

Optimisasi Pengukuran dan Pengendalian Suhu pada Furnace Industri Menggunakan Termokopel Tipe K dan Sistem PID

Desmira¹, Martias²

¹Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
e-mail: ¹desmira@untirta.ac.id

²Universitas Bina Sarana Informatika
e-mail: ²martias.mts@bsi.ac.id

Abstrak - Penelitian ini mengeksplorasi metode pengukuran dan pengendalian suhu dalam furnace yang digunakan untuk proses pemanasan baja mentah, dengan tujuan memastikan suhu yang diukur di setiap zona furnace dapat dikontrol dan dipertahankan pada tingkat yang optimal untuk pembakaran. Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan sensor termokopel tipe K yang ditempatkan di tiga zona utama furnace, yaitu zone 1, zone 2A, dan zone 2B. Sensor termokopel dipilih karena memiliki kemampuan untuk mengukur suhu dalam rentang yang luas, dari -200 °C hingga 1250 °C, serta ketahanannya terhadap suhu tinggi, respon cepat, dan akurasi pengukuran yang tinggi dengan kesalahan kurang dari 1 °C. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu di zone 1 mencapai 746,7 °C, di zone 2A mencapai 937,0 °C, dan di zone 2B mencapai 877,4 °C. Meskipun sensor termokopel mampu memberikan hasil yang akurat, suhu yang terukur belum mencapai standar yang dibutuhkan untuk pembakaran baja yang optimal, yaitu 1150 °C di zone 1 dan 1250 °C di zone 2A dan 2B. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian lebih lanjut dalam pengaturan furnace untuk mencapai suhu yang diinginkan. Untuk memfasilitasi pengendalian suhu, penelitian ini juga menggunakan sistem kontrol PID yang terintegrasi dengan Human Machine Interface (HMI). Sistem ini memungkinkan pemantauan suhu secara real-time dan memberikan kemudahan dalam melakukan penyesuaian suhu sesuai kebutuhan. Dengan kontrol yang tepat, proses pembakaran dalam furnace dapat dilakukan secara maksimal, yang berpotensi meningkatkan efisiensi energi dan kualitas produk baja yang dihasilkan. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan metode pengukuran dan kontrol suhu yang lebih efektif dalam industri metalurgi.

Kata Kunci: Furnace, Sensor Termokopel Tipe K, Kontrol PID

Abstract - This study explores the methods of temperature measurement and control in a furnace used for heating raw steel, with the goal of ensuring that the temperature measured in each furnace zone can be controlled and maintained at the optimal level for combustion. Temperature measurement is carried out using K-type thermocouples placed in the three main zones of the furnace, namely zone 1, zone 2A, and zone 2B. Thermocouples were chosen for their ability to measure temperatures over a wide range, from -200 °C to 1250 °C, as well as their durability in high temperatures, quick response, and high measurement accuracy with an error margin of less than 1 °C. The measurement results show that the temperature in zone 1 reached 746.7 °C, in zone 2A reached 937.0 °C, and in zone 2B reached 877.4 °C. Although the thermocouples provided accurate results, the measured temperature has not yet reached the standard required for optimal steel combustion, which is 1150 °C in zone 1 and 1250 °C in zones 2A and 2B. Therefore, further adjustments are needed in the furnace settings to achieve the desired temperatures. To facilitate temperature control, this study also employs a PID control system integrated with a Human Machine Interface (HMI). This system enables real-time temperature monitoring and allows for easy temperature adjustments as needed. With precise control, the combustion process in the furnace can be carried out optimally, potentially increasing energy efficiency and the quality of the steel products produced. This study provides a significant contribution to the development of more effective temperature measurement and control methods in the metallurgical industry.

