



SKRIPSI

**RANCANG BANGUN *SMART COOLING SYSTEM HYBRID* PADA
PANEL SURYA UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAYA
PLTS**

DISUSUN OLEH:

CATUR KEDAR JEVIER PAMUNGKAS

NIM: 202111124

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS KETENAGALISTRIKAN DAN ENERGI TERBARUKAN
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA
2025**

**RANCANG BANGUN *SMART COOLING SYSTEM HYBRID* PADA
PANEL SURYA UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAYA
PLTS**

SKRIPSI



INSTITUT TEKNOLOGI-PLN

Diajukan guna memenuhi sebagai persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh:

CATUR KEDAR JEVIER PAMUNGKAS

NIM: 202111124

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS KETENAGALISTRIKAN DAN ENERGI TERBARUKAN
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA
2025**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring meningkatnya kebutuhan energi dan semakin menipisnya cadangan energi fosil, penggunaan sumber energi terbarukan menjadi alternatif yang semakin penting. Salah satu sumber energi yang sangat potensial di Indonesia adalah energi matahari, mengingat wilayah Indonesia mendapatkan paparan sinar matahari yang cukup tinggi sepanjang tahun. Hal ini menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai salah satu solusi yang menjanjikan dalam upaya penyediaan energi bersih dan berkelanjutan.

Meskipun memiliki banyak keunggulan, sistem PLTS juga memiliki keterbatasan, terutama dalam hal efisiensi panel surya. Ketika suhu panel meningkat akibat paparan sinar matahari yang intens, kinerja panel dalam mengubah energi cahaya menjadi energi listrik bisa menurun secara signifikan. Kondisi ini tidak hanya mengurangi daya output, tetapi juga dapat mempercepat proses penurunan kualitas panel jika dibiarkan dalam jangka panjang. Oleh karena itu, perlu diterapkan sistem pendinginan yang mampu menjaga suhu panel tetap dalam batas optimal.

Salah satu pendekatan yang bisa dilakukan adalah penggunaan sistem *pendinginan hybrid*, yaitu kombinasi antara pendinginan aktif (seperti kipas atau aliran air) dan pendinginan pasif (seperti sirkulasi udara alami atau penggunaan material tertentu). Dengan sistem ini, suhu panel bisa dikendalikan lebih efektif. Namun, agar sistem pendinginan dapat bekerja secara efisien dan sesuai kebutuhan, diperlukan sistem pemantauan dan pengendalian yang cerdas.

Teknologi *Internet of Things (IoT)* hadir sebagai solusi dalam pengembangan sistem otomatisasi dan monitoring real-time. Dengan mengintegrasikan sensor suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya, sistem PLTS dapat diatur agar pendinginan bekerja hanya ketika dibutuhkan. Selain itu, data operasional juga dapat dipantau dan dianalisis untuk meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang sistem PLTS dengan pendinginan *hybrid* berbasis IoT, yang bertujuan meningkatkan efisiensi konversi energi sekaligus memperpanjang umur panel surya. Diharapkan inovasi ini dapat menjadi langkah nyata dalam mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia.

Kondisi geografis Indonesia yang berada di wilayah tropis menyebabkan panel surya sering mengalami temperatur operasi yang cukup tinggi akibat paparan radiasi matahari secara terus-menerus. Dalam kondisi lapangan, suhu permukaan panel surya dapat meningkat jauh di atas suhu standar pengujian, sehingga menimbulkan penurunan tegangan keluaran dan akhirnya berdampak pada penurunan daya serta efisiensi sistem PLTS. Permasalahan ini menunjukkan bahwa optimasi suhu panel merupakan aspek penting yang perlu diperhatikan dalam pengembangan sistem energi surya, khususnya pada aplikasi skala kecil hingga menengah yang banyak diterapkan di Indonesia.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan metode pendinginan panel surya, baik menggunakan pendinginan pasif maupun aktif. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada satu metode pendinginan saja dan belum mengintegrasikan sistem kontrol otomatis yang mampu menyesuaikan kinerja pendinginan sesuai kondisi panel secara real-time. Selain itu, belum banyak penelitian yang menggabungkan pendinginan berbasis fluida dan pendinginan termoelektrik dalam satu sistem yang dikendalikan secara cerdas menggunakan mikrokontroler. Kondisi ini menjadi peluang untuk mengembangkan sistem pendinginan hybrid yang lebih adaptif dan efisien.

