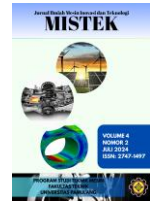




JURNAL TEKNIK MESIN

MISTEK

MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



ANALISIS PENGARUH SUHU PEMANASAN TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN BENDA KERJA BERBAHAN ALUMINIUM PADA ALAT UJI JOMINY TEST

Adi Werloyo¹, Abdul Choliq², Nurjaya³, Arie Sebastian Pangemanan⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : adhiwerloyo23@gmail.com¹

Masuk : 05 Februari 2024

Direvisi : 01 Maret 2024

Disetujui : 25 Maret 2024

Abstrak: Aluminium seri 6061 merupakan paduan yang mengandung unsur Al, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Si, Ti, dan Zn, serta banyak digunakan dalam industri otomotif dan konstruksi karena memiliki keunggulan seperti ketahanan korosi yang baik, kemampuan perlakuan panas, ketangguhan tinggi, dan sifat mampu-las yang mendukung proses manufaktur. Penelitian ini bertujuan menganalisis kemampuan pengerasan aluminium 6061 melalui pengujian *Jominy test* dan membandingkan hasil eksperimen dengan referensi teoritis. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan analisis data menggunakan statistika deskriptif. Empat spesimen aluminium 6061 diuji, terdiri atas tiga spesimen dengan perlakuan panas dan satu spesimen tanpa perlakuan panas; ketiga spesimen diproses melalui hardening pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C, kemudian didinginkan menggunakan media air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu pemanasan menyebabkan kenaikan nilai kekerasan. Spesimen tanpa perlakuan panas memiliki kekerasan terendah sebesar 170 HL, sedangkan nilai kekerasan tertinggi setelah hardening masing-masing tercatat sebesar 287 HL pada 400°C, 290 HL pada 500°C, dan 293 HL pada 600°C. Temuan ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi suhu hardening yang diberikan, semakin besar peningkatan kekerasan permukaan aluminium 6061.

Kata Kunci: *Jominy Test*, Perlakuan Panas, Pengerasan, Aluminium 6061, HL.

Abstract: Aluminum 6061 is an alloy composed of Al, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Si, Ti, and Zn, widely utilized in automotive and construction industries due to its excellent corrosion resistance, heat-treatability, good toughness, and weldability. This study aims to analyze the hardenability of aluminum 6061 through the *Jominy test* and compare the experimental findings with theoretical references. The research employed a laboratory experimental method with descriptive statistical analysis. Four specimens of aluminum 6061 were examined, consisting of three specimens subjected to heat treatment and one specimen without treatment. The heat-treated specimens underwent a hardening process at temperatures of 400°C, 500°C, and 600°C, followed by quenching in water. The results indicate that higher heating temperatures lead to increased hardness values. The untreated specimen exhibited the lowest hardness at 170 HL, whereas the maximum hardness values after hardening reached 287 HL at 400°C, 290 HL at 500°C, and 293 HL at 600°C. These findings demonstrate that increasing the hardening temperature enhances the surface hardness of aluminum 6061.

Keywords: *Jominy Test*, Heat Treatment, Hardening, Aluminum 6061, HL.

PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur, pemilihan material dengan kekuatan dan kekerasan yang memadai menjadi faktor penting dalam menjamin kualitas dan keandalan suatu produk. Kekerasan logam dapat ditingkatkan melalui beberapa metode, salah satunya adalah perlakuan termal [1]. Berangkat dari kebutuhan akan material yang mampu mempertahankan kinerja mekanik yang baik, aluminium seri 6061 menjadi salah satu paduan yang banyak digunakan dan menarik untuk dikaji lebih dalam, terutama terkait perubahan kekerasannya setelah perlakuan panas [2]. Penelitian mengenai distribusi kekerasan aluminium 6061 melalui *Jominy test* menjadi relevan untuk memahami respons material terhadap variasi suhu pemanasan.