Keywords: Furnace, Temperature Measurement K-Type Thermocouple, PID Control

PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur, terutama pada proses pengolahan logam, kontrol suhu yang akurat dan konsisten sangat penting untuk memastikan

kualitas produk akhir dan efisiensi operasional. Salah satu perangkat yang sangat penting dalam pengendalian suhu adalah sensor suhu. Sensor adalah perangkat yang menerima rangsangan dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Termokopel

adalah sensor suhu yang mengubah perbedaan suhu menjadi perubahan tegangan yang disebabkan oleh perbedaan kepadatan setiap logam. Perubahan tegangan tergantung pada kepadatan logam. Seperti sensor pada umumnya, sensor ini dapat digunakan sebagai masukan ke sistem kontrol. Selain membaca perubahan suhu, sensor termokopel juga berfungsi sebagai input analog ke sistem kendali (Material & Energi, 2024). Di antara berbagai jenis sensor suhu yang tersedia, sensor termokopel tipe K sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena akurasi, rentang suhu yang luas, dan biaya yang relatif terjangkau. Menurut (Manjhi & Kumar, 2019), "sensor termokopel tipe K menawarkan 'akurasi tinggi' dan 'rentang suhu luas,' menjadikannya pilihan yang ideal"

Furnace pusher adalah salah satu komponen penting dalam proses peleburan dan perlakuan panas logam, di mana material dipanaskan pada suhu tinggi untuk mencapai sifat mekanik yang diinginkan. Dalam furnace pusher, kontrol suhu yang efektif sangat penting untuk memastikan bahwa suhu di seluruh area furnace merata dan sesuai dengan parameter proses yang telah ditentukan. Ketidaktepatan dalam pengendalian suhu dapat menyebabkan hasil yang tidak konsisten dan bahkan kerusakan pada material. Sebagaimana diungkapkan oleh (Bohlooli Arkhazloo et al., 2021), "pengendalian suhu yang tepat adalah 'kunci utama' untuk 'mencapai homogenitas material' dan 'menghindari cacat produksi'"

Suhu adalah ukuran energi panas suatu benda. Ini adalah panas atau dingin relatif suatu medium. Biasanya diukur dalam derajat menggunakan Fahrenheit (F) atau Celsius (C), Rankine (R) atau Kelvin (K). Sensor termokopel merupakan sensor suhu yang sering digunakan untuk mengubah perbedaan suhu antar benda menjadi perubahan tegangan. Termokopel sederhana dengan tipe konektor standar yang sama dapat dipasang dan suhu dapat diukur pada rentang suhu yang cukup luas dari -200 °C hingga 1800 °C dengan margin kesalahan pengukuran kurang dari 1 °C (Manjhi & Kumar, 2019). Termokopel adalah transduser suhu aktif yang terbuat dari dua logam berbeda, dengan titik pengukuran di persimpangan dua logam dan titik keluaran di titik lainnya. Termokopel merupakan salah satu sensor yang paling umum digunakan untuk pengukuran suhu karena relatif murah, akurat, dan dapat beroperasi pada suhu tinggi atau rendah (Evalina et al., 2022).

Termokopel adalah sensor suhu yang umum digunakan dalam industri. Prinsip kerja sensor termokopel adalah mengubah perbedaan suhu akibat perbedaan massa jenis setiap logam menjadi perubahan tegangan. Perubahan tegangan tergantung pada kepadatan logam (Pradipta et al., 2022). Sensor

termokopel didasarkan pada sifat termal logam. Saat Anda memanaskan salah satu ujung batang logam, elektron di ujung logam bergerak lebih aktif dan menempati lebih banyak ruang. Elektron berkumpul dan bergerak menuju ujung batang yang tidak dipanaskan. Hal ini menciptakan muatan positif pada ujung batang yang dipanaskan dan muatan negatif pada ujung yang tidak dipanaskan. Termokopel adalah sensor suhu yang mengubah perbedaan suhu menjadi perubahan tegangan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan massa jenis masing-masing logam, yang bergantung pada massa jenis logam tersebut. Ketika dua logam dihubungkan pada ujungnya dan dipanaskan, elektron yang lebih rapat akan berpindah ke logam yang kurang rapat. Oleh karena itu, terdapat perbedaan tegangan antara ujung-ujung termokopel. Hubungan antara tegangan dan perubahan suhu kira-kira linier dalam kisaran suhu tertentu (Wendri et al., 2012).

