karena menghasilkan percikan api sebagai efek samping dari gesekan intens, dan penyambungan terjadi tanpa penambahan material lain. Dengan kombinasi rotasi, tekanan, dan panas yang dihasilkan dari gesekan, las gesek mampu menciptakan sambungan yang kuat antara dua logam.

### Rotary Friction Welding

*Rotary friction welding* merupakan salah satu jenis pengelasan gesek yang dikembangkan dari pengelasan *friction stir welding*. Proses *rotary friction welding* melibatkan beberapa tahap kunci. Pertama, salah satu komponen yang akan dilas dipegang stasioner, sementara komponen lainnya diputar pada kecepatan tinggi. Kedua komponen kemudian ditekan bersama dengan gaya aksial yang terkontrol. Gesekan yang dihasilkan dari kontak ini menghasilkan panas yang cukup untuk melunakkan material di zona kontak tanpa mencapai titik leleh.

Setelah mencapai suhu yang optimal, rotasi dihentikan secara mendadak sementara tekanan aksial tetap dipertahankan atau bahkan ditingkatkan. Hal ini menyebabkan material yang telah lunak terdeformasi plastis dan bercampur, membentuk ikatan metalurgi yang kuat. Proses ini menghasilkan sambungan las yang hampir

bebas dari cacat, dengan kekuatan yang sebanding atau bahkan melebihi kekuatan logam induk.

Parameter kunci pada *rotary friction welding* adalah kecepatan rotasi, tekanan aksial, waktu pengelasan, waktu pengereman, dan geometri permukaan kontak. Masing-masing parameter ini memainkan peran penting dalam menentukan kualitas dan kekuatan las yang dihasilkan. Metode pengelasan ini telah diaplikasi secara luas di berbagai sektor industri. Di industri otomotif, digunakan untuk menggabungkan komponen seperti poros penggerak dan batang piston.

Pada industri penerbangan dimanfaatkan untuk komponen mesin jet dan struktur pesawat, sementara industri minyak dan gas menggunakannya untuk pengelasan pipa dan komponen bor. Selain itu, *rotary friction welding* juga diaplikasikan dalam industri manufaktur untuk alat pemotong dan komponen mesin, di industri kereta api untuk pengelasan rel, dan bahkan di industri nuklir untuk komponen reaktor yang memerlukan integritas tinggi. Keunggulan utama metode ini terletak pada kemampuannya untuk menggabungkan material yang berbeda atau sulit dilas dengan metode konvensional, menjadikannya solusi yang sangat berharga dalam berbagai aplikasi teknik modern.

### Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

*Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah teknologi mikroskop elektron canggih yang mampu menyajikan ilustrasi permukaan objek penelitian dengan tingkat ketelitian tinggi. Prinsip kerjanya melibatkan pemanfaatan hamburan balik elektron pada permukaan objek dengan gambar dihasilkan melalui deteksi elektron yang muncul dari permukaan tersebut. SEM memungkinkan pemindaian area yang luas dan pengumpulan data dalam jumlah besar untuk karakterisasi sampel. Kemampuan ini mencakup penghitungan objek, pengumpulan statistik, dan analisis morfologi untuk menentukan distribusi ukuran. sebagai pelengkap SEM, Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) digunakan untuk menganalisis komposisi atom sampel. EDX bekerja dengan melacak dan mengukur karakteristik sinar-X yang dihasilkan oleh interaksi elektron berkecepatan tinggi dengan sampel.

Kombinasi SEM dan EDX sangat berguna dalam analisis material karena memungkinkan dapat dilakukannya studi terpadu topografi dan komposisi elemen melalui mikroskopi elektron dan spektroskopi sinar-X, serta ekspolarasi material secara lebih komprehensif dan terperinci.

Secara umum mikroskop elektron menghasilkan foto detail permukaan benda yang sangat kecil, sedangkan EDX menunjukkan kandungan bahan-bahan yang ada di bagian yang dipindai (Septiano et al., 2021).

