

Analisis Efek Pasta Termal dan Heatsink pada Stabilitas Suhu Modul LED P10

Shofitri Juliana Setiyohadi¹, Rifky Endika Prasetyo¹, Moch Tri Juniyanto¹, Gilang Raka Prima Febrianto¹, Ahmad Andika Prasetyo¹, Mochammad Rifky Firmansyah¹

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik, Indonesia

Informasi Artikel

Diterima : 22 November 2025
Revisi : 27 November 2025
Diterbitkan : 30 November 2025

Abstrak: Ketidakstabilan suhu pada modul tampilan LED P10 dapat menyebabkan penurunan performa layar LED P10, efisiensi daya, dan mempercepat kerusakan komponen elektronik. Namun, saat sistem bekerja dengan beban tinggi dalam durasi lama, panas berlebih dapat timbul pada mikrokontroler dan driver LED, sehingga mengganggu kestabilan sinyal dan tampilan visual. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini menerapkan menggunakan pasta termal dan pendingin (Heatsink) untuk meningkatkan konduktivitas panas serta mempercepat proses disipasi energi termal. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis secara kuantitatif pengaruh penggunaan pasta termal dan heatsink terhadap stabilitas suhu operasional dan performa sistem kendali Arduino pada modul LED P10. Metode penelitian dilakukan dengan variabel bebas berupa sistem pendinginan (tanpa pendingin, dengan pasta termal, dan kombinasi pasta termal heatsink), serta berupa suhu permukaan dan kestabilan tampilan LED. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan thermometer dan sistem pencatatan data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pasta termal mampu menurunkan suhu hingga 10–15%, sedangkan pasta termal dan heatsink dapat menurunkan suhu hingga 25% dan mampu menurunkan suhu operasional rata-rata hingga 2,43°C dibandingkan kondisi tanpa pendingin. Penurunan suhu ini berdampak langsung terhadap peningkatan kestabilan tegangan, akurasi sinyal Arduino, serta kualitas tampilan LED. Dengan demikian, penelitian ini terbukti efektif dalam menjaga kestabilan termal, meningkatkan efisiensi sistem, serta memperpanjang umur operasional modul tampilan LED P10.

Abstract:

Temperature instability in the P10 LED display module can cause a decrease in P10 LED screen performance and power efficiency, as well as accelerate damage to electronic components. However, when the system operates under high loads for extended periods, excessive heat can build up in the microcontroller and LED driver, disrupting signal stability and visual display. To overcome these problems, this study applies the use of thermal paste and heatsinks to improve heat conductivity and accelerate the thermal energy dissipation process. This study aims to quantitatively examine the influence of thermal paste and heatsink implementation on the operational temperature stability and system performance of Arduino-based control systems in P10 LED modules. The research method was carried out with independent variables in the form of cooling systems (without a cooler, with thermal paste, and a combination of thermal paste and heatsink), as well as surface temperature and LED display stability. Temperature measurements were taken using a thermometer and a data recording system. Result indicate that the use of thermal paste was able to reduce the temperature by 10–15%, while thermal paste and a heatsink were able to reduce the temperature by up to 25% and reduce the average operating temperature by 2.43°C compared to the condition without a cooler. This decrease in temperature has a direct impact on increasing voltage stability, Arduino signal accuracy, and LED display quality. Thus, this research successfully proves effective in maintaining thermal stability, increasing system efficiency, and extending the operational life of the P10 LED display module.