Pemanfaatan mikrokontroler sebagai pusat kendali menjadi pilihan yang relevan karena mampu mengintegrasikan berbagai sensor monitoring dengan aktuator pendinginan dalam satu sistem otomatis. Mikrokontroler seperti ESP32 dipilih karena memiliki kemampuan pemrosesan data yang cepat, mendukung komunikasi nirkabel, serta mudah diintegrasikan dengan sistem monitoring real-time. Dengan sistem kendali otomatis, komponen pendinginan dapat diaktifkan hanya ketika diperlukan, sehingga penggunaan energi tambahan dapat diminimalkan tanpa mengurangi efektivitas pendinginan.

Berdasarkan permasalahan dan peluang pengembangan tersebut, penelitian ini difokuskan pada rancang bangun smart cooling system hybrid pada panel surya yang menggabungkan metode pendinginan fluida dan modul termoelektrik dengan sistem kendali otomatis berbasis mikrokontroler. Sistem ini diharapkan mampu menjaga suhu panel surya tetap stabil, meningkatkan efisiensi daya PLTS, serta menjadi alternatif solusi yang aplikatif dalam pengembangan teknologi energi terbarukan di masa mendatang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan oleh penulis, penulis dapat merumuskan beberapa masalah yang akan menjadi topik pembahasan yang akan dibahas pada tugas akhir ini. Beberapa rumusan masalah yang akan dibahas:

1. Bagaimana merancang sistem pendingin hybrid yang efektif untuk meningkatkan efisiensi daya PLTS dengan mengurangi panas yang berlebihan pada panel surya?
2. Apa saja parameter yang mempengaruhi kinerja panel surya ?
3. Bagaimana meningkatkan efisiensi daya PLTS dengan menggunakan sistem pendingin hybrid yang cerdas dan efektif, serta bagaimana mengoptimalkan kinerja sistem pendingin tersebut?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dibuatnya tugas akhir, yaitu sebagai berikut:

1. Merancang dan mengembangkan sistem pendingin hybrid yang cerdas dan efektif untuk meningkatkan efisiensi daya PLTS.
2. Mengidentifikasi parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja panel surya.
3. Merancang dan mengembangkan sistem pendingin hybrid yang cerdas dan efektif untuk meningkatkan efisiensi daya PLTS.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang dibuat tugas akhir oleh penulis, sebagai berikut:

1. Memberikan solusi teknis untuk menjaga stabilitas suhu panel surya Dengan dirancangnya sistem PLTS yang dilengkapi pendinginan hybrid, penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi dalam menjaga suhu panel tetap optimal, sehingga performa sistem tetap stabil meskipun dalam kondisi lingkungan yang panas.
2. Mendorong pemanfaatan teknologi IoT dalam sistem energi terbarukan Penerapan Internet of Things (IoT) dalam sistem pendinginan hybrid membuka peluang baru dalam otomatisasi dan efisiensi energi. Hal ini dapat memudahkan proses monitoring dan pengendalian sistem secara real-time
3. Meningkatkan efisiensi dan efektivitas PLTS melalui pendekatan teknologi Melalui analisis yang dilakukan dalam penelitian ini, diharapkan ada peningkatan efisiensi daya keluaran dari PLTS. Hal ini tidak hanya meningkatkan produktivitas energi, tetapi juga memberikan bukti bahwa inovasi teknologi dapat memberikan dampak nyata

1.5 Ruang Lingkup

Batasan masalah yang telah ditulis oleh penulis adalah bertujuan untuk dapat berfokus pada rumusan masalah yang diangkat pada tugas akhir ini dan agar tidak meluas Fokus pada sistem PLTS skala kecil Penelitian ini hanya dilakukan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala kecil yang digunakan sebagai simulasi atau prototipe, bukan pada sistem PLTS berskala besar seperti yang digunakan di industri atau pembangkit listrik komersial.