Termokopel adalah jenis sensor suhu yang dirancang untuk mengubah perbedaan panas suatu benda yang suhunya diukur menjadi tegangan. Termokopel terdiri dari dua kabel logam berbeda yang dihubungkan satu sama lain di salah satu ujungnya. Ketika dua kabel yang terhubung menjalani perlakuan panas, perbedaan tegangan terjadi pada kabel lainnya. Besarnya perbedaan tegangan tergantung pada bahan atau jenis termokopel. Perubahan tegangan yang diberikan termokopel diproses lebih lanjut untuk mendapatkan nilai suhu saat ini (Sutarya et al., 2008). Thermocouple atau Termokopel adalah sensor suhu yang paling umum digunakan pada boiler, mesin press, oven, dan lain-lain. Termokopel dapat mengukur suhu pada rentang suhu yang cukup luas dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1°C. Termokopel terdiri dari dua konduktor logam yang dihubungkan pada kedua ujungnya sebagai ujung pengukuran. Konduktor ini mengembangkan gradien suhu, dan perbedaan suhu antara ujung termokopel/probe dan ujung dua kabel konduktor logam terpisah menciptakan tegangan. Ini disebut efek termoelektrik. Perbedaan ini biasanya berkisar antara 1 dan 70 mikrovolt per derajat Celsius perbedaan yang dihasilkan dari kombinasi logam modern. Oleh karena itu, sangat penting untuk diingat bahwa termokopel hanya mengukur perbedaan suhu antara dua titik, bukan suhu absolut. Oleh karena itu, Anda tidak dapat menggunakan termokopel untuk mengukur suhu ruangan karena tidak ada perbedaan antara ujung pengukuran dan ujung acuan kedua kabel logam (Rosman N., 2018).

Salah satu parameter penting dalam peleburan baja adalah stabilitas suhu struktur baja yang diinginkan. Pemantauan stabilitas suhu dalam bisnis secara tradisional masih dilakukan melalui observasi operator melalui monitor daripada menggunakan data logger suhu. Di sisi lain, bagi pengguna dengan data

logger suhu, harga per unitnya sangat tinggi, bahkan jika digunakan sebagai dasar analisis, meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pemantauan proses untuk melacak hasil produksi. Setiap tungku dipantau dengan termometer yang terhubung ke ruang kendali melalui kabel panjang. Semakin banyak titik pemantauan yang diperlukan, semakin panjang termokopel dan panjang kabel yang digunakan. Hal ini dapat menyebabkan masalah teknis baik pada sistem maupun kebersihan lingkungan (Rahmat, 2015). Ketika salah satu ujung batang logam dipanaskan, elektron pada ujung logam bergerak lebih aktif dan menempati lebih banyak ruang. Elektron saling tolak menolak dan bergerak menuju ujung batang yang tidak dipanaskan. Oleh karena itu, batang yang dipanaskan mempunyai muatan positif dan batang yang tidak dipanaskan mempunyai muatan negatif. Termokopel adalah sensor suhu yang dapat mengubah perbedaan suhu menjadi perubahan tegangan. Hal ini disebabkan adanya perbedaan massa jenis masing-masing logam dan bergantung pada massa jenis logam tersebut (Pristiansyah et al., 2022).