Aluminium 6061 merupakan paduan aluminium serbaguna yang umum diaplikasikan pada industri otomotif, konstruksi, kelautan, hingga dirgantara. Paduan ini memiliki sejumlah sifat unggul, seperti ketahanan korosi yang baik,

ketangguhan tinggi, kemudahan pembentukan, kemampuan perlakuan panas, serta weldability yang memadai. Selain itu, aluminium 6061 stabil pada suhu rendah sehingga digunakan pada tangki *liquefied natural gas* (LNG), bejana tekan temperatur rendah, rig pengeboran, rangka bangunan, komponen pesawat, gerbong kereta, dan struktur kapal pesiar. Secara mikrostruktural, aluminium memiliki struktur kristal FCC (*face-centered cubic*) yang memberikan keuletan tinggi dan sifat mampu-bentuk yang baik, meskipun kekuatan serta kekerasannya relatif rendah tanpa tambahan unsur paduan atau perlakuan panas [3], [4].

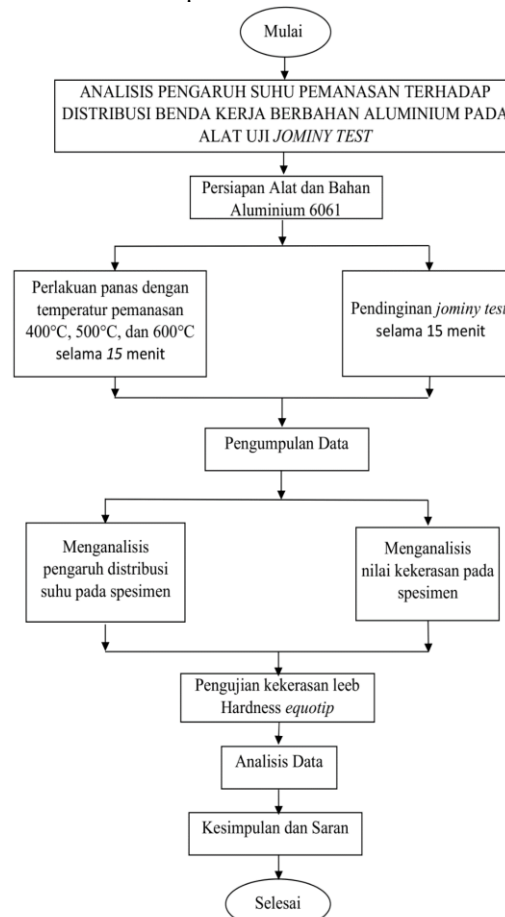
Peningkatan sifat mekanik paduan ini dapat dicapai melalui proses perlakuan panas seperti *precipitation hardening* atau *age hardening*, yang bekerja dengan membentuk presipitat penguat untuk menghambat pergerakan dislokasi [4]. Kombinasi unsur Mg, Si, Cu, dan Cr pada aluminium 6061 memungkinkan terbentuknya presipitat stabil yang berperan dalam peningkatan kekerasan. Secara umum, paduan aluminium terbagi menjadi paduan tempa dan paduan cor, di mana aluminium tempa seperti 6061 cenderung menunjukkan kemampuan pengerasan yang lebih baik karena struktur kisinya mampu menampung presipitat secara optimal. Karakteristik dasar aluminium seperti titik leleh sekitar 660°C, densitas 2,7 g/cm³, serta koefisien muai termal yang relatif tinggi turut memengaruhi responsnya terhadap perlakuan panas [5].

Pemahaman mengenai karakteristik mampu-keras aluminium 6061 penting untuk menentukan parameter perlakuan panas yang optimal bagi kebutuhan industri. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis distribusi kekerasan aluminium 6061 menggunakan *Jominy test* guna mengevaluasi pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap perubahan nilai kekerasan. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam menghubungkan teori perlakuan panas dengan respons mekanik material dalam konteks aplikasi industri.

