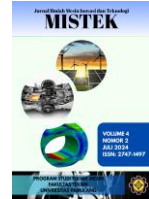




# JURNAL TEKNIK MESIN MISTEK MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



## ANALISIS TRANSFER PANAS MELALUI PENGUKURAN DISTRIBUSI SUHU PADA PROSES PEMANASAN ALUMINIUM SERI 5052 MENGUNAKAN METODE *HOT PLATE*

Nikmal Atok<sup>1</sup>, Nur Rohmat<sup>2</sup>, Edi Tri Astuti<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : nikmalatok04@gmail.com<sup>1</sup>

Masuk : 12 April 2024

Direvisi : 17 Mei 2024

Disetujui : 07 Juni 2024

**Abstrak:** Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA yang memiliki lambang Al dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol, serta sangat berlimpah. Aluminium tidak termasuk jenis logam berat, tetapi merupakan elemen yang berjumlah 8% dari permukaan bumi. Unsur kimia ini merupakan konduktor listrik yang baik, memiliki tahanan jenis  $2,8 \times$  atau 1,25 tahanan jenis tembaga, serta bersifat ringan dan kuat. Dalam penelitian ini dilakukan perlakuan panas pada aluminium yang akan dianalisis distribusi panasnya. Dari beberapa jurnal yang dibaca penulis, terdapat pembahasan mengenai kelebihan dan kekurangan aluminium baik sebagai isolator (pemutus panas dan penghantar) maupun sebagai konduktor. Hasil penelitian ini adalah distribusi suhu. Pada pengujian pertama menggunakan suhu pemanasan  $100^\circ\text{C}$  dengan penahanan panas selama 20 menit, dihasilkan nilai tertinggi sebesar  $1,0705 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$  pada spesimen pengujian 1 dan spesimen 3 secara konduksi, dan bila dirata-ratakan distribusinya sebesar  $1,06943 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$ . Distribusi secara konveksi menghasilkan nilai tertinggi pada sampel pengujian 1 sebesar  $3,1635 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ , dan bila dirata-ratakan nilai distribusinya sebesar  $3,1571 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . Pada pengujian kedua (material baru) dengan menaikkan suhu menjadi  $200^\circ\text{C}$ , dihasilkan nilai tertinggi sebesar  $2,5516 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$  pada sampel pengujian 1; bila dirata-ratakan maka perpindahannya sebesar  $2,55373 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$  secara konduksi. Distribusi secara konveksi memberikan nilai tertinggi pada sampel pengujian 2 sebesar  $7,543 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ , dan bila dirata-ratakan sebesar  $7,5350 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . Pada pengujian ketiga dengan suhu pemanasan sekitar  $300^\circ\text{C}$ , distribusi secara konduksi menghasilkan nilai tertinggi sebesar  $3,9875 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$  pada sampel pengujian 2, dan bila dirata-ratakan sebesar  $3,98536 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$ . Distribusi secara konveksi menghasilkan nilai tertinggi sebesar  $11,7657 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  pada sampel pengujian 2, dan bila dirata-ratakan sebesar  $11,7594 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ .

**Kata Kunci:** Aluminium, Heat Treatment, Hot Plate, Konduktor.

**Abstract:** Aluminum is a Group IIIA chemical element with the symbol Al, atomic number 13, and an atomic weight of 26.98 grams per mole, and it is one of the most abundant elements in the earth's crust. Although not classified as a heavy metal, aluminum constitutes approximately 8% of the earth's surface. It is a good electrical conductor, possessing a resistivity value of about  $2.8 \times$  or 1.25 times that of copper, and is known for its lightweight yet strong characteristics. This study investigates the heat distribution on aluminum subjected to heat treatment. A review of related literature highlights the advantages and limitations of aluminum when functioning as an insulator (heat interrupter and transmitter) and as a conductor. The results of this study present the temperature distribution under various heating conditions. In the first test, using a heating temperature of  $100^\circ\text{C}$  with a holding time of 20 minutes, the highest conduction value was  $1.0705 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$  for specimens 1 and 3, with an average distribution of  $1.06943 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$ . Convective distribution reached its highest value at  $3.1635 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  for specimen 1, with an average of  $3.1571 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . In the second test, using a new sample heated at  $200^\circ\text{C}$ , the highest conduction value was  $2.5516 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$  for specimen 1, while the average was  $2.55373 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$ . The highest convective value,  $7.543 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ , occurred in specimen 2, with an average of  $7.5350 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . In the third test at approximately  $300^\circ\text{C}$ , the highest conduction distribution was  $3.9875 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$  for specimen 2, with an average of  $3.98536 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$ . Convective distribution reached a maximum of  $11.7657 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  in specimen 2, with an average of  $11.7594 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ .

**Keywords:** Aluminum, Heat Treatment, Hot Plate, Conductor.

## PENDAHULUAN

Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA yang memiliki lambang Al dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol, serta dikenal sebagai salah satu unsur yang sangat berlimpah di alam. Aluminium tidak termasuk logam berat, namun merupakan elemen yang mencapai sekitar 8% dari permukaan bumi. Unsur ini merupakan konduktor listrik yang baik, memiliki tahanan jenis sekitar 1,25 kali tahanan jenis tembaga, serta bersifat ringan dan kuat [1], [2].

Secara kristalografi, aluminium memiliki struktur kristal *face-centered cubic* (FCC), yang membuatnya tetap ulet bahkan pada temperatur sangat rendah. Keuletan yang tinggi ini menyebabkan aluminium mudah dibentuk dan memiliki sifat mampu bentuk yang baik. Meski demikian, aluminium juga memiliki beberapa kelemahan, terutama kekuatan dan kekerasannya yang relatif rendah jika dibandingkan dengan logam seperti besi dan baja [3].

Sebagai logam ringan, aluminium memiliki ketahanan korosi yang baik [4], sifat mekanik yang memadai, hantaran listrik yang tinggi [5], serta dapat diproses ulang. Karena kombinasi sifat-sifat tersebut, aluminium kini menjadi salah satu logam yang paling diminati dan penggunaannya berada tepat setelah baja sebagai logam industri yang paling luas digunakan di dunia. Aluminium banyak diaplikasikan pada sektor transportasi, konstruksi, kelistrikan, peti kemas, kemasan, peralatan rumah tangga, dan berbagai peralatan mekanis [6].

Dengan densitas  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , aluminium memiliki karakteristik sebagai logam ringan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Selain itu, bila dipadukan dengan logam lain, aluminium dapat menghasilkan sifat-sifat baru yang tidak dimiliki pada logam tunggal. Sifat-sifat unggulan aluminium meliputi: ringan, tahan korosi, penghantar panas dan listrik yang baik, serta kemampuan membentuk lapisan oksida alami yang melindungi permukaan dari reaksi lingkungan. Lapisan oksida ini sangat stabil, kuat melekat, dan tidak reaktif, sehingga memberikan perlindungan efektif terhadap korosi. Namun, keberadaan lapisan tersebut juga menjadikan aluminium lebih sulit untuk dilas atau disolder karena titik leburnya yang tinggi, mencapai lebih dari  $2000^\circ\text{C}$  [7].

Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu (*temperature gradient*), maka secara alami akan terjadi aliran energi dari bagian bersuhu tinggi menuju bagian bersuhu rendah. Perambatan energi ini disebut perpindahan panas secara konduksi (*conduction*). Pada mekanisme ini, panas merambat melalui getaran atom atau molekul dalam material tanpa disertai perpindahan zat perantaranya. Laju perpindahan panas pada konduksi berbanding lurus dengan gradien suhu yang terjadi, sebagaimana digambarkan dalam Hukum Fourier [8].

Dalam konteks material seperti aluminium, kemampuan konduksi panas menjadi parameter penting dalam berbagai aplikasi teknik, seperti proses *heat treatment*, perancangan komponen mesin, sistem pendingin, hingga analisis distribusi temperatur pada material. Pemahaman tentang perilaku konduksi pada aluminium sangat diperlukan untuk menentukan performa material ketika dikenai perlakuan panas pada berbagai kondisi operasional [9].

## METODOLOGI

### Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih enam minggu dan dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin dan Teknik Kimia Universitas Pamulang, berlokasi di Gedung *Science and Techno Park* Pamulang, Tangerang Selatan. Obyek yang diteliti berupa perubahan suhu pada aluminium setelah penahanan panas selama 20 menit, dengan variasi suhu pemanasan bertahap yaitu  $100^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$ , dan  $300^\circ\text{C}$ .

### Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Data yang diperoleh merupakan hasil pengujian distribusi suhu pada beberapa sampel dengan waktu penahanan yang sama. Setiap proses pengujian dilakukan secara bergantian untuk memastikan konsistensi kondisi eksperimen. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah variasi suhu pemanasan dan waktu penahanan memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi panas dan proses pendinginan material.