Sensor termokopel biasa digunakan pada berbagai rangkaian atau perangkat listrik dan elektronik yang berhubungan dengan suhu. Keuntungan yang membuat termokopel populer mencakup responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan rentang suhu pengoperasian yang luas dari -200°C hingga 1250°C. Termokopel sangat populer karena memiliki respon yang cepat, rentang temperatur yang luas, tahan terhadap guncangan dan getaran, serta mudah digunakan. Terbuat dari kromel dan alumel [(Sari, 2022)]. Termokopel adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mengukur suhu menggunakan prinsip Seebeck. Ketika sambungan dua logam dipanaskan, timbul beda potensial atau tegangan. Dalam beberapa aplikasi, satu terminal dihubungkan ke benda yang diukur dan terminal dingin lainnya dipertahankan sebagai suhu referensi. Komponen utama termokopel terdiri dari dua batang logam untuk pengukuran suhu dan soket yang menghubungkan kabel termokopel menuju termokopel (Saputro et al., 2021). Termokopel adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis konduktor logam berbeda yang digabungkan pada ujungnya, menciptakan efek "termoelektrik". Efek termoelektrik: Konduktor logam yang diberi perbedaan gradien termal menghasilkan tegangan. Perbedaan tegangan antara dua transisi disebut efek "Seebeck" (Setiyoko & Yuliana, 2022). Termokopel terbuat dari bahan tertentu dan kawat berupa campuran platina dan rodium. Termokopel juga dapat dibuat dari bahan tembaga dan konstantan (campuran tembaga dengan nikel) besi dan beberapa material (Azhari et al., 2019). Efek thermo-electric ditemukan oleh seorang fisikawan bernama Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821, di mana logam konduktor

yang diberi perbedaan panas secara gradient akan menghasilkan tegangan listrik. Perbedaan tegangan listrik di antara dua persimpangan (junction) ini dinamakan dengan efek "Seebeck" (Azhari et al., 2019).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan menggunakan pendekatan eksperimental dengan desain penelitian berikut:

a. Pemilihan dan Instalasi Sensor

Jenis Sensor: Termokopel tipe K dengan rentang suhu dari -200°C hingga 1800°C akan digunakan karena kemampuannya dalam menangani suhu ekstrem dan kestabilannya yang tinggi (Ruan et al., 2023).

Lokasi Instalasi: Sensor akan dipasang di berbagai titik dalam furnace pusher untuk memantau suhu di berbagai zona, termasuk area masuk, tengah, dan keluar furnace. Penempatan yang strategis ini penting untuk mendapatkan data yang representatif mengenai suhu di seluruh area furnace (Xu et al., 2019).

Peralatan Tambahan: Kalibrator suhu, data logger, dan perangkat analisis suhu akan digunakan untuk memastikan akurasi dan konsistensi pengukuran. Kalibrator suhu diperlukan untuk memastikan bahwa sensor termokopel berfungsi sesuai dengan spesifikasinya (Black, 1965).

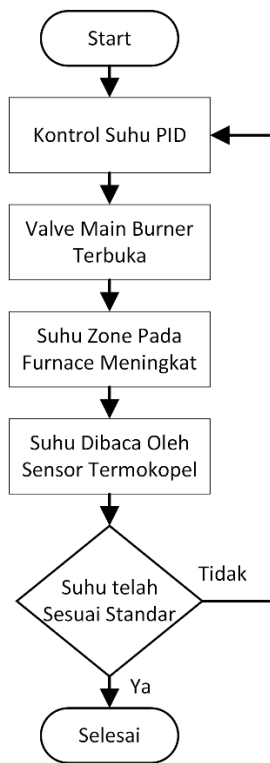
b. Pengumpulan Data

Pengukuran Suhu: Data suhu akan dikumpulkan secara real-time selama operasi furnace. Pengukuran dilakukan pada berbagai kondisi operasional, termasuk suhu awal, suhu puncak, dan saat proses pendinginan. Pengumpulan data yang komprehensif ini bertujuan untuk menangkap variasi suhu di berbagai kondisi (Ballantyne & Moss, 1977).