METODOLOGI

Alur Penelitian

Gambar 1 menyajikan diagram alir penelitian yang menggambarkan tahapan sistematis dalam pelaksanaan studi mengenai pengaruh suhu pemanasan terhadap distribusi kekerasan aluminium 6061 menggunakan *Jominy test*.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Diagram tersebut memuat urutan kegiatan mulai dari persiapan alat dan bahan, penerapan perlakuan panas pada berbagai variasi temperatur, proses pendinginan, hingga pengumpulan dan analisis data. Setiap langkah dirancang untuk memastikan bahwa perubahan sifat mekanik pada spesimen dapat diamati secara terukur dan terstruktur, sehingga hasil penelitian dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai hubungan antara parameter perlakuan panas dan distribusi kekerasan material.

Bahan dan Peralatan

Penelitian ini menggunakan material aluminium 6061 sebagai spesimen utama. Empat spesimen disiapkan, terdiri dari tiga spesimen dengan perlakuan panas dan satu spesimen tanpa perlakuan panas sebagai pembanding. Peralatan yang digunakan meliputi tungku pemanas, alat *Jominy test*, perangkat pendingin berupa semprotan air, serta alat uji kekerasan tipe Leeb (*Equotip*).

Prosedur Penelitian

1. **Persiapan Spesimen**
Seluruh spesimen aluminium 6061 dipotong dan dibentuk sesuai standar dimensi untuk uji *Jominy test*. Spesimen kemudian dibersihkan untuk memastikan permukaan bebas dari kontaminan seperti minyak atau kotoran yang dapat mengganggu proses pemanasan maupun pendinginan.
2. **Perlakuan Panas**
Perlakuan panas dilakukan dengan memanaskan tiga spesimen pada variasi suhu 400°C, 500°C, dan 600°C. Setiap spesimen dipertahankan pada suhu pemanasan selama 15 menit untuk mencapai kondisi termal yang seragam sebelum proses pendinginan.
3. **Pendinginan *Jominy Test***
Setelah pemanasan, spesimen segera dipindahkan ke alat *Jominy test* dan didinginkan menggunakan semprotan air pada salah satu ujungnya selama 15 menit. Proses pendinginan yang tidak merata sepanjang panjang spesimen menghasilkan variasi laju pendinginan yang akan memengaruhi distribusi kekerasan material.
4. **Pengumpulan dan Pengukuran Data**
Setelah pendinginan, nilai kekerasan diukur menggunakan alat uji kekerasan Leeb (*Equotip*) pada beberapa titik sepanjang spesimen untuk mendapatkan profil distribusi kekerasan. Pengambilan titik pengukuran dilakukan secara berurutan dari bagian yang menerima pendinginan langsung hingga bagian yang tidak terpapar aliran air.

Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan dengan dua tahap. Pertama, mengevaluasi pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap distribusi kekerasan spesimen. Kedua, membandingkan nilai kekerasan setiap spesimen berdasarkan jarak titik pengujian dari bagian yang terkena pendinginan ekstrim. Data kemudian dianalisis menggunakan statistika deskriptif untuk menggambarkan pola perubahan kekerasan akibat perlakuan panas dan pendinginan *Jominy test*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

