

SMART CAT DRYER DENGAN SISTEM NOTIFIKASI OVERHEAT BERBASIS CLOUD IOT

Ilham Romadhona, Ratnasari Nur Rohmah

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Proses pengeringan bulu hewan peliharaan merupakan tahapan esensial untuk mencegah masalah dermatologis. Namun, perangkat pengering konvensional umumnya beroperasi secara statis tanpa pengaturan suhu yang presisi, serta tidak dirancang untuk menangani ketidakstabilan daya yang memicu kerusakan sistem. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *Smart Cat Dryer* terintegrasi *Internet of Things (IoT)* berbasis Blynk dengan mengedepankan stabilitas daya dan proteksi termal ganda. Sistem dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32-S3 dengan input sensor NTC Thermistor 10k dan aktuator berupa elemen pemanas ganda PTC *Ceramic*. Untuk mencegah fenomena *brownout* akibat gangguan elektromagnetik (*noise*) dan fluktuasi tegangan, diimplementasikan topologi isolasi distribusi daya paralel menggunakan tiga buah *buck converter*. Topologi ini memisahkan suplai secara independen untuk kipas utama (12V), kipas pendingin panel (12V), dan logika mikrokontroler beserta relay (5V). Pada algoritma kendali, diterapkan termostat digital dengan *hysteresis band* sebesar 2.0°C untuk meminimalisasi *relay chattering*, serta metode penyalan pemanas langsung untuk *heater 1* dan sekuensial berjeda 2 detik menggunakan fungsi *non-blocking* (*millis()*) untuk *heater 2*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode sekuensial secara signifikan berhasil memitigasi lonjakan arus awal (*inrush current*) pada *Power Supply* 24V. Sistem proteksi otomatis juga bekerja secara responsif dengan memutuskan total daya pemanas, mengaktifkan *buzzer*, dan mengirimkan notifikasi *cloud* secara instan saat suhu melampaui batas kritis 45°C. Dengan dukungan operasi *Dual-Mode* (Lokal dan *IoT*), sistem ini menawarkan keandalan dan fleksibilitas operasional yang tinggi sebagai perangkat perawatan hewan peliharaan yang efisien dan aman.

Kata Kunci: Blynk, ESP32-S3, *Inrush Current*, *Internet of Things (IoT)*, *Overheat*, PTC *Ceramic*, *Smart Cat Dryer*, *Step-Down*, Termostat Digital.

Abstract

The pet grooming process, particularly drying, is an essential step in preventing dermatological issues. However, conventional drying devices generally operate statically without precise temperature control and are not designed to handle power instability, which often leads to system failure. This study aims to design an Internet of Things (IoT) integrated Smart Cat Dryer via Blynk, emphasizing power stability and dual thermal protection. The system is controlled by an ESP32-S3 microcontroller using a 10k NTC Thermistor sensor and dual PTC Ceramic heating elements as actuators. To prevent brownout phenomena caused by electromagnetic noise and voltage fluctuations, a parallel power distribution isolation topology was implemented using three buck converters. This topology independently separates the power supply for the main fan (12V), the panel cooling fan (12V), and the microcontroller logic alongside the relays (5V). In the control algorithm, a digital thermostat with a 2.0°C hysteresis band was applied to minimize relay chattering, as well as the direct heater ignition method for heater 1 and a sequential 2-second delay using a non-blocking function (*millis()*) for heater 2. Experimental results indicate that the sequential method significantly mitigates the initial inrush current on the

24V Power Supply. The automatic protection system also operates responsively by completely cutting off the heater power, activating the buzzer, and instantly sending a cloud notification when the temperature exceeds the critical limit of 45°C. Supported by a Dual-Mode operation (Local and IoT), this system offers high reliability and operational flexibility as an efficient and safe pet care device.

Keywords: *Blynk, Digital Thermostat, ESP32-S3, Inrush Current, Internet of Things (IoT), Overheat, PTC Ceramic, Smart Cat Dryer, Step-Down.*

1. PENDAHULUAN

Perawatan hewan peliharaan, khususnya kucing, telah menjadi bagian dari gaya hidup masyarakat modern yang memerlukan efisiensi waktu dan perhatian ekstra pada aspek kesehatan. Salah satu tahapan krusial dalam perawatan tersebut adalah proses pengeringan bulu pasca-mandi untuk mencegah kelembaban berlebih yang dapat memicu penyakit kulit dan jamur. Namun, penggunaan alat pengering konvensional seringkali memiliki keterbatasan dalam hal pengaturan suhu yang presisi, serta tingginya risiko keselamatan akibat panas berlebih (*overheat*) yang dapat membuat hewan mengalami stres hingga luka bakar. Dalam upaya memodernisasi sistem ini, pemanfaatan platform *Internet of Things* (IoT) seperti Blynk Cloud telah teruji mampu memberikan solusi pemantauan (*monitoring*) suhu jarak jauh dengan latensi komunikasi yang sangat rendah (Sari & Wijaya, 2023). Di samping itu, integrasi elemen pemanas keramik *Positive Temperature Coefficient* (PTC) pada sistem pengering terbukti lebih efisien, hemat energi, dan aman dibandingkan pemanas nikelin konvensional karena memiliki karakteristik *self-regulating* yang mampu menahan laju panas secara otomatis (Pratama, 2022).

Meskipun komponen-komponen penyusun tersebut berkinerja tinggi, tantangan teknis utama dalam perancangan alat pengering hewan otomatis adalah menjaga stabilitas operasional sistem elektrik. Ketika elemen pemanas berdaya tinggi dan motor DC (kipas sirkulasi) aktif secara bersamaan, muncul lonjakan arus awal (*inrush current*) berskala besar serta gangguan elektromagnetik (*noise* induktif). Fenomena *power drop* ini sangat rentan mengganggu integritas data pada jalur komunikasi I2C layar LCD, serta seringkali memicu mikrokontroler mengalami *brownout* atau *auto-restart*. Selain itu, fluktuasi pembacaan suhu pada batas target sering memicu saklar mekanis pada relay bekerja terlampau cepat secara berulang (*relay chattering*), yang berpotensi memperpendek umur pakai komponen elektromekanis tersebut (Yulianto & Ramadhan, 2021). Oleh karena itu, diperlukan sebuah modifikasi rekayasa perangkat keras dan algoritma kendali yang komprehensif untuk mengisolasi gangguan daya serta meredam lonjakan arus sistem.

Untuk mengatasi permasalahan ketidakstabilan daya tersebut, penelitian ini mengembangkan "Smart Cat Dryer Dengan Sistem Notifikasi *Overheat* Berbasis *Cloud IoT*" berbasis mikrokontroler berkinerja tinggi ESP32-S3 (Rahman, Putra, & Lestari, 2021). Inovasi rekayasa perangkat keras yang diimplementasikan berfokus pada topologi Isolasi Jalur Daya Paralel menggunakan tiga buah modul *buck converter* Step-Down secara independen. Sistem distribusi daya ini memisahkan secara total suplai untuk kipas sirkulasi utama (12V), kipas pendingin panel sirkuit (12V), serta logika mikrokontroler dan modul relay (5V) guna mencegah interferensi beban induktif. Dari sisi perangkat lunak, sistem mengimplementasikan algoritma Termostat Digital Sekuensial berbasis metode *non-blocking delay* dengan jeda penyalaan otomatis selama 2 detik antar-elemen pemanas PTC, sehingga *Power Supply Unit* (PSU) utama 24V tidak menanggung beban arus puncak secara bersamaan. Algoritma ini juga diperkuat dengan batas toleransi suhu (*hysteresis band*) yang ditetapkan sebesar 2.0°C pada pembacaan sensor NTC *Thermistor* 10k guna memberikan rentang aman untuk mencegah terjadinya *relay chattering* (Nugroho, 2020).