Frekuensi Pengambilan Data: Data akan diambil pada interval waktu tertentu (misalnya, setiap menit) untuk memastikan pemantauan yang komprehensif. Frekuensi yang tinggi dalam pengambilan data membantu dalam analisis dinamika suhu secara akurat (Ballantyne & Moss, 1977).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran suhu di dalam furnace dilakukan dengan cara meletakkan ujung lidah dari sensor termokopel pada tiap zone yaitu zone 1, zone 2A dan zone 2B. Alur kendali suhu dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Proses Pengambilan Data Oleh Sensor

Proses pengambilan data oleh sensor dimulai dengan mengontrol suhu menggunakan PID pada ruangan operator, pada proses kontrol ini akan membuka valve main burner untuk memperbesar gas yang keluar sesuai dengan kebutuhan yang akan mengakibatkan suhu furnace pada tiap zone meningkat, nantinya suhu tiap zone akan dibaca oleh sensor termokopel dan data tersebut akan dikirim menuju ruangan operator yang ditampilkan pada HMI, suhu akan terus dimonitoring sampai didapat hasil suhu yang diinginkan.

Sensor termokopel diletakkan pada tempat yang dapat mengukur suhu secara optimal pada setiap zone. Pengukuran suhu pada tiap zone ini diperlukan untuk menjaga kualitas produk. Hasil pengukuran sensor termokopel pada setiap zone dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Sensor

No	Zone	Suhu
1.	1	746.7 °C
2.	2A	937.0 °C
3.	2B	877.4 °C

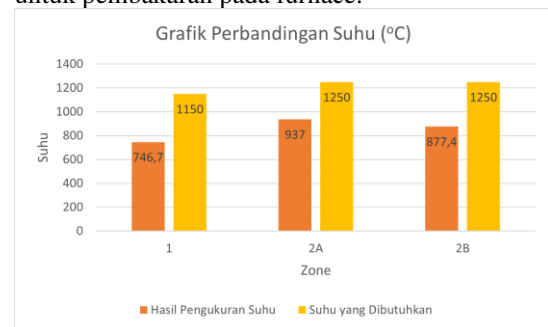
Pada Tabel 1. merupakan hasil pengukuran suhu oleh sensor termokopel pada furnace. Pada zone 1,

suhu yang terukur oleh sensor yaitu 746,7 oC. Pada zone 2A, suhu yang terukur oleh sensor yaitu 937,0 oC. Pada zone 2B, suhu yang terukur oleh sensor yaitu 877,4 oC. Setiap zone masing-masing memiliki standar suhu yang diperlukan untuk mencapai titik lunak baja mentah. Suhu pada zone dapat disesuaikan dengan keinginan tergantung dari bahan material baja mentah yang ingin dilunakkan. Adapun standar suhu yang diperlukan pada furnace untuk melakukan pembakaran di setiap zone dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Batas Suhu Tiap Zone

No	Zone	Suhu Yang Dibutuhkan
1.	1	1150.0 °C
2.	2A	1250.0 °C
3.	2B	1250.0 °C

Pada Tabel 2. terdapat perbedaan standar suhu yang dibutuhkan setiap zone karena pemanasan pada baja dilakukan secara bertahap selama 30 menit. Standar suhu ini digunakan sebagai acuan yang mana setiap zone harus mendapat suhu yang diperlukan untuk pembakaran pada furnace.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Suhu Hasil Pengukuran dan Suhu yang Dibutuhkan

Pada Gambar 2. merupakan grafik perbandingan antara suhu hasil pengukuran dan suhu yang dibutuhkan pada tiap zone. Dari grafik tersebut terlihat bahwa suhu pada furnace yang telah terukur belum mencapai suhu yang dibutuhkan untuk pembakaran, sehingga suhu masih perlu ditingkatkan hingga mencapai standar suhu yang dibutuhkan.

Untuk mendapatkan suhu sesuai yang dibutuhkan, maka dari itu pada setiap zone perlu diletakkan sensor termokopel untuk mengukur suhu pada furnace. Berikut letak sensor termokopel yang terdapat pada zone 2A dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 3. Sensor Termokopel Zone 2A

Pada Gambar 4. merupakan letak sensor termokopel pada zone 2A. Zone 2A merupakan proses lanjutan dari zone 1 yang mana terdapat perbedaan suhu yang dibutuhkan antara zone 2A dan zone 1. Pada zone 2A suhu yang dibutuhkan naik 100 oC dari zone sebelumnya yaitu zone 1.

