



Rancang Bangun Sistem Pemantauan Suhu Kowi pada Peleburan Emas Berbasis IoT Menggunakan ESP32 dan Blynk

Sujono¹, Mohammad Ghazi Al Ghifari²

¹Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas KH. A. Wahab Hasbullah, Jl. Garuda No.9, Jombang, Jawa Timur, Indonesia, 61451

² Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas KH. A. Wahab Hasbullah, Jl. Garuda No.9, Jombang, Jawa Timur, Indonesia, 61451

Penulis Korespondensi: dsghazi@gmail.com

Abstract. The gold jewelry industry, particularly within Small and Medium Enterprises (SMEs), often faces crucial challenges regarding product quality consistency due to high reliance on conventional melting methods. Currently, the vital control of melting temperature relies solely on the operator's visual intuition in observing the glowing color gradation of the crucible. Dependence on this subjective approach carries significant production risks, including porosity defects, low metal alloy homogeneity, and substantial financial losses due to gold mass shrinkage or evaporation caused by overheating. This study aims to engineer a precise real-time temperature monitoring system based on the Internet of Things (IoT) to address these issues. The system is developed by integrating an ESP32 microcontroller as the main processing unit that processes digital data from a Type-K thermocouple sensor and MAX6675 amplifier module, then visualizing the data directly through the Blynk app interface on a smartphone. The research method includes designing hardware resistant to extreme heat environments, developing smart notification algorithms for early warning, and field testing on 24-karat pure gold melting.

Test results show that the system is capable of monitoring the thermal characteristics of melting through outer crucible wall measurements up to a stable temperature of 625 degrees Celsius, which empirically correlates with the liquid phase of pure gold. The system also features responsive data transmission performance with an average latency of only 1.2 seconds. Additionally, the early warning feature successfully operates effectively at a calibration threshold of 620 degrees Celsius. Implementation of this system proves capable of increasing operational time efficiency and minimizing the risk of melting failure, making it a vital appropriate technology solution for the modernization of the gold industry.

Keywords: Blynk; ESP32; Gold Melting; Internet of Things; Temperature Monitoring

Abstrak. Industri perhiasan emas, khususnya dalam skala Usaha Kecil Menengah (UKM), seringkali dihadapkan pada tantangan krusial mengenai konsistensi mutu produk akibat ketergantungan yang tinggi pada metode peleburan konvensional. Selama ini, pengendalian suhu proses peleburan yang sangat vital hanya bertumpu pada intuisi visual operator dalam mengamati perubahan gradasi warna pijar pada kowi. Ketergantungan pada pendekatan subyektif ini membawa risiko produksi yang signifikan, mencakup cacat porositas, homogenitas paduan logam yang rendah, hingga kerugian finansial substansial akibat penyusutan massa emas atau evaporasi yang disebabkan oleh suhu berlebih (overheating). Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan sistem pemantauan suhu waktu nyata (real-time) berbasis Internet of Things (IoT) yang presisi guna mengatasi permasalahan tersebut. Sistem dikembangkan dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama yang mengolah data digital dari sensor termokopel Tipe-K dan modul penguat MAX6675, kemudian memvisualisasikan data tersebut secara langsung melalui antarmuka aplikasi Blynk pada telepon pintar. Metode penelitian mencakup perancangan perangkat keras yang tahan terhadap lingkungan panas ekstrem, pengembangan algoritma notifikasi cerdas untuk peringatan dini, serta pengujian lapangan pada peleburan emas murni 24 karat.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memantau karakteristik termal peleburan melalui pengukuran dinding luar kowi hingga mencapai suhu stabil 625 derajat Celsius, yang secara empiris berkorelasi dengan fase cair emas murni. Sistem juga memiliki performa transmisi data yang responsif dengan latensi rata-rata hanya 1,2 detik. Selain itu, fitur peringatan dini berhasil beroperasi efektif pada ambang batas kalibrasi 620 derajat Celsius. Implementasi sistem ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi waktu operasional dan meminimalisir risiko kegagalan peleburan, menjadikannya solusi teknologi tepat guna yang vital bagi modernisasi industri emas.