Tahapan penelitian dilakukan sebagai berikut:

1. Mencatat seluruh data awal (*original data*) dari sembilan sampel, meliputi suhu awal benda uji, suhu *furnace*, serta waktu penahanan 20 menit.
2. Mengumpulkan informasi melalui studi pustaka terkait teori perpindahan panas.
3. Melakukan pengukuran data suhu, distribusi panas, dan penahanan setelah proses pengujian di dalam *furnace*.
4. Melakukan analisis data, perhitungan, dan kajian lanjutan terhadap variasi suhu yang digunakan.
5. Menyusun laporan penelitian berdasarkan hasil analisis.

**Teknik Pengambilan Data**

Pengambilan data dilakukan melalui pengujian menggunakan *hot plate*. Sampel berjumlah tiga buah dengan variasi suhu pemanasan 100 °C, 200 °C, dan 300 °C, serta waktu penahanan 20 menit untuk setiap pengujian. Suhu ruangan selama pengujian sekitar 30 °C, sedangkan kecepatan angin lingkungan tercatat sekitar 9,5 km/s. Data diperoleh dengan mengamati secara langsung hasil eksperimen untuk mengetahui tingkat pemanasan dan penahanan panas. Data yang dikumpulkan meliputi:

- Suhu ruangan awal dan akhir setiap pengujian, diukur menggunakan termometer.
- Suhu awal dan akhir spesimen, diukur menggunakan *thermocouple*.

**Pengolahan Data**

Data kuantitatif yang diperoleh dianalisis untuk menentukan hasil penelitian yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan. Rujukan teori diambil dari berbagai buku dan sumber relevan terkait perpindahan panas dan karakteristik material. Data hasil pengujian kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Serangkaian percobaan dilakukan menggunakan *stainless steel* 304 sebagai wadah penyangga dan *furnace* sebagai alat pemanas. Analisis diarahkan untuk mengidentifikasi pengaruh parameter pemanasan terhadap respons distribusi suhu pada material uji.

**Teknik Analisis Data**

Analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan hubungan dasar perpindahan panas yang menunjukkan bahwa besarnya panas per satuan luas permukaan berbanding lurus dengan gradien suhu material. Persamaan dasar yang digunakan adalah:

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Di mana:

$q$  : kalor atau panas (joule)

$A$  : luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  : selang waktu/suhu

$\Delta x$  : panjang (m)

Persamaan ini digunakan untuk menentukan besar distribusi panas berdasarkan perubahan suhu pada sampel setelah diberi perlakuan panas pada suhu 100 °C, 200 °C, dan 300 °C. Nilai gradien suhu ( $\Delta T/\Delta x$ ) dibandingkan untuk melihat pengaruh variasi suhu pemanasan terhadap laju perpindahan panas pada aluminium.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengujian dilakukan secara bertahap pada tiga spesimen aluminium seri 5052 dengan perlakuan *heat treatment* pada tiga variasi suhu pemanasan, yaitu 100 °C, 200 °C, dan 300 °C. Pada setiap pengujian, spesimen diberikan pemanasan hingga suhu target kemudian ditahan selama 20 menit pada ruangan bersuhu 30 °C dengan kecepatan angin lingkungan sekitar 9,3 km/jam. Setelah proses penahanan, dilakukan pengukuran distribusi suhu melalui dua mekanisme utama, yaitu konduksi dan konveksi. Data hasil pengujian disusun dalam bentuk tabel untuk mempermudah proses interpretasi dan analisis.

**Pengambilan Data Proses Pemanasan dan Penahanan**

Berdasarkan prosedur pengujian, langkah pertama adalah melakukan pemanasan terhadap spesimen aluminium pada suhu yang telah ditentukan. Proses ini memastikan bahwa temperatur inti material mencapai kondisi stabil sebelum dilakukan penahanan. Tahap penahanan selama 20 menit bertujuan untuk melihat kemampuan aluminium mempertahankan panas serta mengetahui perubahan temperatur akibat perpindahan panas ke lingkungan.