### Aluminium 6061

Aluminium 6061 adalah varian paduan aluminium yang didominasi oleh kombinasi aluminium, silikon, dan magnesium (Al-Si-Mg). Salah satu keunggulan utama dari paduan ini adalah kemampuan ekstrusinya yang superior,

disebabkan oleh kandungan *solute* yang relatif rendah dan titik lebur yang cenderung tinggi.

Selanjutnya aluminium 6061 merupakan material serbaguna yang banyak diaplikasikan dalam industri otomotif dan konstruksi. Keunggulannya mencakup ketahanan korosi tinggi, kemampuan untuk diproses dengan perlakuan panas, ketangguhan yang baik, dan sifat las yang unggul (Tsamroh & Riza Fauzy, 2022).

Fleksibilitas dan keandalannya memungkinkan penggunaan luas, mulai dari aplikasi suhu rendah seperti tangki LNG dan bejana tekanan, hingga struktur kompleks seperti komponen pesawat terbang, gerbong kereta api, dan konstruksi kapal pesiar. Keragaman aplikasi ini, ditambah dengan sifat-sifatnya yang menguntungkan, menjadikan Aluminium 6061 pilihan utama di berbagai industri maju untuk perancangan alat dan struktur konstruksi, termasuk peralatan kelautan, rig pengeboran, struktur rangka bangunan, dan bahkan kano. (Widyantoro, 2018).

**Tembaga**

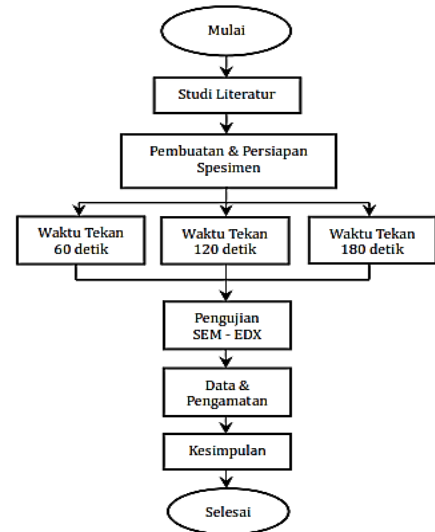
Tembaga, unsur kimia dengan simbol Cu dan nomor atom 29, dikenal sebagai konduktor listrik dan panas yang sangat baik, meskipun rentan terhadap korosi. Penggunaannya tersebar luas, dengan mayoritas (60%) dimanfaatkan untuk kabel listrik, diikuti oleh atap dan perpipaan (20%), serta mesin industri (15%).

Meski umumnya digunakan dalam bentuk murni, tembaga sering dipadukan dengan elemen lain untuk meningkatkan kekerasannya. Selain aplikasi industrial, tembaga juga memiliki peran kecil namun penting dalam suplemen nutrisi dan fungisida pertanian. (Suci, 2021).

Dalam industri kelistrikan, tembaga masih menjadi pilihan utama untuk berbagai jenis kabel, kecuali untuk transmisi tenaga listrik jarak jauh di mana aluminium lebih disukai. Aplikasinya mencakup pembangkit listrik, distribusi tenaga, telekomunikasi, sirkuit elektronik, dan berbagai peralatan listrik lainnya.

Pasar kabel listrik merupakan sektor terpenting bagi industri tembaga, meliputi kabel gedung, telekomunikasi, distribusi tenaga, otomotif, dan kabel magnet. Faktanya, sekitar setengah dari total tembaga yang ditambang digunakan untuk produksi kabel listrik dan konduktor, menegaskan peran vitalnya dalam infrastruktur listrik modern, kawat tembaga karena memiliki konduktivitas listrik tinggi, tahan korosi, ekspansi termal rendah, konduktivitas termal tinggi, dapat disolder, dan mudah dipasang (Rahmawati, 2020).