Kata kunci: Arduino Uno, Heatsink, Kestabilan Suhu, LED P10, Pasta Thermal
Keywords: Arduino Uno, Heatsink, P10 LED, Temperature Stability, Thermal Past

Sitasi: Shofitri, J. S., Prasetyo, R. E., Juniyanto, M. T., Febrianto, G. R. P., Prasetyo, A. A., & Firmansyah, M. R. (2025). Analisis Efek Pasta Termal dan Heatsink pada Stabilitas Suhu Modul LED P10. *Journal of Engineering and Innovation*, 2(4), 90-94. <https://nafatimahpustaka.org/jein>

Pendahuluan

Perkembangan teknologi modul tampilan LED (Light Emitting Diode) mengalami kemajuan yang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Salah satu varian yang banyak digunakan adalah LED P10, yang secara luas diaplikasikan pada papan informasi digital di ruang publik, media periklanan luar ruang (Outdoor advertising), serta panel sistem kontrol industri. Keunggulan utama dari modul LED P10 terletak pada efisiensi energi yang tinggi, tingkat kecerahan yang baik, serta daya tahan operasional yang panjang dibandingkan teknologi tampilan konvensional seperti LCD atau lampu neon. (Jiang, 2023) Namun, teknologi ini memiliki tantangan utama pada pengelolaan panas (Thermal management) selama operasi berkelanjutan.

Secara umum, efisiensi konversi energi listrik menjadi cahaya pada LED hanya sekitar 15–25%, sedangkan sisanya 70–80% dilepaskan dalam bentuk panas. Panas berlebih ini, apabila tidak dikelola dengan baik, dapat meningkatkan suhu junction temperature (T_j) LED hingga melebihi batas optimalnya, yakni sekitar 85°C untuk LED berdaya tinggi. Peningkatan T_j sebesar 10°C dapat menurunkan umur pakai LED hingga setengahnya. (Ahn et al., 2015). Kondisi tersebut sering terjadi pada modul LED P10, Ketika digunakan secara terus-menerus, suhu permukaan modul LED P10 dapat mencapai 65–75°C tanpa pendingin tambahan, yang berpotensi menyebabkan penurunan intensitas cahaya hingga 15–20% setelah 1 jam operasi. (Beliakova et al., 2024)

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mencoba mengatasi permasalahan kenaikan suhu pada modul LED dengan menggunakan satu pendekatan pendinginan tunggal. Penelitian Kim et al. (2012) , melakukan pengujian eksperimental terhadap penerapan pasta termal silikon pada modul LED daya tinggi dan melaporkan penurunan suhu hingga 8–10°C dibandingkan tanpa perlakuan pendinginan. Namun, efektivitasnya terbatas karena perpindahan panas hanya terjadi pada lapisan kontak antara chip dan permukaan pendingin, sementara pembuangan panas ke udara tetap bergantung pada konveksi alami. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sistem manajemen panas yang efektif dengan perantara konduktor. Salah satu material yang berpotensi sebagai konduktor adalah pasta termal yang terbuat dari material perak (Ag). Pasta termal (Thermal paste) berfungsi sebagai media penghantar panas (Thermal interface material/TIM) yang ditempatkan di antara permukaan komponen elektronik—seperti chip LED atau prosesor—dan sistem pendinginnya (Heatsink). Fungsi utamanya adalah untuk mengisi celah-celah

mikroskopis dan ketidaksempurnaan permukaan kontak yang tidak dapat terlihat oleh mata, sehingga meminimalkan resistansi termal antara kedua permukaan tersebut. Tanpa pasta termal, udara akan terperangkap di celah-celah tersebut, padahal udara memiliki konduktivitas termal yang sangat rendah, hanya sekitar 0,024 W/m·K, sedangkan pasta termal berkualitas tinggi dapat mencapai nilai konduktivitas hingga 8–12 W/m·K. (Tu et al., 2024) Selain itu, pasta termal juga membantu mencegah terjadinya titik panas lokal (Hot spot) yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan distribusi suhu pada permukaan modul. Oleh karena itu, pemilihan pasta termal dengan konduktivitas tinggi dan stabilitas kimia baik menjadi faktor kunci dalam meningkatkan kinerja termal keseluruhan modul LED.