Keandalan sistem semakin ditingkatkan melalui arsitektur kendali redundan berfitur *Dual-Mode*. Pengguna dapat mengoperasikan alat secara konvensional pada Mode Lokal memanfaatkan potensiometer, maupun Mode IoT melalui antarmuka aplikasi seluler Blynk secara *real-time*. Penetapan set point pemanas pada suhu 35°C didasarkan pada titik aman kenyamanan termal hewan peliharaan. Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai purwarupa ruang inkubasi kucing, suhu 35°C terbukti merupakan titik suhu yang paling stabil dan aman untuk menjaga kondisi fisiologis kucing tanpa memicu respons stres akibat panas berlebih (Hibatullah, 2024). Sebagai lapisan proteksi termal ganda, perangkat ini dilengkapi dengan fitur keselamatan yang ketat, apabila sensor mendeteksi temperatur ruang melampaui batas kritis 45°C yang merupakan batas toleransi maksimal untuk mencegah terjadinya hipertermia fatal atau *heatstroke* pada hewan peliharaan, mikrokontroler akan mengeksekusi pemutusan total daya pemanas secara instan. Bersamaan dengan itu, sistem akan mengaktifkan alarm *buzzer* piezoelektrik sebagai peringatan fisik di lokasi (Wijaya & Santoso, 2020), serta mengirimkan notifikasi peringatan bahaya ke *smartphone* pengguna (Sari, Wibowo, & Hartono, 2023). Fokus dari penelitian ini adalah merancang fungsionalitas teknis, menguji keandalan distribusi daya terisolasi, serta mengevaluasi algoritma kendali termostat sekuensial. Melalui rancang bangun ini, diharapkan tercipta sebuah prototipe mesin pengering hewan peliharaan berbasis *IoT* yang memiliki tingkat keandalan operasional yang tinggi dan terjamin keamanannya bagi hewan.

2. METODE

Penelitian ini menerapkan metode rancang bangun (*prototyping*) kelistrikan dan sistem tertanam (*embedded system*) secara komprehensif untuk mengatasi kelemahan operasional pada alat

pengering konvensional. Pendekatan rekayasa yang digunakan berfokus pada penyelesaian dua masalah utama, yaitu fluktuasi daya akibat gangguan elektromagnetik (EMI) yang diselesaikan melalui topologi isolasi jalur daya paralel, serta lonjakan arus awal (*inrush current*) yang diredam menggunakan algoritma pemanasan sekuensial. Prosedur pelaksanaan penelitian dilakukan secara bertahap, mulai dari perancangan arsitektur sistem, perakitan sirkuit elektronik pada PCB *single layer*, pemrograman mikrokontroler menggunakan Arduino IDE, hingga kalibrasi seluruh komponen sensor dan aktuator secara dinamis. Sebelum melangkah ke rincian prosedur perancangan perangkat keras dan algoritma program, konfigurasi dasar dari alat *Smart Cat Dryer* dimodelkan terlebih dahulu ke dalam sebuah kesatuan diagram blok sistem. Alur interaksi fungsional antara bagian masukan (*input*), unit pemrosesan (*proses*), dan bagian keluaran (*output*) dirancang secara terpusat dan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir Metode Pembuatan Alat

Berdasarkan Gambar 1, metode penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut :

a. Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teori dan referensi yang relevan dengan penelitian. Pada tahap ini, peneliti mengumpulkan dan mempelajari berbagai sumber pustaka seperti jurnal ilmiah, artikel internet, serta *datasheet* komponen elektronik yang digunakan. Studi literatur difokuskan pada konsep *Internet of Things* (IoT), spesifikasi mikrokontroler ESP32-S3, algoritma termostat digital, fenomena lonjakan arus awal (*inrush current*) pada pemanas *Positive Temperature Coefficient* (PTC), serta topologi manajemen daya menggunakan *buck converter step-down*. Hasil dari tahap ini digunakan sebagai landasan teknis dalam perancangan arsitektur kelistrikan dan logika pemrograman sistem.

b. Perancangan dan pembuatan alat

Tahap perancangan dan pembuatan alat merupakan tahap inti dalam penelitian ini. Pada tahap perancangan, dilakukan penyusunan arsitektur sistem secara keseluruhan yang meliputi alur *input*, proses, dan *output* sistem. *Input* berupa data analog dari sensor NTC *Thermistor* 10k dan potensiometer kendali, kemudian diproses oleh ESP32-S3 yang diproteksi oleh tiga modul *step-down* secara paralel untuk menjaga stabilitas daya. *Output* dari sistem berupa

aktivasi elemen pemanas PTC melalui modul *relay*, indikator alarm *Buzzer*, serta tampilan visual pada LCD dan antarmuka aplikasi seluler Blynk. Setelah tahap perancangan kelistrikan selesai, dilakukan pembuatan alat dengan merakit komponen perangkat keras pada panel elektronik serta mengembangkan perangkat lunak pendukung. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE, meliputi algoritma termostat digital dengan *hysteresis* 2.0°C, sistem pemanas sekuensial dengan jeda *non-blocking delay* 2 detik, serta program proteksi termal (*overheat*) ganda pada suhu 45°C yang terintegrasi secara *real-time* dengan ekosistem Blynk Cloud.

c. Pengujian Alat

Tahap pengujian alat dilakukan untuk mengetahui apakah sistem kelistrikan dan algoritma yang telah dibuat dapat bekerja secara stabil sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan dengan menjalankan *Smart Cat Dryer* pada berbagai variasi target suhu dan durasi waktu. Pengujian meliputi evaluasi stabilitas catu daya logika ESP32-S3 dari gangguan *noise* induktif motor, efektivitas jeda sekuensial dalam meredam beban puncak (*peak load*) pada *Power Supply Unit* (PSU) 24V 30A, serta akurasi sensor NTC. Selain itu, dilakukan pengujian skenario ekstrem (*worst-case scenario*) untuk memvalidasi ketepatan respons sistem dalam memutus arus pemanas dan menyalakan notifikasi bahaya saat suhu ruang pengering menyentuh batas kritis.

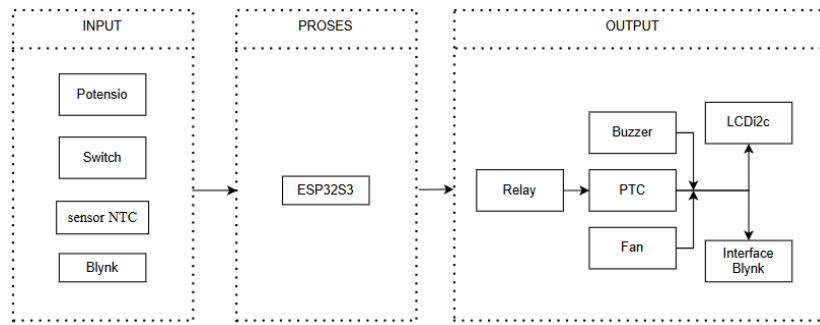
d. Analisis hasil

Setelah seluruh proses pengujian perangkat keras dan perangkat lunak selesai, dilakukan analisis terhadap data hasil pengujian. Analisis hasil bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem IoT terintegrasi yang telah dibuat. Parameter yang dianalisis meliputi tingkat keberhasilan topologi daya terisolasi dalam mencegah *auto-restart* sistem, presisi algoritma termostat dalam menjaga rentang suhu ideal, waktu respons pemutusan arus saat *overheat*, serta kelancaran transisi kendali dari Mode Lokal (analog) ke Mode IoT. Hasil analisis ini digunakan untuk mengetahui keandalan sistem alat bantu perawatan hewan peliharaan tersebut serta sebagai dasar yang kuat dalam penarikan kesimpulan penelitian.

e. Pembuatan laporan

Tahap pembuatan laporan merupakan tahap akhir dari penelitian. Pada tahap ini, seluruh proses penelitian mulai dari studi literatur, perancangan skematik dan perakitan alat, pengujian fungsional, hingga analisis efisiensi daya dan termal disusun ke dalam bentuk laporan Tugas Akhir. Selain itu, hasil penelitian yang memuat inovasi keteknikan ini juga dituangkan ke dalam bentuk naskah publikasi ilmiah sesuai dengan pedoman penulisan di Universitas Muhammadiyah Surakarta.