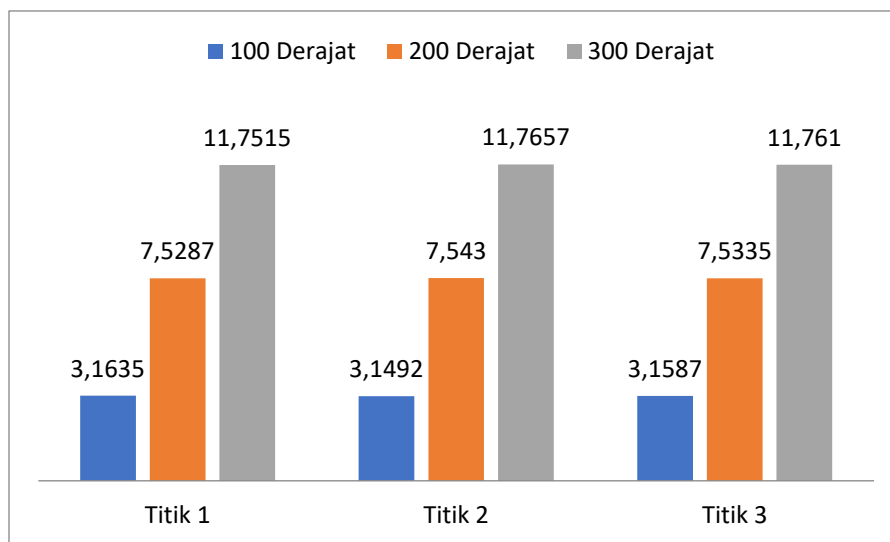
Selain itu, pengujian dilakukan pada kondisi ruangan dengan suhu stabil 30 °C, sehingga variasi paparan lingkungan relatif dapat dikontrol. Kecepatan angin di sekitar spesimen juga dicatat karena dapat memengaruhi mekanisme konveksi alami. Kondisi ini memastikan bahwa data yang diperoleh memiliki reproducibility yang baik.

**Pengukuran Distribusi Suhu Secara Konveksi**

Distribusi suhu secara konveksi merupakan perpindahan panas dari permukaan spesimen menuju udara sekitar. Nilai distribusi konveksi dipengaruhi oleh selisih suhu antara permukaan dan lingkungan, luas permukaan spesimen, serta kondisi aliran udara di sekitar benda uji. Hasil pengujian disajikan pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Distribusi Suhu Secara Konveksi

Suhu Pemanasan (°C)	Spesimen 1 (kW/m <sup>2</sup> . °C)	Spesimen 2 (kW/m <sup>2</sup> . °C)	Spesimen 3 (kW/m <sup>2</sup> . °C)	Rata-rata (kW/m <sup>2</sup> . °C)
100	3,1635	3,1492	3,1587	3,1571
200	7,5287	7,543	7,5335	7,535
300	11,7515	11,7657	11,761	11,7594



Gambar 1. Grafik Hasil Perhitungan Distribusi Suhu Secara Konveksi

#### Analisis Hasil Konveksi terhadap Variasi Suhu

Dari hasil pengujian, terlihat bahwa nilai distribusi panas secara konveksi meningkat secara konsisten seiring bertambahnya suhu pemanasan. Pada suhu 100 °C, nilai rata-rata konveksi tercatat sebesar 3,1571 kW/m<sup>2</sup>·°C. Ketika suhu dinaikkan menjadi 200 °C, nilai rata-rata meningkat signifikan menjadi 7,5350 kW/m<sup>2</sup>·°C, atau sekitar 2,4 kali lebih besar. Pada suhu tertinggi, yaitu 300 °C, nilai konveksi kembali meningkat hingga 11,7594 kW/m<sup>2</sup>·°C.

Peningkatan yang linier dan konsisten ini menunjukkan bahwa mekanisme konveksi sangat dipengaruhi oleh selisih temperatur antara permukaan spesimen dan suhu udara sekeliling. Semakin besar selisih suhu, maka semakin besar juga *driving force* bagi panas untuk berpindah menuju lingkungan. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar perpindahan panas secara konveksi, di mana laju perpindahan panas sebanding dengan ( $T_s - T_\infty$ ). Selain itu, keberadaan aliran udara alami sebesar 9,3 km/jam juga mempercepat laju pelepasan panas. Dengan demikian, aluminium yang dipanaskan pada temperatur lebih tinggi mengalami laju pendinginan konvektif yang lebih besar.

Meskipun ketiga spesimen menunjukkan pola peningkatan distribusi panas yang konsisten, terdapat variasi kecil antara spesimen 1, 2, dan 3. Variasi tersebut kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor, seperti perbedaan mikro pada ketebalan spesimen yang dapat memengaruhi kapasitas panas, kondisi kontak permukaan antara spesimen dan alat uji yang tidak selalu seragam sehingga memengaruhi laju pemanasan, serta distribusi suhu di dalam *furnace* dan *hot plate* yang meskipun telah diatur stabil tetap memiliki gradien panas internal. Perbedaan kecil ini masih berada dalam batas wajar sehingga tidak mengganggu pola distribusi panas utama yang diperoleh dari penelitian.