Kata kunci: Blynk; ESP32; Internet of Things; Peleburan Emas; Pemantauan Suhu

1. LATAR BELAKANG

Kenyataan di lapangan bagi mitra Industri Kecil Menengah (IKM) menggambarkan kondisi yang sangat berbeda dari tuntutan akurasi. Proses produksi masih mengandalkan metode yang sangat tradisional dan bergantung sepenuhnya pada manusia. Dalam pengendalian kualitas saat ini, pengetahuan yang digunakan adalah pengetahuan tacit, di mana pengrajin menilai warna pijar kowi secara subjektif melalui persepsi visual untuk membedakan antara merah cerah, oranye, atau kuning sebagai tanda suhu. Salah satu kelemahan utama metode ini adalah subjektivitas dari mata operator, yang mudah mengalami kelelahan dan dapat mengakibatkan kesalahan dalam penilaian. Selain itu, keahlian berbasis intuisi ini sulit untuk diajarkan atau ditransfer secara standar kepada pengrajin generasi selanjutnya. Selain itu, metode manual ini memaksa operator untuk berada sangat dekat dengan sumber panas untuk memantau perubahan fase logam. Hal ini menciptakan keadaan kerja yang meningkatkan risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) yang serius, yang bisa berupa masalah jangka panjang seperti kerusakan mata atau katarak akibat paparan radiasi inframerah, hingga risiko jangka pendek seperti cedera karena semburan panas atau percikan logam cair. Akibatnya, modernisasi di bidang ini bukan semata-mata untuk keuntungan, tetapi juga untuk memperbaiki kondisi kerja (Kurniawan, 2023; Wijaya & Sutaya, 2021).

Sebagai tanggapan terhadap tantangan yang kompleks ini, solusi teknologi yang tepat hadir melalui pengintegrasian sistem Internet of Things (IoT) yang dirancang khusus untuk kebutuhan industri peleburan. Teknologi ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat dari sistem tersebut. Mikrokontroler ini dipilih karena arsitektur dual-core yang memungkinkan satu inti untuk mengumpulkan data sensor suhu dengan cepat, sementara inti lainnya mengurus transmisi data nirkabel melalui Wifi, memastikan bahwa informasi yang tampil di layar pemantau adalah data real-time tanpa keterlambatan berarti (Espressif Systems, 2022). Namun, tujuan utama dari intervensi ini lebih dari sekadar pemasangan perangkat keras. Tujuannya adalah memberikan pendidikan mendalam tentang literasi data termal, mengubah cara pengrajin dari hanya melihat api menjadi mampu menganalisis grafik karakteristik termal pada perangkat. Mitra dibantu untuk memahami pola kenaikan suhu, sehingga mereka dapat menentukan kapan logam siap untuk dituangkan berdasarkan data yang akurat tanpa membahayakan diri dengan melihat langsung ke dalam tungku. Seluruh intervensi teknologi dan edukasi ini bertujuan untuk menciptakan perubahan sosial yang signifikan, yaitu peralihan dari metode berbasis intuisi menuju metode berbasis data. Perubahan perilaku ini diharapkan dapat memberikan efisiensi ganda yang berdampak langsung pada kesejahteraan mitra. Dari sisi ekonomi, akurasi suhu akan mengurangi tingkat kegagalan produk dan meminimalkan kerugian finansial akibat penguapan emas. Dari sudut pandang ergonomis, kemampuan untuk memantau suhu dari jarak yang aman melalui perangkat seluler akan menciptakan lingkungan kerja yang lebih sehat, nyaman, dan berisiko rendah, memastikan keberlanjutan profesi pengrajin emas dalam jangka panjang.

2. KAJIAN TEORITIS

Emas adalah komoditas logam berharga dengan nilai ekonomi yang sangat tinggi, sehingga proses pengolahannya memerlukan ketelitian metalurgi yang ketat, bukan sekadar pemanasan logam biasa. Fokus dari proses ini adalah mencapai titik lebur kritis