**Metode**



Gambar 1. Diagram alir penelitian

**Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a) Tembaga (Cu)  
Studi ini menggunakan material jenis tembaga, yang selanjutnya di proses menjadi bentuk ukuran benda kerja dengan ukuran panjang 72 mm dan diameter 12 mm, proses selanjutnya diameter diperkecil dibagian atas dengan mesin bubut menjadi 9 mm dengan panjang 21-22,5 mm sesuai dengan ukuran standar.
- b) Alumunium (Al)  
Studi ini menggunakan material alumunium, yang diproses menjadi bentuk ukuran benda kerja dengan ukuran panjang 70 mm dan diameter 12 mm.

**Alat**

NO	Alat	Fungsi
1	Gergaji Potong	Untuk memotong ukuran material alumunium dan tembaga
2	Mesin Bubut	Digunakan sebagai tools untuk melakukan pembuatan spesimen dan melakukan pengelasan rotary friction welding
3	SEM-EDX	SEM-EDX bisa memotret benda yang sangat kecil dengan sangat jelas, bahkan yang tidak bisa dilihat dengan mata telanjang atau mikroskop biasa

**Prosedur Penelian**

1. Persiapan sampel
  - Pemotongan silinder aluminium dan tembaga dengan ukuran Panjang 72 mm dan diameter 12 mm.
  - Mencuci bagian permukaan spesimen dari kotoran
2. Prosedur pengelasan *rotary friction welding* :
  - Ukuran yang ditetapkan :
    - a) Tekanan : 50 Kg
    - b) Waktu gesek : 60 dt,120 dt , dan 180 dt
    - c) Kecepatan : 1300 RPM
  - Mengatur posisi spesimen aluminium dan tembaga pada mesin friction welding
  - Melakukan pengelasan gesek dengan tempo kecepatan putar yang telah ditentukan yaitu 1300 RPM.
  - Setelah proses pengelasan gesek selesai, spesimen dibiarkan untuk menghilangkan hawa panas

**Pengumpulan Data**

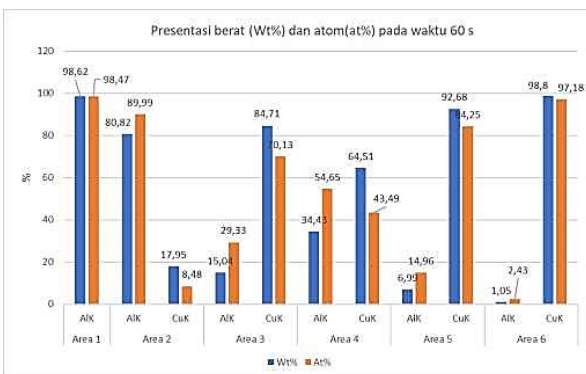
Teknik pengumpulan data pada eksperimen ini menggunakan variabel waktu tekan yaitu 60,120 dan 180 detik. Kemudian RPM 1300, dan tekanan sebesar 50 Kg. Ketika prosedur pengelasan *friction welding* berhasil, langkah selanjutnya adalah spesimen aluminium dan tembaga diuji dengan pengujian SEM-EDX untuk melihat kandungan senyawanya.

**Hasil**

**A. Hasil pengujian SEM-EDX pada waktu 60 detik di area 1-6**

**Tabel 1.** Hasil pengujian SEM-EDX pada 60 detik

Area	Element	Wt%	At%
Area 1	AlK	98.62	98.47
Area 2	AlK	80.82	89.99
	CuK	17.95	08.48
Area 3	AlK	15.04	29.33
	CuK	84.71	70.13
Area 4	AlK	34.43	54.65
	CuK	64.51	43.49
Area 5	AlK	06.99	14.96
	CuK	92.68	84.25
Area 6	AlK	01.05	02.43
	CuK	98.80	97.18



**Gambar 2.** Persen berat dan atom pada 60 detik

Hasil SEM-EDX pada sambungan las gesek aluminium dan tembaga dengan durasi 60 detik menunjukkan terbentuknya zona intermetalik yang penting untuk ditelaah lebih lanjut terkait dampaknya pada integritas mekanis.