2.1 Perancangan Hardware



Gambar 2. Blok diagram sistem

Gambar 2 memperlihatkan blok diagram sistem, terdapat tiga bagian utama yaitu *input*, proses, dan *output*.

Bagian Input:

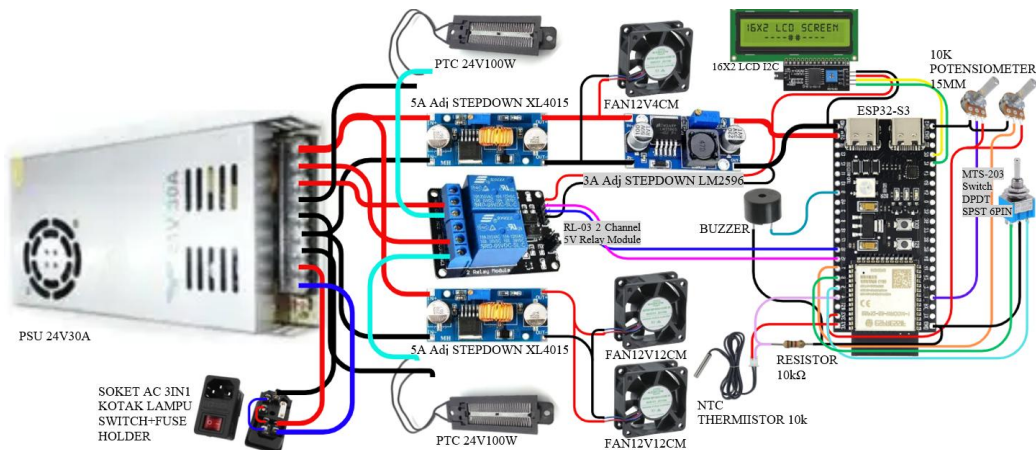
- Potensiometer Suhu dan Waktu merupakan dua buah komponen potensiometer analog digunakan untuk memberikan nilai masukan secara manual terkait target suhu pengeringan dan durasi hitung mundur (*timer*) saat sistem beroperasi pada "Mode Lokal".
- Saklar Selektor (MTS-203) yang berfungsi sebagai pemilih mode operasi kelistrikan sistem, yaitu untuk beralih antara kendali perangkat keras lokal atau kendali jarak jauh terpusat ("Mode IoT Blynk").
- Aplikasi Blynk (*Input Virtual*): Berfungsi sebagai antarmuka pengguna pada *smartphone* yang memberikan instruksi masukan tanpa kabel (*wireless*) berupa pengaturan target suhu, waktu, dan saklar daya utama melalui jaringan internet.
- Sensor Suhu NTC Thermistor 10k yang berfungsi sebagai perangkat masukan utama untuk membaca parameter suhu aktual di dalam ruang pengering secara presisi dan real-time.

Bagian Proses:

- Mikrokontroler ESP32-S3 sebagai pusat komputasi dan pemrosesan logika utama. Mikrokontroler ini bertugas mengonversi nilai *Analog-to-Digital Converter* (ADC) dari sensor dan potensiometer, mengeksekusi algoritma termostat digital dengan jeda sekuensial, mengatur lebar pulsa PWM, serta mengelola sinkronisasi komunikasi data dengan server Blynk Cloud melalui modul Wi-Fi internal.
- Arduino IDE digunakan sebagai lingkungan pengembangan terpadu (*Integrated Development Environment*) untuk menulis, memodifikasi, mengompilasi, dan mengunggah kode program berformat C/C++ ke dalam memori ESP32-S3. Melalui *software* ini, logika proteksi suhu kritis dan algoritma *non-blocking delay* ditanamkan.

Bagian Output:

- Modul Dual-Channel Relay berfungsi sebagai saklar mekanis yang dikendalikan oleh ESP32-S3 untuk menyalurkan atau memutus arus berdaya tinggi (24V) menuju dua buah elemen pemanas PTC secara sekuensial.
- Kipas Pendingin Panel sebagai pendingin aktif yang menyala secara mandiri untuk membuang akumulasi panas komponen elektronik di dalam kotak panel agar mikrokontroler tidak mengalami *overheat*.
- Buzzer Aktif sebagai indikator alarm audio (suara) yang dikendalikan oleh ESP32-S3. *Buzzer* akan berbunyi saat proses pengeringan telah selesai atau ketika sistem mendeteksi kondisi darurat berupa *overheat* pada suhu 45°C.
- LCD I2C 16x2 sebagai media penampil informasi lokal. Layar ini menampilkan teks mengenai mode operasi yang sedang aktif, suhu aktual kotak, suhu target, dan sisa waktu pengeringan. Penggunaan modul I2C sangat efisien karena menyederhanakan perkabelan pada mikrokontroler.
- Dashboard Blynk (Output Virtual)* sebagai media visualisasi hasil deteksi sensor jarak jauh. Data suhu dikirim dan ditampilkan secara *real-time*, sekaligus memungkinkan fitur *push-notification* (notifikasi otomatis) ke *smartphone* pengguna jika terjadi kondisi *overheat* kritis.



Gambar 3. Wiring diagram system

Pada Gambar 3, *wiring diagram* tersebut menggambarkan arsitektur sistem kelistrikan terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32-S3 sebagai pusat pengendali logika utama. Sistem menerima suplai daya dari sumber tegangan utama berupa *Power Supply Unit* (PSU) 24V 30A. Tegangan 24V ini didistribusikan secara langsung ke elemen pemanas PTC melalui beban terminal modul *relay*, serta diparalelkan menuju tiga buah modul *buck converter step-down* untuk menciptakan sistem manajemen daya terisolasi. *Step-down* pertama (12V) menyuplai arus ke kipas sirkulasi utama, *step-down* kedua (12V) menyuplai kipas pendingin panel secara mandiri, dan *step-down* ketiga (5V)

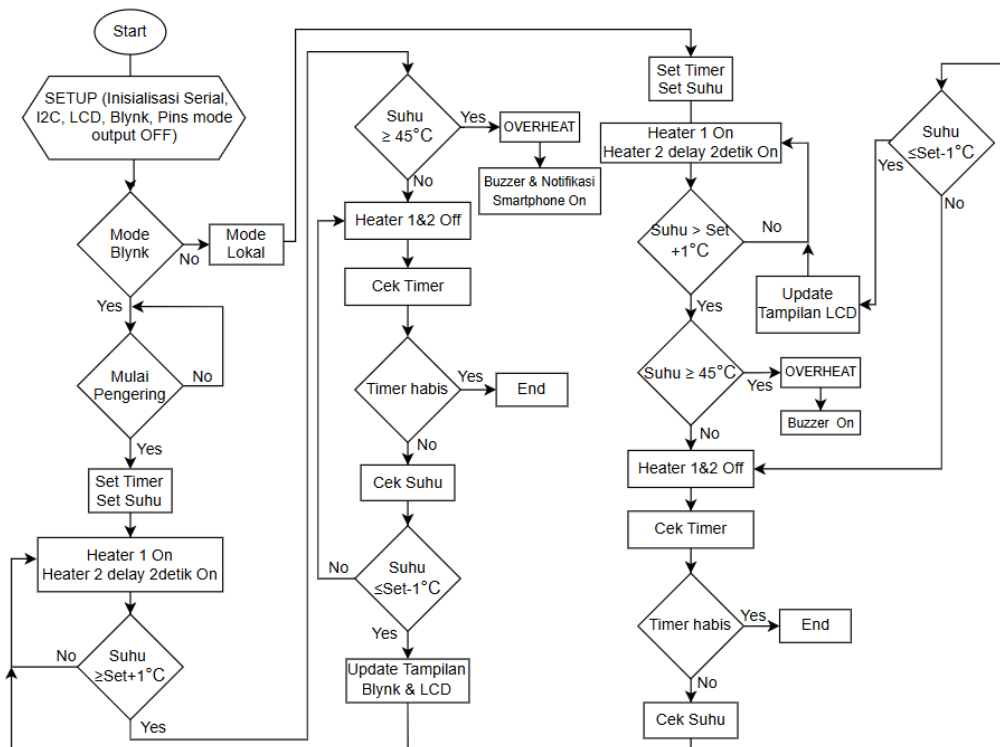
secara khusus memberikan tegangan kerja yang stabil dan bebas *noise* bagi ESP32-S3 beserta VCC modul *relay*.