dari emas murni pada suhu 1064,18 derajat Celcius, yang merupakan batas absolut di mana bentuk padat beralih menjadi cair (World Gold Council, 2022). Dalam dinamika termal ini, ketepatan suhu menjadi faktor kunci yang menentukan kualitas; jika suhu optimal tidak tercapai, cairan logam akan memiliki fluiditas yang rendah atau kental, sehingga tidak dapat mengalir ke semua bagian cetakan perhiasan yang rumit, mengakibatkan cacat pada produk atau yang dikenal dengan istilah misrun. Di sisi lain, tantangan menjadi lebih sulit ketika suhu melebihi batas leleh yang seharusnya. Kondisi kelebihan panas ini menghasilkan dua masalah serius: yang pertama adalah terjebaknya gas-gas udara dalam logam cair yang menyebabkan porositas atau munculnya lubang-lubang kecil saat emas membeku, dan yang kedua adalah terjadinya evaporasi atau penguapan material. Dalam industri emas, fenomena penguapan ini bukan hanya perubahan fisik, tetapi juga suatu gambaran nyata dari kerugian finansial akibat hilangnya massa atau gramasi emas yang terbuang ke udara (Cengel & Ghajar, 2020).

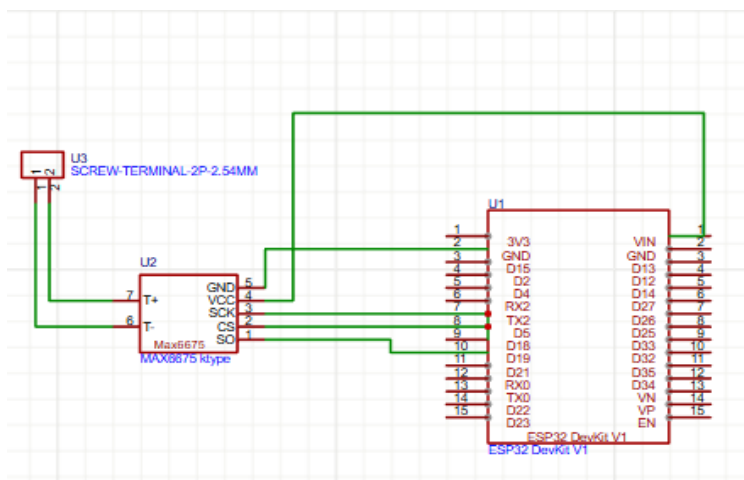
3. METODE PENELITIAN

3.1. Desain Sistem

Sistem ini dirancang dengan arsitektur loop terbuka. Input data diperoleh dari termokopel Tipe-K yang mendeteksi panas pada dinding kowi. Sinyal analog dari sensor kemudian dikuatkan dan melalui proses kompensasi cold-junction menggunakan modul MAX6675 (Maxim Integrated, 2014). Mikrokontroler ESP32 membaca data digital tersebut melalui protokol komunikasi SPI (Serial Peripheral Interface) untuk diproses sesuai logika ambang batas suhu. Output data dikirimkan ke platform antarmuka Blynk melalui koneksi Wi-Fi (Blynk Inc., 2023) untuk pemantauan jarak jauh.

3.2. Perancangan Perangkat Keras

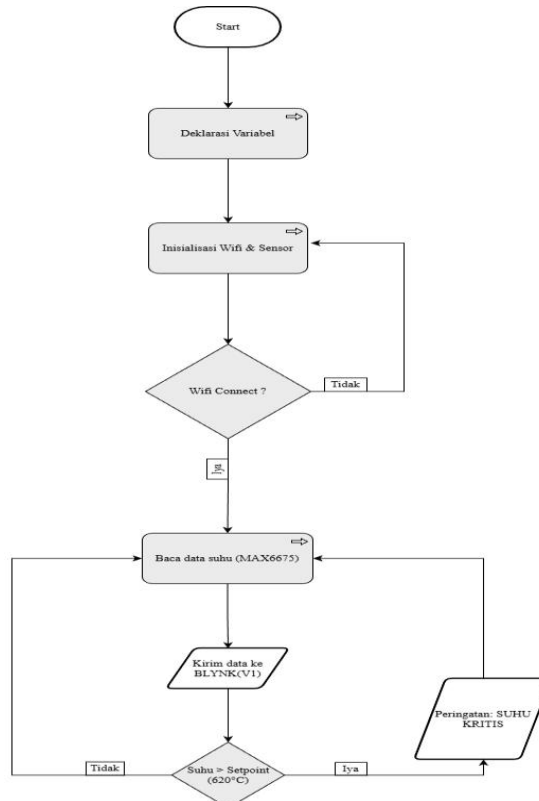
Desain perangkat keras menekankan pada aspek durabilitas terhadap lingkungan panas ekstrem. Sensor yang digunakan adalah Termokopel Tipe-K dengan probe berbahan stainless steel sepanjang 30 cm untuk menjaga jarak aman kabel dari lidah api. Unit pemroses utama menggunakan development board ESP32-DEVKIT V1 yang ditenagai oleh catu daya 5V standar.