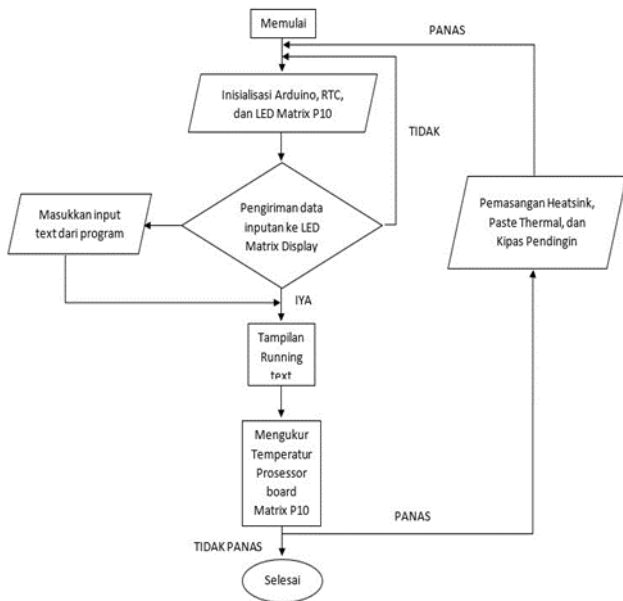
Sementara itu, heatsink bekerja melalui mekanisme konduksi dan konveksi, memperbesar area permukaan untuk mempercepat pelepasan panas ke lingkungan. Bahwa penggunaan heatsink aluminium mampu menurunkan suhu komponen hingga 15% dibanding tanpa. (Mayil & Timuralp, 2025) Efektivitas heatsink bergantung pada konduktivitas termal materialnya (biasanya aluminium atau tembaga) serta luas permukaan siripnya. Semakin besar area dan semakin baik konduktor panasnya, maka semakin cepat panas dilepaskan ke udara. Stabilitas suhu penting karena fluktuasi suhu yang tinggi dapat memengaruhi kinerja optik, efisiensi daya, dan keandalan jangka panjang dari modul tampilan LED.

Melalui penelitian ini, dengan menggabungkan kombinasi pasta termal dan heatsink, diharapkan dapat tercapai stabilitas suhu yang lebih baik pada LED P10. Ketika digunakan bersamaan dengan heatsink, pasta termal menciptakan efek sinergis dalam sistem pendinginan, di mana heatsink memperluas area pelepasan panas ke udara, sementara pasta termal memastikan bahwa energi panas tersebut tersalur secara maksimal dari sumber panas ke sistem pembuangan.

Metode

Flowchart

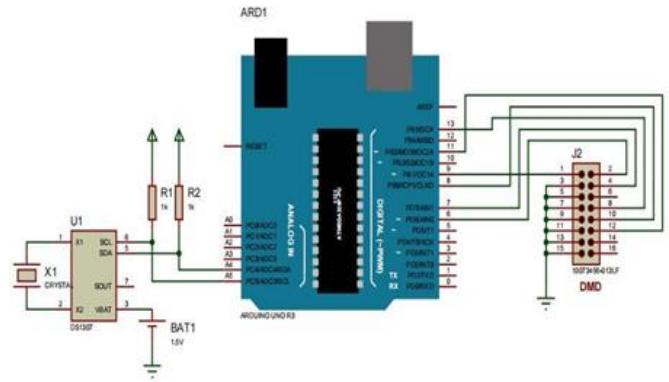
Tahapan perancangan artikel ini, secara umum dapat digambarkan dalam flowchart seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Flowchart