1. Rancangan system pendinginan hybrid

Sistem pendinginan yang digunakan menggabungkan metode aktif (seperti kipas) dan pasif (seperti sirkulasi udara alami). Penelitian ini tidak membahas sistem pendinginan kompleks seperti sistem berbasis refrigerasi atau teknologi pendinginan canggih lainnya.

2. Pengujian efisiensi terbatas pada suhu dan daya keluaran Analisis efisiensi hanya dilakukan berdasarkan perbandingan suhu panel dan daya listrik yang dihasilkan sebelum dan sesudah diterapkan sistem pendinginan hybrid berbasis IoT. Penelitian ini tidak membahas

1.6 Kebaharuan

Pada Penelitian ini menghadirkan inovasi dalam sistem pendinginan panel surya melalui kombinasi dua metode sekaligus, yaitu pendinginan Konvensional menggunakan reservoir air dan pendinginan aktif menggunakan modul Peltier. Sistem pendingin aktif ini dikendalikan secara otomatis dengan dukungan mikrokontroler, sehingga mampu merespons perubahan suhu secara real-time dan lebih efisien. Pendekatan gabungan ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja panel surya dengan menjaga suhu operasionalnya tetap optimal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Yang Relevan

Dalam upaya memperkuat landasan teoritis pada penelitian rancang bangun *smart cooling system hybrid* pada panel surya, penelitian ini mengacu pada beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengaruh suhu terhadap kinerja panel surya, penerapan sistem pendinginan, serta penggunaan sistem kendali otomatis pada PLTS. Adapun penelitian-penelitian yang relevan dengan penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Putra dan Handoko (2021) dalam penelitian yang berjudul “*Analisis Pengaruh Suhu Permukaan Panel Surya terhadap Efisiensi Daya pada Sistem PLTS Skala Kecil*” menjelaskan bahwa peningkatan suhu permukaan panel surya menyebabkan penurunan tegangan keluaran yang berdampak langsung pada penurunan daya dan efisiensi panel. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suhu panel merupakan salah satu parameter utama yang mempengaruhi kinerja PLTS, sehingga diperlukan upaya pengendalian suhu untuk menjaga performa panel surya tetap optimal [1].
2. Ramadhan, Yusuf, dan Prasetyo (2022) melalui penelitian berjudul “*Penerapan Sistem Pendinginan Air untuk Menurunkan Suhu Panel Surya dan Meningkatkan Daya Keluaran*” mengkaji penggunaan aliran air sebagai media pendinginan pada bagian belakang panel surya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendinginan berbasis fluida mampu menurunkan suhu panel secara signifikan dan meningkatkan daya keluaran panel surya dibandingkan kondisi tanpa pendinginan, meskipun sistem ini belum dilengkapi dengan kendali otomatis [2].
3. Siregar dan Wibowo (2023) dalam penelitian yang berjudul “*Penggunaan Modul Termoelektrik Peltier sebagai Pendingin Aktif Panel Surya*” membahas pemanfaatan modul Peltier untuk menurunkan suhu permukaan panel surya. Penelitian ini menunjukkan bahwa modul Peltier mampu memberikan penurunan suhu yang lebih cepat dibandingkan pendinginan pasif, namun konsumsi daya modul perlu diperhitungkan agar peningkatan daya panel tetap lebih besar dibandingkan energi yang digunakan oleh sistem pendinginan [3].
4. Kurniawan, Lestari, dan Hidayat (2024) melalui penelitian berjudul “*Perancangan Sistem Pendinginan Hybrid pada Panel Surya untuk Meningkatkan Efisiensi Daya*” mengusulkan penggabungan metode pendinginan fluida dan pendinginan aktif berbasis termoelektrik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pendinginan hybrid mampu menjaga suhu panel lebih stabil pada berbagai kondisi penyinaran dan menghasilkan peningkatan efisiensi daya yang lebih konsisten dibandingkan metode pendinginan tunggal [4].