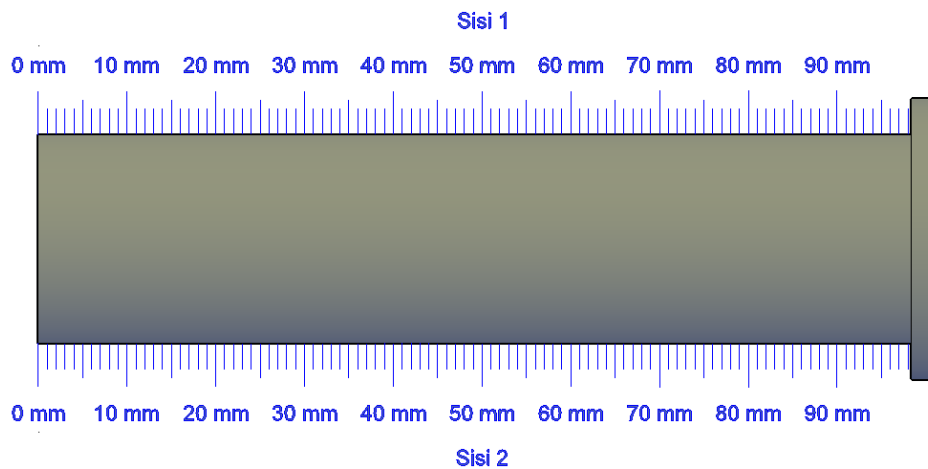
Hasil Pengamatan

Penelitian mengenai pengaruh distribusi kekerasan pada aluminium 6061 diperoleh melalui rangkaian pengujian yang meliputi *Jominy test*, pengujian kekerasan menggunakan *Equotip*, serta analisis ketahanan material. Seluruh hasil pengujian dianalisis secara sistematis untuk memperoleh kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Spesimen dibuat sesuai standar dimensi pengujian *Jominy test* dan dikelompokkan berdasarkan perlakuan panas, yaitu satu spesimen tanpa pemanasan serta tiga spesimen yang dipanaskan pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C selama 15 menit. Setelah pemanasan, masing-masing spesimen mengalami pendinginan menggunakan metode *Jominy test* selama 15 menit. Nilai kekerasan kemudian diukur menggunakan *Equotip hardness tester* untuk menentukan distribusi kekerasan serta variasi ketahanan material pada setiap sampel. Adapun spesifikasi material uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Material Uji

Parameter	Nilai / Keterangan
Material	Aluminium 6061
Panjang spesimen	101,6 mm
Diameter spesimen	31,8 mm
Jumlah spesimen	4 buah (tanpa pemanasan; 400°C; 500°C; 600°C)
Jumlah titik pengukuran	10 titik (pada 2 sisi)



Gambar 2. Ukuran dan Titik Pengukuran Spesimen Uji

Perhitungan dan Pembahasan

1. Rata-Rata Kekerasan

Nilai rata-rata kekerasan dihitung menggunakan rumus:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Dimana:

$\bar{x}$: nilai rata-rata
 $\sum x_i$: jumlah seluruh data
 n : jumlah data

2. Standar Deviasi

Standar deviasi menggambarkan tingkat penyebaran nilai terhadap rata-rata. Rumus yang digunakan adalah:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Dimana:

S : standar deviasi
 n : jumlah data
 x_i : nilai ke-i
 $\bar{x}$: nilai rata-rata

Hasil Pengujian Tanpa Perlakuan Panas

Tabel 2 menunjukkan nilai kekerasan spesimen tanpa perlakuan panas pada 10 titik pengukuran. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada titik pertama (uji ke-4) sebesar 286 HL, sedangkan nilai terendah berada pada titik ketujuh sebesar 170 HL. Perbedaan ini menunjukkan bahwa meskipun tanpa perlakuan panas, variasi respons permukaan terhadap gaya impak tetap terjadi.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan *Equotip* Tanpa Perlakuan Panas

Titik Pengukuran	Nilai Kekerasan, HL				Jarak (mm)
	Uji ke 1 (x ₁)	Uji ke 2 (x ₂)	Uji ke 3 (x ₃)	Uji ke 4 (x ₄)	
1	285	274	256	286	0
2	224	231	236	224	10
3	212	225	225	220	20
4	208	196	190	203	30
5	215	192	178	210	40
6	190	201	213	189	50
7	170	182	179	180	60
8	175	213	214	174	70
9	210	214	215	206	80
10	206	205	208	204	90