Flowchart pada Gambar 1 merupakan flowchart perancangan artikel dari mulai hingga selesai. tahapan awal memulai suatu rancangan atau proses. Selanjutnya yaitu inisialisai Arduino Uno, RTC DS3231 dan LED Matrix P10 lalu dilanjutkan pengiriman data inputan ke LED Matrix Display sehingga dapat bekerja sesuai dengan jam waktu yang telah diatur dan menampilkan running text yang telah disesuaikan didalam program Arduino Uno melalui computer atau laptop, selanjutnya dilakukan pengujian dengan mengukur temperature prosessor board matrix P10 dan analisa. Pengujian pada system ini adalah untuk mengetahui seberapa efisien penggunaan heatsink dengan tidak menggunakan heatsink. Dengan menggunakan dua metode metode analisa, yang pertama adalah metode pengukuran dengan melakukan pengukuran temperature pada salah satu processor pada board matrix LED P10 secara kontinyu pada rentang waktu tertentu sehingga dapat mengambil, mengolah, dan menganalisis data. Metode analisa yang kedua adalah dengan memasang heatsink, Paste Thermal, dan Kipas pendingin di atas prosessor selanjutnya dilakukan metode pengukuran temperature pada prosessor yang telah dipasang bahan-bahan tersebut, diuji secara sistematis dalam periode waktu tertentu, sehingga dapat mengambil, mengolah, dan menganalisis data.

Desain Alat



Gambar 2. Rangkaian pengendali modul LED P10 menggunakan Arduino UNO.

Desain Perancangan Hardware menggunakan LED Matrix P10 dengan Arduino Uno. Gambar ini mengilustrasikan komponen-komponen rangkaian yang terintegrasi menjadi satu sistem alat dengan Arduino Uno sebagai unit pengendali utama. Pada bagian input, sistem menggunakan modul RTC DS3231. Berdasarkan desain perancangan hardware yang terlihat pada gambar, alat ini terdiri dari beberapa bagian: bagian input mencakup power supply 5V 5A yang berfungsi meregulasi tegangan masukan; bagian pengendali pusat menggunakan Arduino Uno yang berperan sebagai mikrokontroler untuk memproses sinyal input menjadi output serta menampilkan running text sesuai program; sedangkan modul RTC DS3231 berfungsi sebagai pewaktu pada LED Matrix P10.

Hasil dan Pembahasan

1. Permasalahan Utama

Modul LED P10 mengalami kenaikan suhu signifikan saat beroperasi dalam waktu lama, terutama pada bagian mikrokontroler dan driver LED. Suhu berlebih ini menurunkan efisiensi konversi energi, mengganggu kestabilan sinyal Arduino, serta mempercepat degradasi komponen elektronik. Secara umum, hanya 15-25% energi listrik diubah menjadi cahaya, sedangkan 70-80% menjadi panas. Tanpa pendinginan, suhu modul dapat mencapai 65-75°C, yang menurunkan intensitas cahaya hingga 15-20% dalam 1 jam operasi.

2. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menguji tiga kondisi pendinginan:

1. Tanpa pendingin (kondisi standar)
 2. Menggunakan pasta termal
 3. Menggunakan kombinasi pasta termal + heatsink
- Suhu diukur menggunakan termometer digital dan dicatat dengan sistem data logger untuk melihat stabilitas temperatur selama operasi.

3. Prinsip Dasar Penghantar Panas

Pasta termal dan heatsink bekerja berdasarkan konduksi panas: Pasta termal (TIM) berfungsi mengisi celah mikro antara komponen dan pendingin agar tidak ada udara terperangkap, karena udara memiliki konduktivitas termal sangat rendah (0,024 W/m·K). Pasta termal berbahan perak (Ag) memiliki konduktivitas tinggi (8-12 W/m·K), sehingga mampu mempercepat perpindahan panas. Heatsink aluminium atau tembaga memperluas area konveksi dan memindahkan panas ke udara sekitar. Kombinasi keduanya menciptakan sistem pembuangan panas sinergis: pasta termal mengoptimalkan kontak antarmuka, dan heatsink mempercepat pelepasan panas ke udara.