5. Fauzan dan Nugroho (2025) dalam penelitian yang berjudul *“Pengembangan Sistem Kendali Otomatis Berbasis Mikrokontroller pada PLTS dengan Monitoring Real-Time”* mengembangkan sistem kendali otomatis untuk mengatur perangkat pendukung PLTS berdasarkan data sensor suhu dan parameter kelistrikan. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem kendali cerdas mampu meningkatkan efisiensi operasional serta mempermudah proses pemantauan kinerja panel surya secara real-time [5].
6. Saputra dan Maulana (2024) dalam penelitian yang berjudul *“Implementasi Sistem Monitoring dan Kendali Berbasis IoT pada PLTS Skala Kecil”* membahas penerapan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau parameter suhu, arus, dan tegangan panel surya secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sistem IoT mampu meningkatkan kemudahan pemantauan dan membantu pengambilan keputusan dalam pengoperasian PLTS, meskipun penelitian ini belum mengintegrasikan sistem pendinginan hybrid secara langsung [6].
7. Wijaya, Pranoto, dan Setiawan (2025) melalui penelitian berjudul *“Analisis Kinerja Sistem Pendinginan Aktif dan Pasif pada Panel Surya”* melakukan perbandingan antara pendinginan pasif dan pendinginan aktif terhadap suhu dan daya keluaran panel surya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendinginan aktif memberikan penurunan suhu yang lebih signifikan, namun membutuhkan sistem kendali yang tepat agar konsumsi energi pendingin tidak melebihi peningkatan daya panel surya [7].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Indra Bayu, I. Budi Sulistiyawati, and N. Putu Agustini, “Monitoring Pengaruh Suhu Pada Panel Surya Terhadap Performa Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *Jurnal FORTECH*, vol. 4, no. 1, pp. 27–32, Jan. 2023, doi: 10.56795/fortech.v4i1.4104.
- [2] Z. O. Priani, H. Batih, and S. Abduh, “Pengaruh Suhu dan Durasi Penyinaran Panel Surya terhadap Efisiensi Energi Panel Surya: Studi Kasus PLTS Institut Teknologi PLN,” *Integrative Perspectives of Social and Science Journal*, vol. 2, no. 3, p. 5201, 2025.
- [3] Y. I. Merdekawati, I. Samuel Erari, and A. M. Muslimin, “PENGUNAAN MODUL PELTIER SEBAGAI SISTEM PENDINGIN COOLBOX,” *Jurnal Natural*, vol. 17, no. 2, pp. 104–119, Dec. 2021.
- [4] Y. Sianturi and C. M Simbolon, “Pengukuran dan Analisa Data Radiasi Matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi,” *Megasains*, vol. 12, no. 1, pp. 40–47, Apr. 2021, doi: 10.46824/megasains.v12i1.45.
- [5] Bakhtiar and Tadjuddin, “PEMILIHAN SOLAR CHARGE CONTROLLER (SCC) PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA,” *Bidang Ilmu Teknik Elektro, Teknik Komputer & Jaringan, Teknik Mekatronika, Telekomunikasi*, pp. 168–173, 2020.
- [6] R. Aita Diantari *et al.*, “SOSIALISASI PEMANFAATAN KOPER LISTRIK SEBAGAI MOBILE SUPPLY DALAM PENERAPAN ENERGI BARU TERBARUKAN DI CANTIGA PETIR CIPONDOH-TANGERANG,” Duri Kosambi, DKI Jakarta, 2023.
- [7] M. Akbar, T. Azuar Rizal, and R. Syntia, “Pengujian Kinerja Pendinginan Thermo Electric Cooling (TEC) Menggunakan Heatsink dengan Variasi Dimensi dan Jenis Material,” *Jurnal Imliah Jurutera*, vol. 08, no. 01, pp. 19–28, Jun. 2021.