Sebagai antarmuka masukan, ESP32-S3 membaca data suhu dari sensor NTC *Thermistor* 10k yang dirangkai sebagai pembagi tegangan, serta menerima input kontrol dari pengguna melalui dua buah potensiometer dan saklar selektor ganda (MTS-203) untuk pergantian mode operasi. Pada sisi keluaran, mikrokontroler mengendalikan aktivasi dua buah elemen pemanas PTC 24V melalui modul *dual-channel relay*, dan mengaktifkan *buzzer* aktif sebagai alarm peringatan. Seluruh informasi operasional sistem seperti suhu aktual, suhu target, sisa waktu, dan mode yang sedang berjalan ditampilkan secara teks melalui layar LCD 16x2 berantarmuka I2C.

2.2 Perancangan Software

2.2.1 Perancangan Perangkat Lunak

Tahap perancangan perangkat lunak (*software*) merupakan tahapan penanaman instruksi logika kontrol pada mikrokontroler ESP32-S3. Pengembangan program dilakukan menggunakan *Integrated Development Environment* (IDE) Arduino dengan basis bahasa pemrograman C/C++. Arsitektur perangkat lunak dirancang menggunakan metode *non-blocking delay* berbasis fungsi *millis()* agar mikrokontroler dapat mengeksekusi instruksi pembacaan sensor dan aktuator secara waktu-nyata (*real-time*) setiap interval 1 detik (1000 milidetik), tanpa memutus proses sinkronisasi komunikasi data dengan *server* Blynk Cloud IoT di latar belakang. Alur kerja logika perangkat lunak secara keseluruhan direpresentasikan melalui diagram alir pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Sistem Kontrol

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 4, program diawali dengan inisialisasi parameter mikrokontroler dan seleksi mode operasi melalui saklar fisik. Pada "Mode LOKAL", sistem menggunakan pemetaan nilai potensiometer untuk mengatur target suhu dan *timer*, sedangkan "Mode BLYNK" mengandalkan masukan parameter secara nirkabel dari aplikasi *smartphone*. Setelah mode aktif, sistem secara rutin membaca resistansi sensor NTC 10k pada interval satu detik dan mengonversinya menjadi data suhu Celcius menggunakan persamaan logaritmik Steinhart-Hart. Jika tidak ada mode yang dipilih, mikrokontroler akan langsung mematikan seluruh aktuator dan masuk ke status siaga.

Suhu aktual yang terbaca kemudian dievaluasi pada blok prioritas keamanan tertinggi. Apabila terdeteksi melampaui batas kritis 45 °C, program mengeksekusi interupsi darurat (*override*) dengan memutus total daya pada *relay* pemanas, menyalakan *buzzer*, dan mengirimkan notifikasi peringatan ke gawai pengguna. Namun, selama kondisi termal aman dan *timer* berjalan, sistem mengeksekusi logika termostat dengan batas toleransi (*hysteresis band*) 2,0 °C untuk mencegah kerusakan mekanis akibat *relay chattering*. Proses pemanasan juga dilakukan secara sekuensial, di mana pemanas kedua baru diizinkan menyala dua detik setelah pemanas pertama guna meredam lonjakan arus awal (*inrush current*) pada catu daya utama, sebelum akhirnya siklus ditutup dengan pembaruan data pada layar LCD dan antarmuka Blynk.

2.2.2 Perancangan Program ESP32-S3

Perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler ESP32-S3 dibangun menggunakan bahasa pemrograman C++ melalui antarmuka *Arduino IDE*. Program utama dirancang untuk mengintegrasikan pembacaan sensor suhu analog, mengeksekusi logika kendali termostat berbasis histeresis, serta mentransmisikan pemantauan data secara *real-time* menuju platform *Cloud IoT* (Blynk). Untuk memastikan keamanan operasional perangkat, sistem dilengkapi dengan algoritma proteksi suhu berlebih (*overheat cut-off*). Potongan kode untuk fitur proteksi ini dapat dilihat pada Gambar 5.

```

156   if (currentTemp > 45.0) {
157       digitalWrite(PIN_HEATER1, RELAY_OFF);
158       digitalWrite(PIN_HEATER2, RELAY_OFF);
159       isHeater1On = false;
160       isHeater2On = false;
161       digitalWrite(PIN_BUZZER, HIGH);
162
163       if (!wasOverheat) {
164           Blynk.logEvent("overheat_alarm", "Bahaya! Suhu: " + String(currentTemp) + "C");
165           wasOverheat = true;
166       }
167   } else {
168       wasOverheat = false;
169       if (remainingSeconds > 0) digitalWrite(PIN_BUZZER, LOW);
170   }

```

Gambar 5. Potongan Kode Sistem Proteksi Suhu Berlebih

Berdasarkan Gambar 5, apabila sensor mendeteksi suhu melampaui batas kritis 45,0°C, mikrokontroler akan secara paksa memutus aliran listrik pada kedua *relay* pemanas (RELAY_OFF)

terlepas dari status *timer*, serta memicu *buzzer* peringatan dan mengirimkan notifikasi darurat ke aplikasi Blynk.

Selain fitur proteksi, program ini juga menerapkan logika kendali termostat dengan pita histeresis (*hysteresis band*) dan pemanasan sekuensial (*sequential heating*) untuk menjaga kestabilan suhu kabin. Logika tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.

```

179   if (isTimerActive && remainingSeconds > 0 && !wasOverheat) {
180
181       bool needHeat = isHeater1On;
182
183       if (currentTemp < (float)targetTemp - tempTolerance) {
184           needHeat = true;
185       } else if (currentTemp > (float)targetTemp + tempTolerance) {
186           needHeat = false;
187       }
188
189       if (needHeat) {
190           if (!isHeater1On) {
191               digitalWrite(PIN_HEATER1, RELAY_ON);
192               isHeater1On = true;
193               heater1TurnedOnAt = millis();
194           }
195
196           // Cek jeda untuk menyalakan Heater 2 (Aman ditaruh di sini)
197           if (isHeater1On && !isHeater2On && (millis() - heater1TurnedOnAt >= HEATER_DELAY_MS)) {
198               digitalWrite(PIN_HEATER2, RELAY_ON);
199               isHeater2On = true;
200           }
201       } else {
202           digitalWrite(PIN_HEATER1, RELAY_OFF);
203           digitalWrite(PIN_HEATER2, RELAY_OFF);
204           isHeater1On = false;
205           isHeater2On = false;
206       }

```

Gambar 6. Potongan Kode Logika Termostat dan Pemanasan Sekuensial

Pada Gambar 6, sistem menggunakan toleransi nilai suhu untuk menentukan batas bawah aktuasi pemanas, sehingga *relay* tidak mengalami osilasi saklar (*chattering*). Selain itu, terdapat fungsi *delay* menggunakan *millis()* yang memberikan jeda aktivasi antara pemanas pertama dan kedua guna menekan lonjakan arus listrik awal (*inrush current*).

