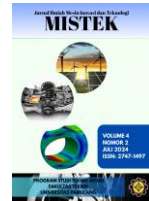




JURNAL TEKNIK MESIN MISTEK MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



ANALISIS TRANSFER PANAS MELALUI PENGUKURAN DISTRIBUSI SUHU PADA PROSES PEMANASAN BESI *MILD STEEL* MENGUNAKAN METODE *HOT PLATE*

Muhamad Andrianto Haris¹, Nur Rohmat², Sukandar³

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

E-mail : andriantoharis1996@gmail.com¹

Masuk : 06 Mei 2024

Direvisi : 14 Juni 2024

Disetujui : 08 Juli 2024

Abstrak: *Mild steel* merupakan besi karbon atau *plain carbon steel* yang mempunyai kandungan karbon tidak lebih dari 2% dan tanpa campuran bahan lain. Material ini banyak diaplikasikan dalam berbagai jenis perangkat dan merupakan salah satu yang paling dominan di pasar. Secara umum, *mild steel* memiliki karakteristik yang kaku serta memiliki kekuatan mekanik yang baik. *Mild steel* juga dapat memiliki sifat magnetis (mempunyai daya untuk menarik benda lain), sehingga banyak digunakan pada mesin motor dan peralatan listrik. Salah satu kelemahan *mild steel* adalah ketidakmampuannya menahan korosi, sehingga tidak cocok digunakan pada lingkungan yang korosif. Namun, *mild steel* memiliki kelebihan berupa ketahanan terhadap panas dan temperatur tinggi. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan temperatur pada *mild steel* setelah dipanaskan pada 100°C dengan waktu penahanan 20 menit. Setelah dilakukan penelitian, diperoleh bahwa nilai distribusi pada suhu pemanasan 100°C secara konduksi tertinggi sebesar 2157,86 W/m²·K dan secara konveksi sebesar 2,160 J/m²·°C. Untuk suhu 200°C, nilai konduksi tertinggi sebesar 5,933 J/m²·°C dan nilai konveksi sebesar 5926 W/m²·°C. Selanjutnya, pada suhu 300°C, perpindahan panas secara konduksi sebesar 10.015 W/m²·K dan secara konveksi sebesar 10,027 J/m²·°C.

Kata Kunci: *Mild Steel*, *Heat Treatment*, Perpindahan Panas, Konduksi, Konveksi.

Abstract: *Mild steel* is a carbon steel or *plain carbon steel* containing no more than 2% carbon and without additional alloying elements. This material is widely applied in various types of equipment and is one of the most dominant in the market. In general, *mild steel* exhibits rigidity and good mechanical strength. It may also possess magnetic properties, enabling it to attract other objects, which makes it commonly used in motor components and electrical devices. One limitation of *mild steel* is its lack of corrosion resistance, making it unsuitable for corrosive environments. However, *mild steel* offers advantages in terms of heat resistance and stability at elevated temperatures. This study aims to analyze the temperature changes in *mild steel* after being heated to 100°C with a holding time of 20 minutes. The results show that at a heating temperature of 100°C, the highest conductive heat transfer value obtained was 2157.86 W/m²·K and the convective heat transfer value was 2.160 J/m²·°C. At 200°C, the maximum conductive value reached 5.933 J/m²·°C and the convective value reached 5926 W/m²·°C. Furthermore, at 300°C, the conductive heat transfer reached 10,015 W/m²·K and the convective heat transfer reached 10.027 J/m²·°C.

Keywords: *Mild Steel*, *Heat Treatment*, Heat Transfer, Conduction, Convection.

PENDAHULUAN

Mild steel atau baja karbon rendah merupakan jenis *plain carbon steel* dengan kandungan karbon maksimum 2% dan tidak mengandung unsur paduan tambahan. Karakteristik tersebut menjadikan *mild steel* sebagai material yang paling banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan teknik, mulai dari komponen mekanik hingga aplikasi struktural. Material ini dikenal memiliki kekakuan yang baik, kekuatan mekanik memadai, serta mudah dibentuk, sehingga banyak digunakan dalam industri otomotif dan peralatan listrik [1], [2]. Selain itu, *mild steel* memiliki sifat magnetis yang memungkinkan interaksi dengan benda logam lain, sehingga ideal untuk komponen mesin motor dan perangkat elektromagnetik [3].