Gambar 1. Diagram Pengkabelan/Schematic

3.3. Algoritma Perangkat Lunak

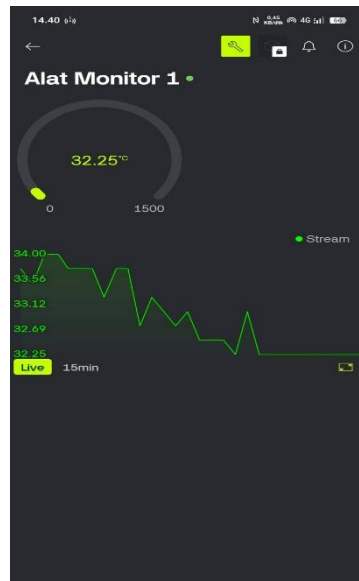
Perangkat lunak pada mikrokontroler ESP32 dirancang menggunakan logika pemrograman sequential yang berjalan dalam loop tertutup. Algoritma dimulai dengan inialisasi pin I/O dan koneksi ke server Blynk. Setelah koneksi stabil, sistem membaca data suhu, memvalidasi, dan mengirimkannya ke aplikasi setiap 1 detik. Selain itu, sistem menerapkan fungsi kondisional (decision making) untuk keselamatan kerja: apabila suhu terdeteksi melebihi ambang batas kalibrasi (620°C), sistem secara otomatis memicu notifikasi peringatan ke pengguna. Alur kerja program secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 2.



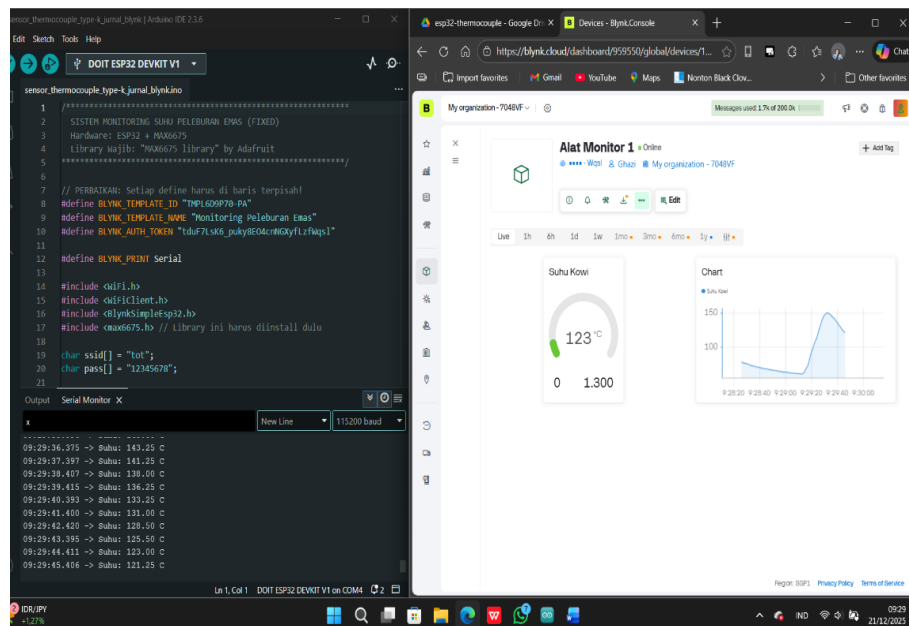
Gambar 2. Diagram Alir (Flowchart) Sistem Monitoring Suhu

3.4. Perancangan Antarmuka Pengguna

Konfigurasi Human-Machine Interface (HMI) dilakukan pada platform Blynk IoT. Komunikasi data menggunakan kanal Virtual Pin (V1) dengan tipe data Double Precision. Fitur notifikasi dikonfigurasi menggunakan Event Logic. Pada sisi dashboard aplikasi mobile, digunakan widget Gauge untuk pemantauan suhu sesaat dan SuperChart untuk visualisasi tren kenaikan suhu (heating curve) terhadap waktu. Tampilan antarmuka yang dirancang dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3. Tampilan Visual dari BLYNK pada HP
Dan juga tampilan pada Webnya:



Gambar 4. Tampilan pada website/laptop

3.5. Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan secara langsung (in-situ) di lokasi pengrajin emas. Parameter utama yang diamati meliputi: (1) Akurasi pembacaan suhu dinding luar kowi dibandingkan dengan fase leleh emas; (2) Respon waktu sistem (latensi) dari sensor ke aplikasi; dan (3) Ketahanan alat selama operasi kontinyu dalam durasi 1-2 jam.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Implementasi Sistem

Tahap implementasi merupakan realisasi fisik dari rancangan skematik. Sensor termokopel Tipe-K dipasang menggunakan kabel *shielded* (terlindung serat logam) yang diperpanjang agar unit elektronik dapat diletakkan pada jarak aman, kurang lebih 1 meter dari tungku peleburan, untuk menghindari kerusakan komponen akibat radiasi panas. Pada sisi antarmuka pengguna, *dashboard* Blynk menampilkan widget *Gauge* untuk pemantauan suhu real-time dan *SuperChart* untuk memvisualisasikan riwayat kenaikan suhu (*heating curve*) terhadap waktu.

4.1.1. Implementasi Perangkat Keras

Perangkat keras utama dirakit dalam kotak panel yang ringkas. Sensor termokopel Tipe-K dipasang menggunakan kabel *shielded* (terlindung serat logam) yang diperpanjang agar unit elektronik dapat diletakkan pada jarak aman, kurang lebih 1 meter dari tungku peleburan. Hal ini krusial untuk menghindari kerusakan komponen mikrokontroler akibat radiasi panas langsung dari lidah api las oksigen.

4.1.2. Implementasi Antarmuka Pengguna

Pada sisi antarmuka pengguna (user interface), konfigurasi aplikasi Blynk telah berhasil menampilkan data telemetri. Dashboard utama menampilkan widget *Gauge* untuk pemantauan suhu secara real-time dan widget *SuperChart* untuk memvisualisasikan riwayat kenaikan suhu (*heating curve*) terhadap waktu, memungkinkan operator memantau laju pemanasan secara visual.



Gambar 5. Tampilan Antarmuka Aplikasi Blynk pada Smartphone

4.2. Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dalam dua tahap, yaitu pengujian fungsional di laboratorium dan pengujian lapangan secara in-situ.

4.2.1. Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional bertujuan memvalidasi kinerja modul per modul. Berdasarkan pengujian, konektivitas Wi-Fi ESP32 berjalan stabil dengan IP Address terdeteksi pada jaringan lokal. Pembacaan sensor merespons linier dengan kenaikan nilai saat ujung probe dipanaskan. Selain itu, fitur notifikasi berhasil memunculkan pesan peringatan pada aplikasi saat diuji dengan simulasi kode ambang batas, memastikan logika alarm berjalan sebelum alat dibawa ke lapangan.

Tabel 1. Tabel Pengujian

No	Komponen /Fitur	Skenario Pengujian	Hasil yang diharapkan	Status
1.	Konektivitas WIFI	Menghubungkan ESP32 ke hotspot	IP address muncul di serial monitor	Berhasil
2.	Pembacaan sensor	Memanaskan ujung sensor dengan las oksigen	Nilai suhu di Blynk naik	Berhasil
3.	Notifikasi	Mensimulasikan suhu >620°C (via kodingan uji)	Notifikasi "Hati hati suhu kritis" muncul	Berhasil
4.	Stabilitas Data	Menjalankan alat selama 1 jam	Tidak terjadi disconnect atau lag	Berhasil

4.2.2. Pengujian Lapangan

Pengujian utama dilakukan pada proses peleburan emas murni 24 karat seberat 1 gram. *Probe* sensor ditempatkan menyentuh dinding luar kowi (*contact method*) sesuai standar keamanan kerja pengrajin agar tidak mengganggu proses pengadukan logam cair.