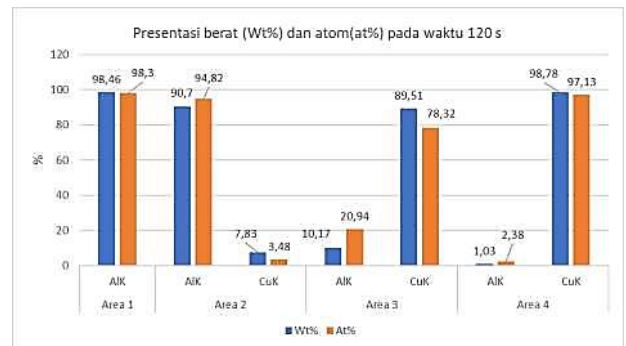
Penyelidikan kimia di 6 area mengungkap variasi komposisi yang signifikan. Di Area 1, aluminium mendominasi dengan massa 98,62%, sementara tembaga tidak terdeteksi. Area 2 menunjukkan penurunan aluminium (80.82%) dan kenaikan drastis tembaga (17.95%). Di Area 3, aluminium 84,71% dan tembaga 15,04%. Area 4 menunjukkan komposisi seimbang, Area 5 didominasi tembaga (93.01%), dan Area 6 hampir seluruhnya tembaga (98.80%)

**B. Hasil pengujian SEM-EDX pada waktu 120 detik di area 1-4**

**Tabel 2.** Hasil pengujian SEM-EDX pada 120 detik

Area	Element	Wt%	At%
Area 1	AlK	98.46	98.30
Area 2	AlK	90.70	94.82
	CuK	07.83	03.48
Area 3	AlK	10.17	20.94
	CuK	89.51	78.32
Area 4	AlK	01.03	02.38
	CuK	98.78	97.13

Hasil SEM-EDX pada sambungan las gesek aluminium dan tembaga dengan durasi 120 detik menunjukkan terbentuknya zona intermetalik. Penyelidikan kimia di 4 area mengungkap variasi komposisi signifikan. Di Area 1, aluminium mendominasi dengan 98.46% massa, sementara tembaga tidak terdeteksi. Area 2 menunjukkan penurunan aluminium (90.70%) dan kenaikan tembaga (7.83%). Area 3 menunjukkan pemerataan dengan aluminium 10.17% dan tembaga 89.51%. Di Area 4, tembaga mendominasi dengan 98.78% massa, sementara aluminium hanya 1.03%.



**Gambar 3.** Persen berat dan atom pada 120 detik

**C. Hasil pengujian SEM-EDX pada waktu 180 detik di area 1-5**

**Tabel 3.** Hasil pengujian SEM-EDX pada 180 detik

Area	Element	Wt%	At%
Area 1	AlK	98.46	98.30
	CuL	02.75	01.19
Area 2	AlK	88.81	93.88
	CuK	09.68	04.35
Area 3	AlK	23.60	41.13
	CuK	74.13	54.87
Area 4	AlK	12.72	25.54
	CuK	87.28	74.46
Area 5	AlK	01.37	03.16
	CuK	98.21	95.87

Gambar 4. Persen berat dan atom pada 180 detik

Hasil SEM-EDX menunjukkan variasi komposisi kimia yang signifikan. Pada awalnya, aluminium mendominasi, namun komposisinya menurun seiring dengan peningkatan tembaga di area berikutnya. Di titik tengah, terjadi keseimbangan antara aluminium dan tembaga. Selanjutnya, tembaga mulai mendominasi, hingga pada area terakhir, tembaga menjadi sebagian besar dengan aluminium hanya dalam jumlah kecil.