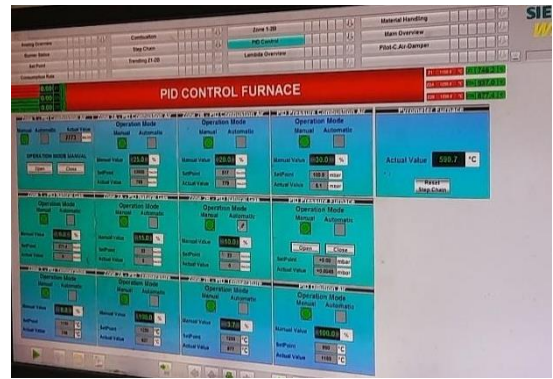
Selanjutnya, untuk sensor termokopel yang ketiga diletakkan pada zone 2B yang merupakan lanjutan dari zone sebelumnya yaitu zone 2A. Letak sensor termokopel pada zone 2B dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sensor Termokopel Zone 2B

Pada Gambar 4. merupakan letak sensor termokopel pada zone 2B yang bertujuan untuk mengukur suhu pada proses akhir sebelum baja mentah keluar, sehingga untuk menjaga kestabilan suhu di dalam furnace agar tetap berada pada suhu 1250.0 oC atau sama dengan zone sebelumnya, maka diletakkanlah sensor termokopel.

Untuk melakukan monitoring secara menyeluruh terdapat sistem kontrol PID dalam bentuk Human Machine Interface (HMI) yang berguna untuk melihat pembaruan suhu yang didapat dari pengukuran sensor termokopel pada zone 1, 2A, 2B dan juga untuk mengatur batas suhu yang diinginkan. Tampilan antarmuka kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan Kontrol PID

Pada Gambar 5. merupakan tampilan kontrol PID pengukuran suhu pada furnace yang terbaca oleh sensor termokopel. Penggunaan HMI bertujuan untuk memudahkan pengendalian penuh terhadap kontrol PID pada furnace. Sensor termokopel selain digunakan untuk mengukur suhu pada furnace, juga digunakan sebagai input analog pada sistem kontrol PID.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengukuran suhu dalam furnace menggunakan sensor termokopel menghasilkan data yang akurat di setiap zona pengukuran. Pada zone 1, suhu yang terukur adalah 746,7 °C, di zone 2A adalah 937,0 °C, dan di zone 2B adalah 877,4 °C. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor termokopel, khususnya tipe K, mampu mengukur suhu dalam rentang yang luas, mulai dari -200 °C hingga 1250 °C, seperti yang dijelaskan oleh Pujianto dkk. dalam jurnal mereka.

Sensor termokopel dipilih untuk digunakan dalam furnace karena memiliki sejumlah keunggulan, termasuk ketahanan terhadap suhu tinggi hingga 1250 °C, respon yang cepat, daya tahan terhadap guncangan dan getaran, kemudahan penggunaan, serta akurasi pengukuran yang tinggi dengan kesalahan kurang dari 1 °C. Penggunaan sensor termokopel dalam furnace memastikan bahwa suhu dapat diukur dengan presisi, memungkinkan kontrol suhu yang optimal. Dengan demikian, proses pembakaran dalam furnace dapat dilakukan secara maksimal, yang pada akhirnya berdampak positif terhadap kualitas produk yang dihasilkan.