Untuk menjamin keakuratan data masukan pada sistem kendali, pembacaan nilai dari sensor suhu NTC 10k memerlukan konversi matematis dan pemfilteran sinyal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

```

306   float resistance = 10000.0 * (4095.0 / raw - 1.0);
307   float steinhart = log(resistance / 10000.0) / 3950.0;
308   steinhart += 1.0 / (25.0 + 273.15);
309   float tempCelcius = (1.0 / steinhart) - 273.15;
310
311   // =====
312   // FILTER EMA (Exponential Moving Average)
313   // =====
314   static float filteredTemp = -100.0; // Nilai awal saat alat baru nyala
315
316   if (filteredTemp == -100.0) {
317       filteredTemp = tempCelcius; // Ambil nilai mentah untuk pertama kali
318   } else {
319       // Bobot: 10% data baru, 90% data lama (Membuat pergerakan suhu SANGAT HALUS)
320       filteredTemp = (tempCelcius * 0.1) + (filteredTemp * 0.9);
321   }

```

Gambar 7. Potongan Kode Konversi Steinhart-Hart dan Filter EMA

Berdasarkan Gambar 7, program mengonversi resistansi pembacaan nilai *Analog-to-Digital Converter* (ADC) menjadi besaran suhu Celcius menggunakan persamaan *Steinhart-Hart*. Selanjutnya, data suhu mentah tersebut dilewatkan pada filter *Exponential Moving Average* (EMA) untuk meredam gangguan sinyal listrik (*noise*) pada ESP32, sehingga pergerakan nilai suhu yang ditampilkan dan diproses menjadi lebih halus dan stabil.

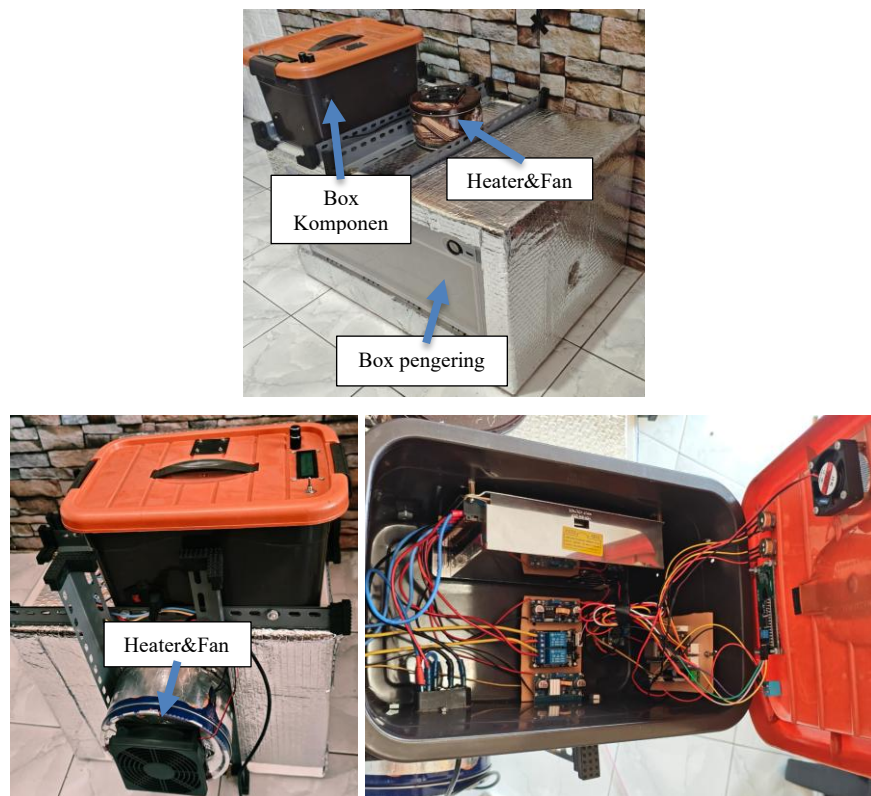
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan Sistem *Smart Cat Dryer* dengan Sistem Notifikasi *Overheat* Berbasis *Cloud IoT*

3.1.1 Hardware Sistem

Perancangan perangkat keras (*hardware*) pada sistem ini direalisasikan menggunakan wadah utama berupa kotak berbahan dasar plastik berbentuk persegi panjang dengan dimensi 68 cm x 47 cm x 38 cm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Untuk menjaga stabilitas suhu dan mencegah tingkat kebocoran panas yang tinggi ke lingkungan sekitar, sebagian sisi luar boks dilapisi dengan material insulasi termal berupa *aluminium metalizing foil bubble*. Pada sisi luar alat, terdapat sistem sirkulasi udara mekanis yang digerakkan oleh kipas *blower* untuk mendorong udara panas masuk melewati pemanas PTC ke dalam ruang pengering.

Sementara itu, untuk memisahkan area elektronik dari paparan suhu panas ruang kabin, seluruh komponen kontrol kelistrikan ditempatkan pada container berbahan dasar plastik berbentuk persegi panjang dengan dimensi 35 cm x 24 cm x 19 cm. Pada bagian luar penutup atas, terdapat panel antarmuka fisik yang terdiri dari layar LCD 16x2, saklar *toggle* untuk pemilihan mode operasi, serta potensiometer. Di bagian dalam penutup tersebut, terpasang pusat kendali kelistrikan yang meliputi mikrokontroler ESP32-S3, *Power Supply Unit* (PSU) 24V, modul *relay* untuk aktuasi pemanas, serta modul *step-down* yang dirangkai sedemikian rupa untuk mendistribusikan daya sesuai kebutuhan masing-masing komponen.

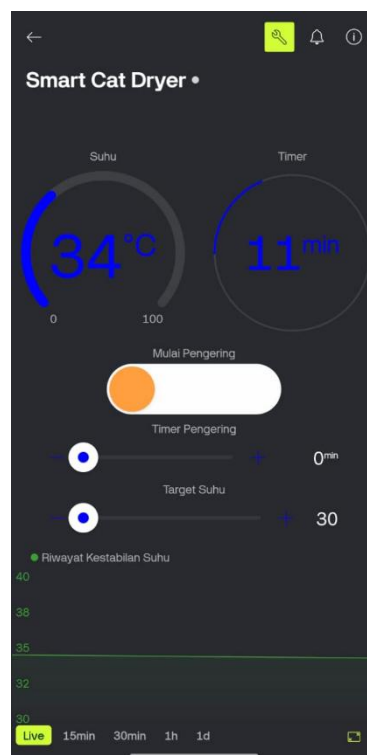


Gambar 8. Hardware Sistem

Aspek perangkat keras pada Gambar 8, aktuasi termal digerakkan oleh dua buah elemen pemanas PTC (*Positive Temperature Coefficient*) yang dikendalikan melalui modul *relay* berskema sekuensial untuk meminimalisasi lonjakan arus (*inrush current*). Distribusi udara di dalam ruang kabin didukung oleh kipas *brushless* 12V DC yang kestabilan dayanya diregulasi menggunakan modul *step-down*. Untuk sistem umpan balik umpan balik (*feedback*), sistem mengandalkan sensor termistor NTC 10k yang diletakkan di dalam ruang pengering untuk membaca suhu aktual, yang kemudian ditampilkan secara *real-time* melalui modul layar LCD I2C 16x2.