Di sisi lain, salah satu kekurangan utama *mild steel* adalah ketidakmampuannya menahan korosi, terutama ketika berada di lingkungan yang bersifat agresif atau lembap. Meskipun demikian, material ini tetap unggul karena stabil pada temperatur tinggi dan memiliki ketahanan panas yang baik, sehingga cocok digunakan dalam berbagai aplikasi yang melibatkan paparan suhu ekstrem [4].

Kajian mengenai perpindahan panas (*heat transfer*) menjadi penting untuk memahami bagaimana energi termal berpindah dari satu bagian material ke bagian lainnya. Berdasarkan prinsip-prinsip termodinamika, energi panas akan selalu mengalir dari daerah bersuhu tinggi menuju daerah bersuhu lebih rendah. Namun, termodinamika hanya menjelaskan kondisi awal dan akhir, tanpa memberikan informasi mengenai laju perpindahan panas atau waktu yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan thermal. Oleh karena itu, studi mengenai konduksi, konveksi, dan distribusi suhu memberikan pemahaman lebih rinci mengenai fenomena tersebut [5], [6].

Dalam konteks penelitian ini, proses distribusi suhu pada *mild steel* diamati melalui pemanasan bertahap pada beberapa tingkat temperatur. Perbedaan suhu pemanasan inilah yang menjadi fokus utama untuk menilai bagaimana material merespon energi panas dan bagaimana penyebarannya berlangsung secara internal.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental yang difokuskan pada pengamatan distribusi panas pada baja karbon rendah. Baja, sebagai paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), memiliki sifat termal yang berbeda dari logam murni seperti Al, Zn, Cu, atau Ti. Kandungan karbon yang relatif rendah pada *mild steel* memungkinkan material ini menghantarkan panas dengan karakteristik tertentu yang relevan untuk dianalisis.

Perpindahan panas didefinisikan sebagai perpindahan energi akibat adanya perbedaan suhu. Energi panas, yang dinyatakan dalam satuan joule, akan bergerak dari daerah bersuhu tinggi menuju daerah bersuhu rendah melalui tiga mekanisme utama: konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada penelitian ini, mekanisme konduksi menjadi fokus utama karena distribusi panas dalam material padat sangat ditentukan oleh gradien suhu internal.

Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap sistematis, meliputi:

1. Persiapan tiga sampel *mild steel* dengan kondisi awal yang seragam.
2. Pengaturan pemanasan pada *furnace* dengan tiga variasi suhu, yaitu 100°C, 200°C, dan 300°C.
3. Penahanan suhu selama 20 menit untuk memastikan proses pemanasan berlangsung stabil.
4. Pengukuran suhu sebelum dan sesudah pemanasan menggunakan termometer dan *thermocouple*.
5. Dokumentasi data distribusi panas dari setiap perlakuan.
6. Analisis perhitungan nilai perpindahan panas berdasarkan teori konduksi dan konveksi.

Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan secara langsung melalui pengujian eksperimental. Setiap pengujian dilakukan pada kondisi yang dikontrol agar hasilnya reliabel. Variabel yang diamati meliputi:

- a. Suhu ruangan awal dan akhir;
- b. Suhu sampel sebelum dan sesudah pemanasan;
- c. Variasi suhu *furnace*;
- d. Waktu penahanan pemanasan;
- e. Kondisi lingkungan seperti kecepatan angin dan temperatur ruang uji.

Pengolahan dan Analisis Data

Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan perhitungan distribusi panas sesuai prinsip konduksi. Data disajikan dalam tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi. Analisis dilakukan untuk menilai pengaruh variasi suhu pemanasan terhadap distribusi panas pada 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 (m²)

ΔT : selang waktu/suhu

Δx : panjang (m)

Penarikan Kesimpulan

Setelah seluruh data dianalisis, penelitian dilanjutkan dengan penyusunan kesimpulan berdasarkan hasil eksperimental dan evaluasi teoritis. Kesimpulan dirumuskan sebagai dasar rekomendasi dan pengembangan penelitian selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan secara berurutan pada tiga spesimen *mild steel* dengan variasi suhu pemanasan 100°C, 200°C, dan 300°C. Setiap spesimen dipanaskan menggunakan *Hot Plate* dengan waktu penahanan konstan selama 20 menit. Lingkungan pengujian dijaga pada suhu ruang sekitar 30°C dengan kecepatan angin ± 9 km/jam untuk memastikan kondisi termal yang relatif stabil. Setelah proses pemanasan selesai, dilakukan pengukuran distribusi suhu pada lima titik berbeda untuk masing-masing spesimen melalui mekanisme konduksi dan konveksi.