- [8] S. Sugianto, "Comparative Analysis of Solar Cell Efficiency between Monocrystalline and Polycrystalline," *INTEK: Jurnal Penelitian*, vol. 7, no. 2, pp. 92–100, Dec. 2020, doi: 10.31963/intek.v7i2.2625.
- [9] N. Atikah, B. Pramono Jati, and D. Nugroho, "CYCLOTRON : Jurnal Teknik Elektro Analisis Pengaruh Suhu Terhadap Daya Output pada Panel Surya Monocrystalline dan Polycrystalline 50 Wp," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 7, no. 02, pp. 18–25, Jul. 2024.
- [10] M. Nizar Maulidin, S. Hariyadi, and I. Wayan Yudi Martha Wiguna, "RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN PANEL SURYA MENGGUNAKAN KENDALI AIR OTOMATIS UNTUK MENURUNKAN RUGI RUGI DAYA BERBASIS ARDUINO VIA ANDROID," 2021.
- [11] E. P. LAKSANA, O. SANJAYA, SUJONO, S. BROTO, and N. FATH, "Sistem Pendinginan Panel Surya dengan Metode Penyemprotan Air dan Pengontrolan Suhu Air menggunakan Peltier," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 10, no. 3, p. 652, Jul. 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i3.652.
- [12] A. Muttaqin, S. Syukriyadin, S. Syahrizal, A. Alfisyahrin, and F. Helta, "Design of Hybrid Solar and Pyco Hydro Power Plant Using Water Reservoir Tank Desain Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Panel Surya dan Piko Hidro Menggunakan Tangki Penampungan Air," *Journal Geuthee of Engineering and Energy (JOGE)*, vol. 3, no. 1, pp. 22–32, 2024, doi: 10.52626/joge.v%vi%i.37.
- [13] Abdullah, M. Putri, J. Iriani, F. Nova Hulu, and Cholish, "Sistem Pendinginan Permukaan Panel Surya dalam Optimalisasi Kerja Panel Surya dengan Monitoring Internet of Things," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 61–67, Jul. 2023, doi: 10.30596/rele.v%vi%i.15491.
- [14] B. Adiyatma, D. Widjajanto, H. Setiana, M. W. Mahrusi, and F. H. Ridwan, "Perbandingan Kinerja Heatsink Fan Pada Pendinginan Modul Peltier," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, vol. 11, pp. 1–6, 2025.
- [15] G. Michael Richardo Hulu and rahmawaty, "SINERGI: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Polmed," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin SINERGI Polmed*, vol. 2, no. 1, pp. 10–15, Feb. 2021.

- [16] F. Nurbilqis, R. Saughi, I. A. Hutabarat, and M. Nurhadi, "PT. Media Akademik Publisher 'ENERGY FORMS AND CHANGES' Oleh: Rif'at Saughi 2," *JURNAL MEDIA AKADEMIK (JMA)*, vol. 3, no. 12, pp. 1–10, Dec. 2025, doi: 10.62281.
- [17] D. O. Topayung, S. Dollorossa Boedi, J. M. Mawa, D. P. Hosang, and M. P. Y. Kawulur, "Politeknik Negeri Manado Analisis Perpindahan Kalor Pada Air Yang Dipanaskan Dalam Panci Aluminium," *Jurnal Masina Nipake*, vol. 4, no. 2, pp. 96–101, Nov. 2024.
- [18] M. M. Lumembang and H. S. Kolibu, "Rancang Bangun Luxmeter Menggunakan Sensor BH1750 Berbasis Arduino sebagai Alat Ukur Intensitas Cahaya," *Jurnal Fista : Fisika dan Terapannya*, vol. 5, no. 2, pp. 106–111, Oct. 2024.
- [19] H. Bentoutou, A. Boutte, E.-Y. Belaidi, L. Limam, and A. Laribi, "Design and Analysis of a DC/DC Buck Converter with Load Switch for Educational Nanosatellite Power Sub-systems," *74 th International Astronautical Congress (IAC)*, pp. 1–7, Oct. 2023.
- [20] F. Liando, *Sistem Kendali Otomatis Berbasis ESP32*, Jurnal InTekSis, Vol 12 No 1, 2025.