3.1.2 Interface Blynk

Pengembangan antarmuka jarak jauh pada sistem ini diimplementasikan menggunakan platform Blynk IoT untuk memfasilitasi pemantauan dan pengendalian alat secara nirkabel melalui *smartphone* pengguna. Pada fungsionalitas pemantauan, *dashboard* visual dilengkapi dengan dua instrumen pembacaan utama, yaitu Gauge Suhu untuk menampilkan suhu aktual ruang kabin secara *real-time* dan Gauge Timer yang memproyeksikan hitung mundur sisa waktu operasi. Selain itu, disematkan pula fitur grafik interaktif (*SuperChart*) bernama Riwayat Kestabilan Suhu yang berfungsi untuk merekam tren fluktuasi termal dari waktu ke waktu. Melalui grafik ini, pengguna dapat memvalidasi stabilitas kinerja aktuator pemanas secara visual dan memastikan suhu operasional selalu berada di bawah ambang batas bahaya (*overheat*). Tata letak visual dari *dashboard* kendali aplikasi Blynk saat sistem sedang beroperasi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. *Interface Blynk*

Sementara itu, untuk fungsionalitas pengendalian parameter operasional, aplikasi menyediakan tiga komponen masukan interaktif yang terhubung dengan *Virtual Pin* pada mikrokontroler ESP32-S3. Komponen tersebut meliputi saklar utama Mulai Pengering untuk menginisiasi siklus sistem, *Slider Timer* Pengering untuk mengatur target durasi dalam satuan menit, serta *Slider Target Suhu* sebagai referensi pemanasan yang batas maksimalnya dikunci pada 40°C demi menjamin keselamatan hewan peliharaan. Seluruh paket instruksi yang diinputkan pengguna melalui *widget* antarmuka ini akan ditransmisikan menuju *server cloud* Blynk dan dieksekusi seketika oleh perangkat keras, menciptakan ekosistem kontrol jarak jauh yang responsif dan dapat diandalkan.

3.2 Hasil Pengujian

3.2.1 Pengujian Lokal

Tabel 1. Pengujian Tombol Pada Lokal

NO.	Input Lokal	Test Case	Hasil yang diharapkan	Kondisi Cat Dryer
1	<i>Saklar Toggle (Posisi OFF)</i>	Mengubah posisi saklar ke tengah (Posisi Netral/Mati)	Menghentikan fungsi <i>timer</i> dan memutus arus kontrol pada seluruh <i>relay</i>	Seluruh aktuator pemanas mati (Layar LCD menampilkan "SISTEM MATI")
2	<i>Saklar Toggle (Posisi LOKAL)</i>	Mengubah posisi saklar ke arah "Mode LOKAL"	Mikrokontroler membaca <i>input</i> dari potensiometer dan mengabaikan parameter <i>cloud</i>	Sistem beroperasi mandiri (Layar LCD menampilkan label "LOKAL")
3	<i>Saklar Toggle (Posisi BLYNK)</i>	Mengubah posisi saklar ke arah "Mode BLYNK"	Mikrokontroler mengambil parameter pengaturan suhu dan <i>timer</i> dari antarmuka Blynk	Sistem dikendalikan via <i>smartphone</i> (Layar LCD menampilkan label "BLYNK")
4	<i>Potensiometer Target Suhu</i>	SuhuMemutar tuas (<i>knob</i>) potensiometer pengatur suhu	Modul membaca perubahan nilai <i>Analog-to-Digital Converter</i> (ADC) untuk target suhu	Nilai batas suhu ("Set:") pada layar LCD berubah sesuai putaran (30-40 °C)
5	<i>Potensiometer Timer</i>	Memutar tuas (<i>knob</i>) potensiometer pengatur durasi	Modul membaca perubahan nilai ADC untuk dikonversi menjadi rentang durasi menit	Angka menit pada <i>timer</i> alat berubah dan tersimpan di memori sistem

Tabel 1. Pengujian Tombol Pada Lokal (Lanjutan)

6	Layar LCD (Pembacaan Suhu)	Memantau karakter pada layar saat terjadi fluktuasi panas di dalam kabin	Menerima parameter suhu aktual dari komputasi NTC dan memperbarui tampilan	Angka pada teks "Suhu:" berubah secara <i>real-time</i> sinkron dengan panas ruang
7	Layar LCD (Hitung Mundur)	Memantau layar saat aktuator pemanas dan kipas beroperasi (<i>timer</i> berjalan)	Mengeksekusi dan menampilkan fungsi pengurangan sisa waktu secara berulang	Angka pada teks "Tm:" berjalan hitung mundur (format MM:SS) setiap satu detik

Pengujian fungsionalitas mode lokal bertujuan untuk memvalidasi kinerja antarmuka fisik perangkat keras saat sistem beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada jaringan internet (*cloud*). Pada tahap ini, mikrokontroler ESP32-S3 dievaluasi kemampuannya dalam merespons instruksi masukan luring yang terdiri dari saklar *toggle* tiga arah untuk seleksi mode operasi, serta perubahan nilai *Analog-to-Digital Converter* (ADC) dari dua buah potensiometer guna menetapkan parameter target suhu dan durasi waktu pengeringan. Akurasi dari penyesuaian parameter mekanis tersebut beserta status eksekusi aktuator kemudian diverifikasi melalui umpan balik visual secara *real-time* pada layar LCD 16x2. Adapun rincian skenario operasional, interaksi komponen, dan hasil yang diharapkan pada pengujian antarmuka lokal ini disajikan secara komprehensif pada Tabel 1.

3.2.2 Pengujian Blynk

Tabel 2. Pengujian Tombol Pada *Interface* Blynk

NO.	Input Blynk	Test Case	Hasil yang diharapkan	Kondisi <i>Cat Dryer</i>
1	Switch "Mulai Pengering"	Mengubah status <i>switch</i> ke posisi ON	Mengirim parameter nilai 1 ke mikrokontroler	Alat mulai beroperasi (ON)
2	Switch "Mulai Pengering"	Mengubah status <i>switch</i> ke posisi OFF	Mengirim parameter nilai 0 ke mikrokontroler	Seluruh aktuator alat mati (OFF)
3	Slider "Timer Pengering"	Menggeser nilai <i>slider</i> untuk menambah/mengurangi waktu	Mengirim parameter durasi waktu ke mikrokontroler	Nilai hitung mundur (waktu) pada sistem berubah

Tabel 2. Pengujian Tombol Pada *Interface* Blynk (Lanjutan)

4	<i>Slider</i> "Target Suhu"	Menggeser nilai <i>slider</i> untuk menentukan suhu maksimal	Mengirim parameter target suhu ke mikrokontroler	Batas atas termostat (referensi suhu) berubah
5	<i>Gauge</i> "Suhu"	Memantau respon <i>widget</i> saat terjadi perubahan suhu ruang kabin	Menerima dan menampilkan pembacaan sensor secara <i>real-time</i>	Nilai suhu di layar ponsel sinkron dengan suhu aktual
6	<i>Gauge</i> "Timer"	Memantau respon <i>widget</i> saat sistem alat dihidupkan	Menampilkan hitung mundur waktu yang tersisa	Angka <i>timer</i> di layar ponsel berkurang setiap detik
7	<i>SuperChart</i> "Riwayat Kestabilan Suhu"	Memantau <i>dashboard</i> saat pemanas (<i>heater</i>) bekerja menyentuh batas suhu	Menampilkan plot titik koordinat (<i>grafik</i>) nilai suhu terhadap waktu	Tren kenaikan dan fluktuasi suhu tergambar jelas

Pengujian fungsionalitas antarmuka Blynk bertujuan untuk mengevaluasi responsivitas, akurasi, dan sinkronisasi komunikasi data nirkabel antara perangkat gawai pengguna dengan mikrokontroler ESP32-S3 melalui jaringan *cloud* IoT. Fokus utama pada pengujian ini adalah memvalidasi integritas penerimaan paket instruksi dari *widget* kontrol (seperti saklar *master power*, *slider* pengatur durasi, dan *slider* target suhu) serta akurasi pengiriman data umpan balik dari alat (seperti visualisasi *gauge* suhu aktual, perhitungan mundur *timer*, dan tren grafik riwayat kestabilan suhu). Melalui skenario pengujian ini, tingkat latensi pengiriman data dan keandalan fitur kendali jarak jauh dipastikan berjalan optimal tanpa kegagalan sistem. Rincian skenario operasional, instruksi, dan hasil akhir pada pengujian antarmuka Blynk ini disajikan secara komprehensif pada Tabel 2.