Hasil pengukuran nilai distribusi suhu ditampilkan pada Tabel 1, yang memuat perbandingan suhu setelah penahanan 20 menit untuk ketiga variasi pemanasan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Distribusi Suhu Setelah Penahanan 20 Menit

Sampel	Titik Pengambilan	Jumlah benda uji (°C)		
		1	2	3
Sampel 1 dengan suhu 100 °C	1	53.05	53.05	53.01
	2	53.04	53.09	53.02
	3	53.04	53.08	53.09
	4	53.03	53.07	53.08
	5	53.04	53.07	53.08
Sampel 2 dengan suhu 200 °C	1	71.05	71.03	71.03
	2	71.06	71.04	71.06
	3	71.06	71.02	71.04
	4	71.04	71.03	71.05
	5	71.06	71.01	71.04
Sampel 3 dengan suhu 300 °C	1	82.07	82.03	82.04
	2	82.07	82.03	82.07
	3	82.07	82.05	82.04
	4	82.06	82.02	82.03
	5	82.06	82.05	82.02

Pada pemanasan 100°C, suhu akhir pada lima titik pengukuran berkisar antara 53,01°C hingga 53,09°C. Rentang nilai yang sangat kecil ini menunjukkan bahwa proses penahanan relatif mampu mempertahankan homogenitas penyebaran panas meskipun terdapat sedikit variasi antarspesimen.

Untuk pemanasan 200°C, nilai distribusi suhu yang tercatat berada di kisaran 71,01°C hingga 71,06°C. Variasi kecil yang muncul pada setiap titik pengukuran menggambarkan bahwa peningkatan suhu pemanasan berbanding lurus dengan peningkatan suhu distribusi, namun tetap menunjukkan kestabilan termal setelah penahanan.

Pada pemanasan 300°C, rentang distribusi suhu meningkat ke kisaran 82,02°C hingga 82,07°C. Nilai-nilai ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan, semakin besar pula penyebaran energi termal yang terekam oleh spesimen. Namun, pola penyebaran antar titik tetap relatif seragam.

Pembahasan

Berdasarkan Tabel 1, perhitungan nilai perpindahan panas secara konduksi dan konveksi dapat dilakukan dengan menggunakan parameter konduktivitas termal *mild steel* sebagai media penghantar. Nilai konduktivitas ini berperan penting dalam menentukan besar laju aliran panas di dalam material, sekaligus membantu memperkirakan kondisi kesetimbangan temperatur setelah proses penahanan pemanasan. Hasil perhitungan menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan suhu yang sejalan dengan meningkatnya suhu pemanasan awal, yang berarti bahwa energi panas yang diserap oleh material meningkat secara proporsional dengan temperatur perlakuan.

Secara umum, hasil penelitian memperlihatkan bahwa kenaikan suhu pemanasan menghasilkan nilai distribusi panas yang lebih tinggi pada setiap sampel. Meskipun demikian, pola distribusi suhu antar titik pengukuran tetap relatif seragam. Hal ini menunjukkan bahwa proses penahanan selama 20 menit cukup efektif dalam menyebarkan panas secara merata ke seluruh bagian spesimen.

Pada pemanasan 100°C, variasi antar titik berada pada kisaran $\pm 0,04^\circ\text{C}$ – $0,08^\circ\text{C}$, sedangkan pada 200°C nilai variasinya berkisar $\pm 0,02^\circ\text{C}$ – $0,05^\circ\text{C}$. Menariknya, pada pemanasan 300°C, variasi antar titik kembali mengecil ke rentang $\pm 0,02^\circ\text{C}$ – $0,05^\circ\text{C}$. Tren ini menggambarkan bahwa ketika energi panas yang diberikan semakin besar, mekanisme konduksi dalam material semakin dominan sehingga panas lebih cepat menyebar dan distribusi menjadi lebih homogen.