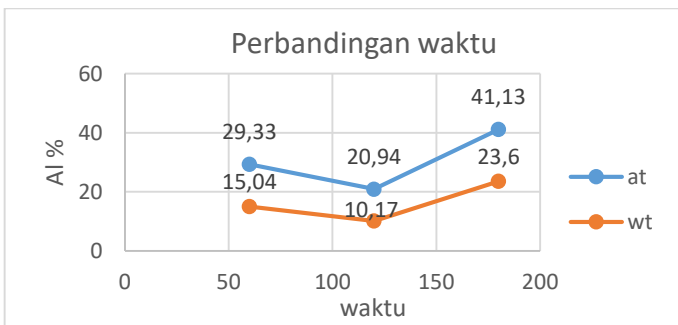
**Pembahasan**

Penelitian ini berfokus pada area 3, yang merupakan zona *friction welding* di mana aluminium dan tembaga berinteraksi. Area ini menjadi pusat perhatian karena tingginya pembentukan senyawa intermetalik akibat pencampuran kedua logam tersebut.

Untuk mencapai tujuan tersebut, dapat dibandingkan efek dari tiga durasi waktu yang berbeda: 60 detik, 120 detik, dan 180 detik. Pemilihan variasi waktu ini dimaksudkan untuk mengamati bagaimana perbedaan durasi mempengaruhi pembentukan senyawa intermetalik di area pertemuan Al dan Cu.

Tabel 4. Pengaruh Waktu terhadap pembentukan Al

waktu	element	wt	at
60	AlK	15,04	29,33
120	AlK	10,17	20,94
180	AlK	23,6	41,13

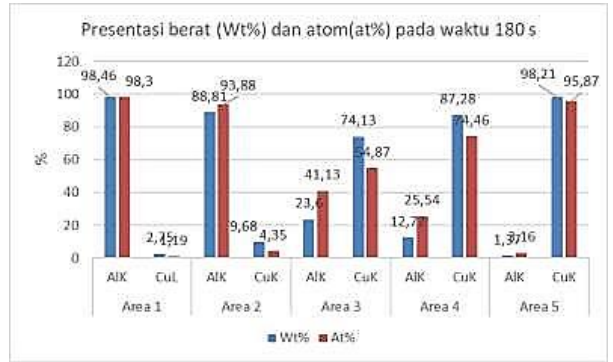


Gambar 5. Persen berat dan atom pada 180 detik

Pengaruh waktu gesek *rotary friction welding* antara aluminium dan tembaga mengungkapkan dinamika kompleks pembentukan senyawa intermetalik sebagai fungsi waktu gesek. Analisis grafik perbandingan waktu untuk parameter "at" dan "wt" menunjukkan tren non-linear yang signifikan. Pada durasi 60 detik, observasi menunjukkan pembentukan awal senyawa intermetalik dengan komposisi Al (at: 29,33%, wt: 15,04%) dan Cu dominan (at: 70,13%, wt: 84,71%). fenomena transisi teramati pada 120 detik, ditandai penurunan persentase al (at: 20,94%, wt: 10,17%) dan peningkatan Cu (at: 78,32%,

wt: 89,51%), mengindikasikan kemungkinan penguraian senyawa awal atau reorganisasi struktural.

Pada 180 detik, terjadi perubahan dramatis dengan peningkatan signifikan kandungan Al (at: 41,13%, wt: 23,6%) dan penurunan Cu (at: 54,87%, wt: 74,13%), menunjukkan pembentukan senyawa intermetalik yang lebih kompleks dan difusi Al yang lebih ekstensif. pola ini menegaskan bahwa durasi gesek memiliki pengaruh substansial terhadap komposisi dan struktur zona las, dengan implikasi penting pada sifat mekanik sambungan.



perlu dicatat bahwa optimalisasi proses tidak selalu berkorelasi linear dengan waktu gesek, mengingat potensi pembentukan senyawa intermetalik berlebih yang dapat meningkatkan kerapuhan.