4. Hasil Kuantitatif

Tabel 1. Hasil Kuantitatif

Kondisi	Penurunan Suhu	Rata-rata penurunan °C	Efek Tambahan
Tanpa Pendingin	-	-	Suhu Tinggi, tampilan tidak stabil
Dengan Pasta Termal	10-15%	±1,5°C	Mengurangi resistansi termal antarmuka
Dengan pasta termal + heatsin k	Hingga 25%	±2,43°C	Stabilitas tegangan meningkat, sinyal Arduino akurat

Artinya, kombinasi pasta termal dan heatsink mampu menurunkan suhu hingga seperempat dari suhu awal, yang berdampak pada:

- Stabilitas sinyal dan tampilan LED meningkat
- Efisiensi daya lebih baik
- Umur modul LED lebih Panjang

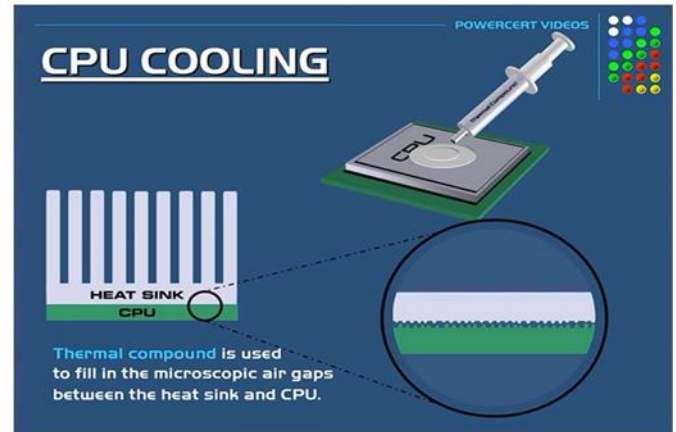
5. Analisis Fisis

Sesuai Hukum Fourier, laju perpindahan panas:

$$q = -k \frac{dT}{dx}$$

Dengan adanya pasta termal dan heatsink, nilai k meningkat signifikan, sehingga gradien suhu berkurang dan sistem lebih cepat mencapai kestabilan termal. Total resistansi termal sistem: $R_{total} = R_{jc} + R_{cs} + R_{sa}$

6. Implikasi Praktis



Gambar 3.

Sistem pendinginan sederhana seperti pasta termal dan heatsink aluminium dapat diterapkan dengan biaya rendah. Modul LED P10 yang digunakan untuk aplikasi jam digital, papan informasi, dan reklame akan lebih stabil serta hemat energi. Kombinasi ini juga relevan untuk perangkat elektronik lain berbasis Arduino yang bekerja terus-menerus.

Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini memvalidasi bahwa implementasi compound termal dan disipator kalor secara efektif menstabilkan temperatur operasional modul display LED P10. Problematika akumulasi panas hingga 65-75°C yang dimana konversi energi ke luminasi hanya 15-25% sedangkan 70-80% menjadi kalor yang berhasil dimitigasi melalui pendekatan pendinginan berjenjang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa compound termal tunggal mereduksi temperatur 10-15% (±1,5°C), sedangkan kombinasi compound termal-disipator mencapai reduksi optimal 25% dengan penurunan rata-rata 2,43°C. Efek positif meliputi stabilisasi voltase, akurasi transmisi sinyal, dan konsistensi visualisasi LED. Secara praktis, metodologi ini menawarkan solusi ekonomis untuk optimalisasi energi dan perpanjangan durabilitas LED P10 pada aplikasi signage digital dan kontrol industri. Sistem ini mencegah degradasi luminositas 15-20% per jam operasi, melindungi komponen dari deteriorasi prematur, serta adaptabel untuk perangkat embedded system berbasis mikrokontroler, mendukung prinsip efisiensi energi dan keberlanjutan teknologi optoelektronik modern.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan penghargaan kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan selama

penelitian ini berlangsung. Dukungan fasilitas dari Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik sangat berarti bagi kelancaran kegiatan penelitian. Terima kasih juga diberikan kepada pihak-pihak yang berkontribusi dalam penyempurnaan artikel ini melalui masukan dan diskusi yang konstruktif.