4.2.2.1. Analisis Karakteristik Termal

Berdasarkan data grafik yang terekam pada *SuperChart*, suhu terukur menunjukkan peningkatan signifikan saat api las mengenai kowi. Ketika sensor mencapai angka stabil di sekitar 625°C, teramati secara visual bahwa emas 24K telah sepenuhnya mencair (fase cair). Terdapat perbedaan signifikan antara titik leleh teoritis emas murni (1064°C) dengan pembacaan sensor dinding luar (625°C). Fenomena ini wajar terjadi akibat adanya gradien termal; dinding kowi berbahan tanah liat berfungsi sebagai isolator sebagian yang memperlambat perambatan panas dari inti leburan ke permukaan luar tempat sensor berada.

4.2.2.2. Validasi Fitur Keselamatan

Fitur keselamatan diuji dengan menyesuaikan ambang batas alarm berdasarkan temuan empiris di atas. Karena suhu leleh efektif terbaca pada

625°C, maka *setpoint* notifikasi pada program dikalibrasi ulang menjadi 620°C. Hasil validasi menunjukkan bahwa saat suhu sensor menyentuh 621°C, notifikasi *pop-up* "Hati-hati: Suhu Kritis" berhasil muncul di *smartphone* dengan latensi rata-rata kurang dari 2 detik.

4.3. Pembahasan

4.3.1. Analisis Komparatif Metode

Integrasi ESP32 dan termokopel Tipe-K terbukti mampu menggantikan metode perkiraan visual yang subjektif dengan data objektif. Sebelumnya, pengrajin hanya mengandalkan warna pijar kowi yang rentan bias akibat kelelahan mata. Dengan sistem ini, keputusan penuangan logam didasarkan pada angka pasti (625°C), sehingga konsistensi mutu produk lebih terjamin.

4.3.2. Implikasi Ekonomis dan Operasional

Penerapan alat ini memberikan dampak ganda. Secara operasional, responsivitas notifikasi memberikan jeda waktu krusial bagi operator untuk mencegah overheating. Secara ekonomi, pencegahan suhu berlebih berpotensi mengurangi kerugian susut emas (gold loss) akibat evaporasi sebesar 1-2% per siklus produksi, yang memiliki nilai ekonomis signifikan bagi keberlangsungan usaha mitra IKM dalam jangka panjang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan menerapkan sistem pemantauan suhu peleburan emas berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, modul sensor MAX6675, dan platform antarmuka Blynk. Berdasarkan serangkaian pengujian, sistem terbukti memiliki kinerja yang andal dalam memetakan karakteristik termal proses peleburan melalui pengukuran tak langsung pada dinding kowi. Sistem mampu melacak kurva pemanasan hingga suhu stabil terukur 625°C, yang secara empiris berkorelasi dengan titik leleh emas murni di lapangan. Keandalan ini didukung oleh performa transmisi data yang sangat responsif dengan latensi rata-rata hanya 1,2 detik, serta efektivitas fitur keselamatan kerja yang mampu mengirimkan notifikasi peringatan dini secara otomatis saat suhu melampaui ambang batas kalibrasi 620°C.

Sebagai saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengeksplorasi penggunaan sensor suhu non-kontak (infrared pyrometer) guna menghindari risiko kerusakan probe akibat paparan api langsung dalam jangka panjang. Selain itu, pengembangan sistem kendali otomatis (closed-loop control) yang dapat mengatur besar kecilnya api gas berdasarkan data suhu juga sangat direkomendasikan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan presisi peleburan yang lebih tinggi.

DAFTAR REFERENSI

Blynk Inc. (2023). *Blynk IoT Platform Documentation*. Diakses dari <https://docs.blynk.io/>

- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2014). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (9th ed.). New York: Wiley.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications* (6th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Espressif Systems. (2022). *ESP32 Series Datasheet, Version 3.6*. Shanghai: Espressif Systems.
- Fraden, J. (2016). *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications* (5th ed.). San Diego: Springer.
- Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer* (10th ed.). New York: McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering.
- Kurniawan, A. (2023). Implementasi Internet of Things pada Industri Manufaktur Logam. *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 5(2), 112-118.
- Maxim Integrated. (2014). *MAX6675 Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter Datasheet, Rev 2*. San Jose, CA: Maxim Integrated.
- Wijaya, I. K. A., & Sutaya, I. W. (2021). Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu Tungku Peleburan Logam Berbasis IoT Menggunakan ESP8266. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 18(1), 45-54.
- World Gold Council. (2022). *Gold Alloys and Melting Points Technical Manual*. London, UK: World Gold Council.