3.2.3 Pengujian Kalibrasi Sensor

Tabel 3. Pengujian Kalibrasi Sensor

NO.	Suhu Termometer Referensi(°C)	Suhu Sensor NTC 10k(°C)	Selisih Suhu / <i>Error</i> (°C)	Persentase <i>Error</i> (%)
1	31,3	31	0,3	0,96%
2	32,1	32	0,1	0,31%
3	32,8	33	0,2	0,61%
4	33,7	34	0,3	0,89%
5	34,1	34	0,1	0,29%
Rata-rata			0,2	0,61%

Untuk mendapatkan nilai selisih absolut (*error*) seperti pada Persamaan 1.

$$Error = |T_{NTC} - T_{Ref}| \quad (1)$$

Sementara itu, persentase *error* untuk memvalidasi tingkat akurasi sensor dihitung menggunakan Persamaan 2:

$$\%Error = \left(\frac{|T_{NTC} - T_{Ref}|}{T_{Ref}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Di mana parameter yang digunakan adalah:

- T_{NTC} = Nilai suhu yang terbaca oleh mikrokontroler dari sensor NTC.
- T_{Ref} = Nilai suhu aktual dari alat ukur pembanding (referensi).

Berdasarkan Tabel 3 mengenai Pengujian Kalibrasi Sensor, dapat dilihat bahwa pembacaan suhu dari sensor NTC 10k memiliki rata-rata penyimpangan (*error* absolut) yang sangat kecil, yaitu sebesar 0,2°C, dengan persentase *error* rata-rata sebesar 0,61% jika dibandingkan dengan termometer referensi. Mengingat persentase kesalahan ini berada sangat jauh di bawah batas toleransi maksimum standar instrumentasi kendali (yakni < 5%), maka dapat disimpulkan bahwa sensor NTC 10k yang digunakan telah terkalibrasi dengan sangat baik. Sensor ini terbukti presisi, akurat, dan sangat layak untuk digunakan sebagai variabel masukan utama dalam mengeksekusi logika sistem kendali termostat pada alat ini.

3.2.4 Pengujian Kendali Termostat dan Histeresis

Tabel 4. Pengujian Kalibrasi Sensor

NO.	<i>Set Point / Target</i> (°C)	Suhu Aktual NTC saat <i>Relay ON</i> (°C)	Suhu Aktual NTC saat <i>Relay OFF</i> (°C)	Lebar Histeresis (°C)
1	35	33,8	36,1	2,2
2	35	33,9	36,2	2,3
3	35	33,8	36,1	2,3
4	35	33,9	36,1	2,2
5	35	33,9	36,2	2,3
Rata-rata		33,88	36,14	2,26

Berdasarkan data pada Tabel 4, sistem kendali termostat terbukti berhasil mengeksekusi logika histeresis dengan tingkat presisi yang sangat baik. *Relay* pemanas secara konsisten mati tepat ketika pembacaan sensor menyentuh angka $>36,0^{\circ}\text{C}$ (rata-rata tereksekusi pada $36,14^{\circ}\text{C}$) dan kembali menyala saat suhu turun menyentuh angka $<34,0^{\circ}\text{C}$ (rata-rata tereksekusi pada $33,88^{\circ}\text{C}$).

Penyimpangan sekian desimal derajat (sekitar $0,1^{\circ}\text{C}$ hingga $0,2^{\circ}\text{C}$) dari batas eksak merupakan hal yang wajar dan diakibatkan oleh *delay* komputasi dari filter *Exponential Moving Average* (EMA) dalam menghaluskan *noise* pembacaan ADC. Secara keseluruhan, lebar histeresis aktual yang dihasilkan adalah $2,26^{\circ}\text{C}$. Rentang ini terbukti efektif dalam menjaga kestabilan suhu ruang kabin (*steady-state*) sekaligus mengamankan siklus kerja aktuator tanpa jeda saklar yang terlalu ekstrem.

3.2.5 Pengujian Proteksi *Overheat*.

Tabel 5. Pengujian Waktu Respon Proteksi *Overheat* (Batas Kritis $>45,0^{\circ}\text{C}$)

NO.	Suhu Pemicu (<i>Trigger</i>)	Waktu Pemutusan <i>Relay & Buzzer</i>	Status Layar LCD	Latensi Notifikasi Blynk
1	$45,1^{\circ}\text{C}$	0,22 detik	"!!! OVERHEAT !!!"	1,45 detik
2	$45,2^{\circ}\text{C}$	0,25 detik	"!!! OVERHEAT !!!"	1,80 detik
3	$45,1^{\circ}\text{C}$	0,18 detik	"!!! OVERHEAT !!!"	1,35 detik
4	$45,1^{\circ}\text{C}$	0,20 detik	"!!! OVERHEAT !!!"	2,10 detik
5	$45,3^{\circ}\text{C}$	0,21 detik	"!!! OVERHEAT !!!"	1,60 detik
Rata-rata		0,21 detik	Sesuai Logika	1,66 detik

Berdasarkan data kuantitatif pada Tabel 5, fitur proteksi *overheat* terbukti bekerja dengan tingkat responsivitas yang sangat tinggi dan dapat diandalkan. Mikrokontroler hanya membutuhkan waktu rata-rata 0,21 detik sejak suhu melampaui batas kritis untuk mengeksekusi pemutusan sirkuit pada aktuator pemanas secara instan (*hardware cut-off*). Bersamaan dengan itu, peringatan bahaya lokal (visual pada LCD dan audio pada *buzzer*) juga tereksekusi tanpa kegagalan.

Adapun untuk sistem peringatan jarak jauh (*remote alert*), fungsi `Blynk.logEvent()` berhasil mentransmisikan notifikasi bahaya secara *real-time* ke perangkat gawai pengguna dengan latensi waktu rata-rata 1,66 detik. Variasi jeda waktu pada pengiriman notifikasi Blynk ini sangat bergantung pada kualitas dan stabilitas koneksi jaringan internet yang digunakan saat pengujian berlangsung. Namun secara keseluruhan, sistem proteksi ganda ini dinyatakan sukses beroperasi memenuhi standar keamanan.

3.2.6 Pengujian Karakteristik Proses Pengeringan

Pengujian ini bertujuan untuk mengamati profil kenaikan suhu (*rise time*) dan durasi riil yang dibutuhkan oleh sistem untuk mengeringkan hewan peliharaan (kucing berukuran kecil). Pada pengujian ini, parameter target suhu (*set point*) diatur pada 38°C dengan durasi waktu (*timer*) selama 20 menit. Pengamatan dilakukan secara sekuensial setiap interval 5 menit untuk mencatat laju kenaikan suhu kabin saat diberikan beban termal (*thermal load*) berupa subjek uji basah. Hasil pengamatan profil suhu selama proses pengeringan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengujian Karakteristik Proses Pengeringan

Waktu Pengamatan	Suhu Pemicu (<i>Trigger</i>)	Waktu Pemutusan Relay & Buzzer	Keterangan Fisik Subjek Uji
Menit ke-0	28 °C	ON	Alat dihidupkan, bulu kucing basah merata
Menit ke-5	31 °C	ON	Suhu mulai merayap naik, proses evaporasi dimulai
Menit ke-10	33 °C	ON	Laju kenaikan suhu melambat akibat penyerapan kalor
Menit ke-15	34 °C	ON	Sebagian besar bulu mulai mengering
Menit ke-20	35 °C	OFF (Selesai)	Bulu kucing kering, <i>timer</i> berakhir

Berdasarkan data observasi pada Tabel 6, terdapat fenomena termodinamika yang relevan dengan prinsip kerja sistem pengering. Meskipun *set point* diatur pada 38°C, suhu kabin tertinggi yang tercapai hingga menit ke-20 hanya berkisar di 35,6°C dan *relay* pemanas terus bekerja dalam status ON secara konstan.