Daftar Pustaka

- Ahn, B. L., Park, J. W., Yoo, S., Kim, J., Leigh, S. B., & Jang, C. Y. (2015). Savings in cooling energy with a thermal management system for LED lighting in office buildings. *Energies*, 8(5), 3273–3287. <https://doi.org/10.3390/en8053273>
- Beliakova, I., Kostyk, L., Maruschak, P., Medvid, V., Piscio, V., Shovkun, O., & Mykhailyshyn, R. (2024). The temperature dependence of the parameters of LED light source control devices powered by pulsed voltage. *Electronics*, 12(3), 654.
- Bejan, A., & Kraus, A. D. (2003). *Heat Transfer Handbook* (1st ed.). John Wiley & Sons.
- Effendi, K., Junaidi, J., & Suciayati, S. W. (2020). Rancang bangun sistem catu daya dengan metode switching mode power supply (SMPS) berbasis Arduino untuk aplikasi electrospinner. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 8(1), 25–34. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v8i1.233>
- Jiang, B. (2023). Research and optimization design of thermal management for LED. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 68, 242–246.
- Kim, H., Kim, K. J., & Lee, Y. (2012). Thermal performance of smart heat sinks for cooling high-power LED modules. In *Proceedings of the 2012 13th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)* (pp. 480–487). IEEE.
- Li, Y., Wei, P., & Ma, H. (2017). Integrated optimization of heat-transfer systems consisting of discrete thermal conductors and solid material. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, 345–356.
- Liu, Z., Wang, F., Wang, X., Huang, J., Yue, Y., Dai, R., Li, K., Wang, Z., Yang, K., Chen, D., & Xin, G. (2024). Enhancing thermal management of graphene devices by self-assembled monolayers. *Journal of Applied Physics*, 136(7), 074302.
- Mahajan, R., Chiu, C.-P., & Chrysler, G. (2006). Cooling a microprocessor chip. *Proceedings of the IEEE*, 94(8), 1476–1486.
- Mayil, A. S., & Timuralp, C. (2025). Numerical and experimental analysis of cooling system performance in induction hobs: A comparison of heatsink designs. *Applied Sciences*, 15(11), 5995.
- Prasher, R. (2006). Thermal interface materials: Historical perspective, status, and future directions. *Proceedings of the IEEE*, 94(8), 1571–1586.
- Rykaczewski, K. (2018). Modeling thermal contact resistance at the finger-object interface. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 123, 47–56.
- Shi, S., Jiang, T., Cao, S., Wu, X., ... (2024). Thermal conductivity and heat transfer mechanism of epoxy composites constructed by carbon fiber felt with three-dimensional layered structure. *Polymer Composites*, 46(8), 7633–7645.
- Tu, Y., Liu, B., Yao, G., Luo, H., Jia, X., Du, J., & Xu, C. (2024). A review of advanced thermal interface materials with oriented structures for electronic devices. *Electronics*, 13(21), 4287.
- Wicaksono, M. F. (2017). Implementasi modul WiFi NodeMCU ESP8266 untuk smart home. *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, 6(1), 1–6.
- Kusumawati, D., & Wiryanto, B. A. (2018). Perancangan bel sekolah otomatis menggunakan mikrokontroler AVR ATmega328 dan RTC DS3231. *Jurnal Elektronik Sistem Informasi dan Komputer*.
- Nyebartil Ilmu. (2017, Desember). Tutorial Arduino mengakses module RTC DS3231. Diambil dari <https://www.nyebartilmu.com/tutorial-arduino-mengakses-module-rtc-ds3231/>
- Sergent, J., & Krum, A. (1981). *Thermal management handbook for electronic assemblies* (1st ed.). McGraw-Hill.
- Rahman, M. A., Hasnain, S. M. M., Paramasivam, P., & Ayanie, A. G. (2024). Advancing thermal management in electronics: A review of innovative heat sink designs and optimization techniques. *RSC Advances*, 14(43), 31291–31319.