Hasil Pengujian pada Suhu 600°C

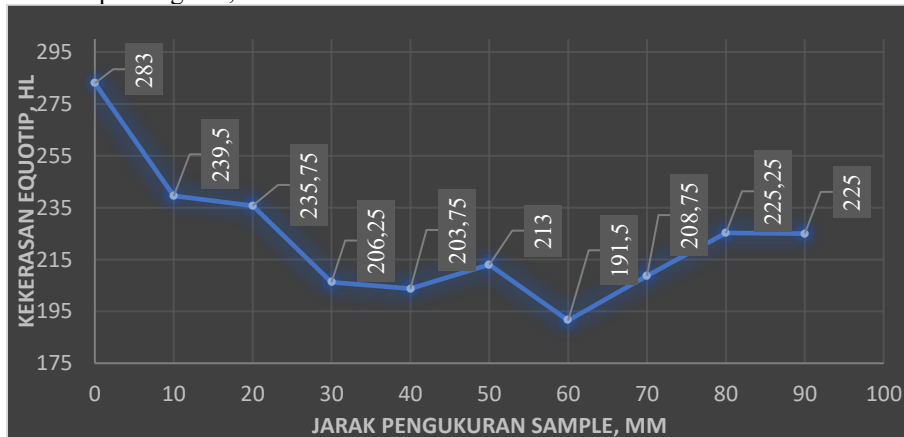
Tabel 3 memperlihatkan distribusi kekerasan pada spesimen yang dipanaskan pada 600°C. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi terdapat pada titik pertama sebesar 283 HL, sedangkan nilai rata-rata terendah muncul pada titik ketujuh sebesar 191,5 HL. Standar deviasi terkecil terdapat pada titik kesepuluh ($S = 1,41$), menunjukkan konsistensi pengukuran yang tinggi, sedangkan standar deviasi terbesar terjadi pada titik kedelapan ($S = 22,85$), yang menunjukkan variasi nilai lebih besar pada posisi tersebut.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kekerasan *Equotip* Pada Suhu Pemanasan 600°C

Titik Pengukuran	Nilai Kekerasan, HL				Jarak (mm)	Rata -rata ($\bar{x}$)	Standar Deviasi (S)
	Uji ke 1 (x ₁)	Uji ke 2 (x ₂)	Uji ke 3 (x ₃)	Uji ke 4 (x ₄)			
1	293	283	262	294	0	283	14,85
2	234	243	246	235	1	239.5	5,92
3	224	234	258	227	2	235.75	15,41
4	217	202	198	208	3	206.25	8,26
5	219	195	186	215	4	203.75	15,82
6	205	216	227	204	5	213	10,80
7	184	198	192	192	6	191.5	5,74
8	190	230	227	188	7	208.75	22,85
9	223	229	231	218	8	225.25	5,91
10	225	226	223	226	9	225	1,41

Analisis Grafik Perbandingan Kekerasan

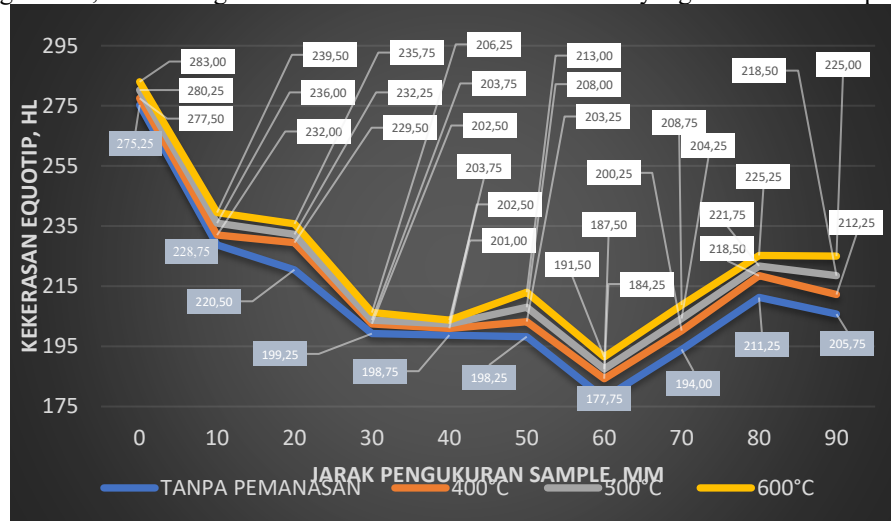
Grafik pada Gambar 3 menunjukkan hubungan antara rata-rata kekerasan *Equotip* dan jarak titik pengukuran pada spesimen 6061 yang diberi perlakuan panas 600°C. Titik pertama merupakan daerah yang mengalami pendinginan tercepat sehingga memiliki kekerasan tertinggi (283 HL). Sebaliknya, titik ketujuh mengalami pendinginan paling lambat sehingga kekerasannya menurun menjadi 191,5 HL. Perbedaan laju pendinginan ini sesuai dengan prinsip *Jominy test*, di mana semakin lambat pendinginan, semakin rendah nilai kekerasan material.