Secara keseluruhan, hasil distribusi panas menunjukkan perilaku aluminium yang konsisten dengan karakteristik materialnya sebagai penghantar panas yang baik. Pada suhu rendah (100 °C), perpindahan panas berlangsung relatif lambat karena energi kinetik atom lebih kecil. Pada suhu menengah hingga tinggi (200–300 °C), atom-atom aluminium memiliki energi yang lebih besar sehingga laju perpindahan panas meningkat.

Nilai konveksi yang meningkat sebanding dengan kenaikan suhu membuktikan bahwa mekanisme konveksi dipengaruhi secara langsung oleh selisih temperatur dan kondisi lingkungan yang menunjukkan bahwa gradien suhu memegang peranan penting terhadap besar perpindahan panas per satuan luas.

Hasil penelitian ini sejalan dengan teori perpindahan panas yang dikemukakan dalam literatur, di mana aluminium sebagai logam ringan memiliki konduktivitas termal tinggi dan menunjukkan respon cepat terhadap perubahan suhu. Hal ini menjelaskan mengapa peningkatan suhu pemanasan memberikan perubahan signifikan pada laju distribusi panas.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Pengujian pada aluminium dengan suhu pemanasan 100 °C, 200 °C, dan 300 °C menunjukkan bahwa kenaikan suhu menghasilkan peningkatan signifikan pada distribusi panas baik secara konduksi maupun konveksi. Pada 100 °C, nilai konduksi rata-rata adalah 1,06943 kW/m<sup>2</sup>·K dan konveksi 3,1571 kW/m<sup>2</sup>·°C. Pada 200 °C, nilai rata-rata meningkat menjadi 2,55373 kW/m<sup>2</sup>·K untuk konduksi dan 7,5350 kW/m<sup>2</sup>·°C untuk konveksi. Pada 300 °C, nilai konduksi rata-rata mencapai 3,98536 kW/m<sup>2</sup>·K, sedangkan nilai konveksi rata-rata adalah 11,7594 kW/m<sup>2</sup>·°C.

Secara keseluruhan, semakin tinggi suhu pemanasan, maka semakin besar distribusi panas yang terjadi, sehingga menunjukkan bahwa aluminium memiliki kemampuan hantaran panas yang kuat dan responsif terhadap perubahan suhu.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Merli, C. Bonadiman, and A. Pavese, "Aluminium distribution in an Earth's non-primitive lower mantle," *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 276, pp. 70–91, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2020.02.023>.
- [2] K. N. Subedi, K. Kappagantula, F. Kraft, A. Nittala, and D. A. Drabold, "Electrical conduction processes in aluminum: Defects and phonons," *Phys. Rev. B*, vol. 105, no. 10, p. 104114, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.105.104114>.
- [3] G. Wu *et al.*, "Hierarchical nanostructured aluminum alloy with ultrahigh strength and large plasticity," *Nat. Commun.*, vol. 10, no. 1, p. 5099, 2019, doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13087-4>.
- [4] D. Luo, F. Li, and G. Xing, "Corrosion resistance of 6061-T6 aluminium alloy and its feasibility of near-surface reinforcements in concrete structure," vol. 61, no. 1, pp. 638–653, 2022, doi: <https://doi.org/10.1515/rams-2022-0048>.
- [5] X. Atanacio-Sánchez *et al.*, "Enhancement of the Electrical Conductivity and Mechanical Properties of Al-Mg-Si and Al-Mg-Zn Ternary Systems After a T8 Heat Treatment," *Metals*, vol. 14, no. 11, p. 1286, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/met14111286>.
- [6] S. K. Padamata, A. Yasinskiy, and P. Polyakov, "A Review of Secondary Aluminum Production and Its Byproducts," *JOM*, vol. 73, no. 9, pp. 2603–2614, 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s11837-021-04802-y>.
- [7] R. P. Verma, K. N. Pandey, K. András, R. Khargotra, and T. Singh, "Difficulties and redressal in joining of aluminium alloys by GMA and GTA welding: a review," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 23, pp. 2576–2586, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.01.183>.
- [8] Y.-C. Hua, T. Zhao, and Z.-Y. Guo, "Irreversibility and Action of the Heat Conduction Process," *Entropy*, vol. 20, no. 3, p. 206, 2018, doi: <https://doi.org/10.3390/e20030206>.
- [9] A. Zhang and Y. Li, "Thermal Conductivity of Aluminum Alloys-A Review.," *Mater. (Basel, Switzerland)*, vol. 16, no. 8, p. 2972, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/ma16082972>.