Dari sudut pandang mekanisme perpindahan panas, konduksi menjadi proses utama yang bertanggung jawab atas perambatan energi termal pada material padat seperti baja karbon rendah. Panas merambat melalui kisi kristal baja secara langsung dari titik bersuhu tinggi menuju titik bersuhu lebih rendah. Sementara itu, konveksi memberikan kontribusi tambahan setelah spesimen mulai berinteraksi dengan udara sekitar, terutama ketika memasuki fase pendinginan alami pasca pemanasan. Pengaruh konveksi ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti kecepatan angin, suhu ruang, dan lamanya perpindahan sampel dari *furnace* ke titik pengukuran.

Variasi kecil yang muncul pada hasil pengukuran dapat dijelaskan melalui pengaruh konveksi alami tersebut. Meskipun pemanasan berlangsung secara terkontrol, udara sekitar tetap memberikan efek pendinginan yang berbeda pada setiap titik sampel, sehingga menghasilkan fluktuasi yang bersifat minor. Hal ini sesuai dengan nilai distribusi dalam tabel yang menunjukkan sedikit penyimpangan tetapi masih berada dalam batas normal untuk percobaan laboratorium dengan kondisi terbuka.

Dengan demikian, keseluruhan hasil menunjukkan bahwa *mild steel* mampu mencapai kestabilan termal yang baik pada berbagai tingkat suhu pemanasan. Variasi temperatur antar titik tidak hanya mencerminkan kualitas penyebaran panas, tetapi juga respons material terhadap energi panas yang meningkat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian menunjukkan bahwa proses penahanan selama 20 menit pada suhu pemanasan 100°C, 200°C, dan 300°C menghasilkan distribusi panas yang relatif seragam pada *mild steel*. Perbedaan nilai antar titik pengukuran berada dalam rentang kecil, yang mengindikasikan bahwa material mampu menyalurkan panas dengan baik. Pada pemanasan 100°C, selisih distribusi berada pada 0,46–1,37 K, pada 200°C sebesar 1,38–3,93 K, dan pada 300°C sekitar 0,4 K. Variasi kecil ini dipengaruhi oleh pendinginan alami dari udara sekitar, namun tidak mengubah tren utama bahwa kenaikan suhu pemanasan meningkatkan nilai distribusi panas secara konsisten.

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan ruang uji yang lebih terkontrol untuk meminimalkan pendinginan alami, menambah variasi waktu penahanan, serta menggunakan sensor suhu yang lebih presisi agar data distribusi panas pada *mild steel* dapat diperoleh dengan lebih akurat dan komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. S. Amosun, S. O. Hammed, A. M. G. de Lima, and I. Habibi, "Effect of quenching media on mechanical properties of welded mild steel plate," *Mech. Eng. Soc. Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 4–11, 2023, doi: <https://doi.org/10.31603/mesi.7121>.
- [2] O. Adedipe *et al.*, "Sustainable carburization of low carbon steel using organic additives: A review," *Sustain. Mater. Technol.*, vol. 38, p. e00723, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00723>.
- [3] A. Singh, A. Ravi Raja, M. Zaheer Khan Yusufzai, and M. Vashista, "Magnetic response of mild steel at various analyzing parameters," *Mater. Today Proc.*, vol. 18, pp. 3043–3051, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.176>.
- [4] M. Thieme *et al.*, "Investigation of Mild Steel Corrosion in the Cement Production Associated with the Usage of Secondary Fuels," *Int. J. Corros.*, vol. 2020, no. 1, p. 7341029, Jan. 2020, doi: <https://doi.org/10.1155/2020/7341029>.
- [5] P. Duda, "Heat Transfer Coefficient Distribution—A Review of Calculation Methods," *Energies*, vol. 16, no. 9, p. 3683, 2023. doi: <https://doi.org/10.3390/en16093683>.
- [6] J. Fang, T. Han, Y. Bi, H. Yan, and J. Wei, "Numerical Study on Heat Transfer and Enhancement Mechanism in PCM-Filled Shell-and-Tube Heat Exchangers," *Front. Energy Res.*, vol. 10, pp. 1–12, 2022, doi: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.885564>.