Gambar 3. Perbandingan Rata-Rata Kekerasan Terhadap Jarak Pada Sampel Perlakuan Panas

Analisis Perbandingan Semua Sampel

Grafik pada Gambar 4 memperlihatkan perbandingan nilai kekerasan rata-rata antara sampel tanpa perlakuan panas dan sampel yang diberi *heat treatment* pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C. Terlihat jelas bahwa spesimen yang dipanaskan pada 600°C memiliki nilai kekerasan tertinggi pada hampir seluruh titik pengukuran. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur pemanasan yang lebih tinggi meningkatkan proses pengerasan material, sehingga menghasilkan kekerasan permukaan yang lebih besar. Sebaliknya, sampel tanpa perlakuan panas memiliki nilai kekerasan paling rendah, sesuai dengan karakteristik dasar aluminium 6061 yang relatif lunak tanpa perlakuan termal.



Gambar 4. Perbandingan Kekerasan Rata-Rata Antara Sampel Tanpa dan Dengan Perlakuan Panas

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian terhadap aluminium 6061 menggunakan proses perlakuan panas dengan variasi suhu 400°C, 500°C, dan 600°C serta pendinginan selama 15 menit melalui *Jominy test* menunjukkan bahwa variasi temperatur memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi kekerasan material. Semakin tinggi suhu pemanasan, semakin besar peningkatan nilai kekerasan yang diperoleh pada setiap titik pengukuran. Hal ini mengonfirmasi bahwa aluminium 6061 memiliki kemampuan pengerasan yang baik melalui mekanisme perlakuan panas dan cocok diaplikasikan untuk kebutuhan komponen yang memerlukan peningkatan kekerasan permukaan.

Sebagai saran, penelitian selanjutnya dapat memperluas variasi parameter perlakuan panas, seperti waktu penahanan suhu, jenis media pendingin, maupun pengujian sifat mekanik lainnya seperti ketangguhan dan tegangan tarik. Selain itu, analisis mikrostruktur menggunakan mikroskop optik atau SEM akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara presipitat penguat dan peningkatan kekerasan pada aluminium 6061.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. M. Ikumapayi *et al.*, "Effects of Heat Treatment on the Impact and Hardness Properties of Mild Steel [ASTM 36] Lap Welded Joint," in *E3S Web Conf: 3rd International Conference on Design and Manufacturing Aspects for Sustainable Energy (ICMED-ICMPC 2021)*, 2021, p. 01078. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130901078>.
- [2] A. S. S. Al Salmi, A. Nazeer, and J. Al Maawali, "Mechanical properties evaluation for heat treated aluminium alloy 6061," in *Journal of Student Research: Sixth Middle East College Student Research Conference*, 2023, pp. 1–11.
- [3] J.-R. Zhao, F.-Y. Hung, and C.-Y. Pan, "Application of New Al-Si Welding Filler with High Concentration of Copper and Magnesium: High-Temperature Strength and Anti-Corrosion Mechanism.," *Mater. (Basel, Switzerland)*, vol. 17, no. 1, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/ma17010126>.
- [4] I. Guzmán *et al.*, "Corrosion Performance and Mechanical Strength in Aluminum 6061 Joints by Pulsed Gas Metal Arc Welding," *Materials*, vol. 15, no. 18, p. 6226, 2022. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15186226>.
- [5] S. Fan, M. Chen, K. Jiang, Y. Lan, and G. Rong, "The effects of Cu and Mg contents on the thermal stability of 6XXX-series aluminum alloy," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–10, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1177/16878132221148909>.