REFERENSI

- Azhari, R. M., Azhar, & Kamal, M. (2019). Rancang Bangun Sistem Pengendalian Suhu dan Level pada Proses Penyulingan Air Laut Menjadi Air Tawar dengan Metode Boiling. *Jurnal TEKTR0*, 3(2), 113–118.
- Ballantyne, A., & Moss, J. B. (1977). Fine wire thermocouple measurements of fluctuating temperature. *Combustion Science and Technology*, 17(1–2), 63–72. <https://doi.org/10.1080/00102209708946813>
- Black, C. A. (1965). Methods of soil analysis, part II. *Amer. Soc. Inc. Pub.*, 770-79.
- Bohlooli Arkhazloo, N., Bazdidi-Tehrani, F., Morin, J. B., & Jahazi, M. (2021). Optimization of furnace residence time and loading pattern during heat treatment of large size forgings. In *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (Vol. 113, Issues 9–10). <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06807-y>
- Evalina, N., Pasaribu, F. I., H, A. A., & Sary, A. (2022). Penggunaan Arduino Uno Untuk Mengatur Temperatur Pada Oven. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 4(2), 122–128. <https://doi.org/10.30596/rele.v4i2.9559>
- Manjhi, S. K., & Kumar, R. (2019). Performance assessment of K-type, E-type and J-type coaxial thermocouples on the solar light beam for short duration transient measurements. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 146, 343–355. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.06.035>
- Material, J. R., & Energi, M. (2024). *FT-UMSU FT-UMSU*. 7(2), 335–342.
- Pradipta, A., Adyapaka Apatya, Y. B., & Krismastuti, H. (2022). Kendali Suhu Pada Mesin Hostia Baking Oven Menggunakan Sensor Thermocouple Tipe K. *Jurnal Elektro Luceat (JEC)*, 8(1), 16–23.
- Pristiansyah, Pranandita, N., Haritsah Amrullah, M., & Hasdiansah. (2022). Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat JURNAL DAMARWULAN Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(1), 45–49. <https://ejournal.iaifa.ac.id/index.php/JPMD/article/view/485>
- Rahmat, M. R. (2015). Perancangan dan Pembuatan Tungku Heat Treatment. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Islam* 45, 3(2), 133–148.
- Rosman N., A. (2018). Perancangan Termokopel Berbahan Besi (Fe) dan Tembaga (Cu) Untuk Sensor Temperatur. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*, 4(2), 120. <https://doi.org/10.26858/ijfs.v4i2.7640>
- Ruan, Y., Li, J., Xiao, Q., Wu, Y., & Shi, M. (2023). High-Temperature Failure Evolution Analysis of K-Type Film Thermocouples. *Micromachines*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/mi14112070>
- Saputro, H., Baturaja, U., & Yani, J. A. (2021). Jurnal Informatika dan Komputer(JIK). *Jik*, 12(2), 83.
- Sari, L. A. P. (2022). Rancang Bangun Sistem Kontrol Temperature Chamber. *Jurnal Instrumentasi Dan Teknologi Informatika (JITI)*, 4(1), 61–68.
- Setiyoko, A., & Yuliana, D. E. (2022). Kendali Suhu Minyak Goreng Pada Penggorengan Sosis Menggunakan Kontrol PID. *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, 3(01), 52–62. <https://doi.org/10.31328/jasee.v3i01.6>
- Sutarya, D., Bahan, B., & Nuklir -Ptbn, B. (2008). Analisis Unjuk Kerja Thermocouple W3Re25 pada Suhu Penyinteran 1500°C. *Journal Batan*, 01(01), 16–24. <http://jurnal.batan.go.id/index.php/pin/article/viewFile/2543/2327>
- Wendri, N., Wayan Supardi, I., Suarbawa, K. N., & Made Yuliantini, N. (2012). Alat Pencatat Temperatur Otomatis Menggunakan Termokopel Berbasis Mikrokontroler At89S51. *Buletin Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana*, 13(1), 29–33. www.wfunda.com/desingstandards/sensors/
- Xu, Z., Li, Z., Zhao, D., Liu, X., & Yan, J. (2019). Effects of Zn on intermetallic compounds and strength of Al/Mg joints ultrasonically soldered in air. *Journal of Materials Processing Technology*, 271(December 2018), 384–393. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.04.019>