Hal ini disebabkan oleh terjadinya proses pendinginan evaporatif (*evaporative cooling*). Kalor panas yang dihasilkan oleh elemen PTC sebagian besar diserap oleh kandungan air pada bulu kucing untuk proses penguapan. Akibatnya, suhu ambien di dalam ruang kabin tidak dapat naik secara drastis selama material masih basah.

Meskipun suhu target 38°C belum sepenuhnya tercapai, proses pengeringan dinyatakan berhasil diselesaikan secara optimal dalam waktu 20 menit. Hal ini membuktikan bahwa efisiensi pengeringan pada alat ini tidak hanya bergantung pada tingginya suhu elemen pemanas, melainkan juga didukung secara signifikan oleh sirkulasi konveksi paksa udara (*forced convection*) dari kipas *blower* yang mempercepat pelepasan kelembapan udara dari dalam box.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh tahapan penelitian yang meliputi studi literatur, perancangan perangkat keras, implementasi perangkat lunak, hingga pengujian sistem, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kendali *dual-mode* (Mode Lokal dan Mode Blynk) berbasis mikrokontroler ESP32-S3 telah berhasil direalisasikan dengan baik. Peralihan otoritas kontrol melalui saklar *toggle* fisik dapat dieksekusi secara instan dan bersifat *non-blocking*, sehingga alat tetap dapat dioperasikan secara luring tanpa ketergantungan pada jaringan internet.
2. Sistem proteksi ganda terhadap bahaya panas berlebih (*overheat*) terbukti bekerja dengan tingkat responsivitas yang tinggi. Algoritma *moving average* (20 sampel data) pada fungsi pembacaan sensor NTC 10k mampu meredam fluktuasi *noise* ADC secara optimal. Ketika suhu kabin melampaui batas kritis 45 °C, mikrokontroler secara instan memutuskan aliran daya *relay* pemanas, mengaktifkan alarm lokal (*buzzer*), dan sukses mentransmisikan notifikasi peringatan darurat ke gawai pengguna via *cloud* Blynk.
3. Penerapan logika kontrol pemanas secara sekuensial (*sequential heater control*) dengan jeda waktu penundaan selama 2000 milidetik terbukti efektif dalam meredam lonjakan arus awal (*inrush current*) pada *Power Supply Unit* (PSU) 24V utama. Selain itu, integrasi modul *step-down* berhasil meregulasi tegangan kipas *brushless* guna mendukung distribusi sirkulasi udara hangat yang stabil di dalam ruang kabin.

4.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diajukan untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem lebih lanjut pada penelitian mendatang adalah sebagai berikut:

1. Melakukan optimalisasi pada perancangan fisik boks kabin pengering, baik dari segi peningkatan kualitas material insulasi termal maupun penyesuaian dimensi lubang sirkulasi udara, agar laju efisiensi kenaikan suhu operasional dapat berjalan lebih cepat.
2. Mengembangkan fitur pilihan profil pengeringan otomatis (*preset drying profiles*) pada antarmuka aplikasi Blynk yang disesuaikan secara spesifik berdasarkan karakteristik fisik hewan peliharaan, seperti jenis ras, ketebalan bulu, atau bobot tubuh kucing.
3. Menambahkan komponen proteksi cadangan berbasis perangkat keras murni (*pure hardware cut-off*), seperti pemasangan sekering termal mekanis (*thermal fuse* bimetal) yang dipasang seri pada jalur daya utama pemanas PTC, sebagai langkah preventif sekunder demi menjamin keselamatan mutlak hewan peliharaan apabila terjadi kegagalan sistem kontrol pada mikrokontroler.

PERSANTUNAN

Segala puji dan syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, petunjuk, dan kemudahan-Nya sehingga artikel ilmiah ini dapat diselesaikan dengan baik. Salawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan umat manusia, beserta keluarga dan para sahabat beliau. Ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya juga penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara moril, teknis, maupun finansial, selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan semangat tanpa henti dalam menyelesaikan studi dan penelitian ini.
2. Dr. Ratnasari Nur Rohmah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan, motivasi, dan bimbingan secara intensif selama proses penelitian dan penyusunan artikel ilmiah.
3. Universitas Muhammadiyah Surakarta (UMS) atas dukungan pendanaan riset sebesar Rp800.000,00 yang telah diberikan. Bantuan finansial ini sangat berkontribusi besar dalam kelancaran proses perancangan dan realisasi perangkat keras pada penelitian ini.
4. Seluruh dosen dan staf pengajar di Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan bekal ilmu dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan.

Semoga segala bantuan dan kebaikan yang telah diberikan menjadi amal jariyah dan mendapat balasan yang terbaik dari Allah SWT. Aamiin.

DAFTAR PUSTAKA

- Fahmi, A., & Setiawan, B. (2020). Analisis kendali kecepatan motor DC menggunakan PWM berbasis mikrokontroler. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*.
- Hibatullah, R. N. (2024). Alat kendali suhu pada ruang inkubasi kucing pasca operasi. *Journal of Mechanical and Electrical Technology*, 4(1).
- Kamal, Firdayanti, Tyas, U. M., Buckhari, A. A., & Pattasang. (2023). Implementasi aplikasi Arduino IDE pada mata kuliah sistem digital. *TEKNOS: Jurnal Pendidikan dan Teknologi*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.59638/teknos.v1i1.40>
- Nugroho, S. (2020). Karakteristik sensor suhu NTC dalam sistem kontrol termostat digital. *Jurnal Fisika Terapan*.
- Pratama, A. (2022). Analisis efisiensi pemanas keramik PTC pada sistem inkubator. *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*.
- Rahman, A., Putra, I., & Lestari, D. (2021). Pengembangan sistem kontrol berbasis ESP32 untuk aplikasi IoT. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 13(3), 88–95.

- Rahman, M. T., et al. (2021). Performance evaluation of ESP32 microcontroller for IoT-based applications. *International Journal of Computing and Digital Systems*.
- Rohman, A., & Dewi, T. (2021). Implementasi LCD dan OLED pada sistem monitoring berbasis mikrokontroler. *Jurnal Elektronika Terapan*, 11(2), 64–70.
- Sari, D., & Wijaya, K. (2023). Real-time monitoring system via Blynk cloud IoT platform for smart home devices. *Journal of Embedded Systems and IoT*.
- Sari, N., & Hartono, Y. (2023). Implementasi API server pada sistem IoT untuk monitoring dan kontrol perangkat secara real-time. *Jurnal Internet of Things Indonesia*, 2(2), 33–40.
- Sari, N., Wibowo, L., & Hartono, Y. (2023). Sistem monitoring keamanan berbasis IoT menggunakan ESP32 dan Blynk. *Jurnal Internet of Things Indonesia*, 2(1), 10–17.
- Wijaya, R., & Santoso, A. (2020). Perancangan alarm otomatis berbasis Arduino menggunakan buzzer piezo. *Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, 5(2), 89–95.
- Yulianto, S., & Ramadhan, A. (2021). Desain sistem kendali relay 5V untuk perangkat rumah pintar. *Jurnal Teknik Elektro*, 14(1), 55–61.