**Kesimpulan**

Pola perubahan komposisi ini menegaskan bahwa durasi gesek memiliki pengaruh substansial terhadap komposisi dan struktur zona las, namun, penting untuk dicatat bahwa hubungan antara waktu gesek dan pembentukan senyawa intermetalik tidak bersifat linear. Waktu gesek yang lebih lama tidak selalu menghasilkan komposisi yang dapat diprediksi atau sifat mekanik yang optimal. Temuan ini memiliki implikasi penting pada sifat mekanik sambungan las. Pembentukan senyawa intermetalik yang berlebihan, terutama pada waktu gesek yang lebih lama, dapat meningkatkan kerapuhan sambungan. Oleh karena itu, optimalisasi proses *rotary friction welding* antara Al dan Cu memerlukan keseimbangan yang cermat antara pembentukan senyawa intermetalik dan kekuatan sambungan yang diinginkan.

**References**

Bruno, L. (2019). Las Potong Portable. *Journal Of Chemical Information And Modeling*, 53(9), 1689–1699. Ii, B. A. B., & Pustaka, T. (N.D.). 118170002\_4\_110431. 6–29.

Lailiyah, I. (2017). *Analisis Perbandingan Proses Pengelasan Saw Dan Fcaw Pada Material Astm A 36*.

Long, A. P. I., & Pipeline, S. (N.D.). *Technician ERW Weld Discontinuity Characterization Guide For The API Long Seam Pipeline (LSP) Exam*.

Mardjuki. (2010). Sifat Kekerasan Paduan Al-Cu Dari Hasil Proses Perlakuan Panas Penuaan (Aging). *Transmisi, Vol-VIEdi*, 549–556.

- Marwanto, A., Pd, S., Pendidikan, J., & Mesin, T. (2007). *Materi Pelatihan Lifeskill. Remaja Remaja Putus Sekolah Desa Purwobinangun Pakem Shield Metal Arc Welding.*
- Prayitno, D., Fatahillah, M., & Shodiqi, K. (2016). Studi Pengaruh Penambahan Tembaga Pada Porositas Aluminium. *Prosiding Seminar Nasional XI "Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi 2016 Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta Studi*, 1(1), 287-297.
- Supriyanto, N. S. W., Widi, I. K. A., & Putra, D. R. (2023). Penggunaan Las Gesek (Friction Welding) Guna Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon ST 42 Pada Pengujian Tarik Dan Struktur Mikro Untuk Spring Pin Pada Mobil. *Jurnal Flywheel*, 14(2), 59-65.  
<https://doi.org/10.36040/flywheel.v14i2.7731> Technology, M. (N.D.). *Friction Welding.*
- Septiano, A. F., Susilo, S., & Setyaningsih, N. E. (2021). Analisis Citra Hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal Dengan Metode Contrast To Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal Of Mathematics And Natural Sciences*, 44(2), 81-85.  
<https://doi.org/10.15294/ijmns.v44i2.33143>
- Tsamroh, D. I., & Riza Fauzy, M. (2022). Peningkatan Sifat Mekanik Al6061 Melalui Heat Treatment Natural-Artificial Aging. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 6(1), 8-13. <https://doi.org/10.33379/gtech.v6i1.1217>
- Widyantoro, E. K. (2018). Pengaruh Variasi Temperatur Aging Pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Kekerasan, Dan Struktur Mikro. *Skripsi*, 1-57.
- Suci, A. (2021). Penentuan Kandungan Logam Berat Cu Dan Zn Pada Sampel Air Limbah Kelapa Sawit Dengan Metode AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry). *Fakultas Sains Dan Teknologi*, 8-9.  
<https://repository.unja.ac.id/23982/>
- Rahmawati, A. Y. (2020). *Penentuan Logam Berat Tembaga (Cu), Besi (Fe), Dan Kromium (Cr) Pada Sedimen Dan Plankton Pesisir Gunung Anak Krakatau Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)*. July, 1-23.
- Winardi, Y., Fadelan, F., Munaji, M., & Krisdiantoro, W. N. (2020). Pengaruh Elektroda Pengelasan Pada Baja AISI 1045 Dan SS 202 Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 8(2), 86.  
<https://doi.org/10.23887/iptm.v8i2.27772>