

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara beriklim tropis dengan tingkat kelembapan udara yang relatif tinggi sepanjang tahun. Berdasarkan Catatan Iklim dan Kualitas Udara BMKG Tahun 2024, Indonesia mengalami peningkatan suhu rata-rata sebesar 0,8°C dibandingkan kondisi normal periode 1991 – 2020 dan tercatat sebagai tahun terpanas sejak pengamatan tahun 1981. Selain itu, fenomena perubahan cuaca yang tidak menentu menyebabkan curah hujan dan kelembapan udara cenderung fluktuatif sepanjang tahun. (Bidang Klimatologi Badan Meteorologi & Geofisika Jakarta, n.d.). Kondisi iklim tersebut berdampak pada berbagai aktivitas masyarakat, termasuk dalam perawatan barang pribadi yang sensitif terhadap kelembapan dan suhu lingkungan, salah satunya adalah sepatu. Tingginya intensitas penggunaan sepatu oleh pelajar, pekerja, maupun masyarakat umum menyebabkan kebutuhan terhadap proses perawatan dan pengeringan sepatu menjadi semakin penting. Pada musim hujan, proses pengeringan sepatu secara konvensional (dijemur di bawah sinar matahari) menjadi tidak dapat diandalkan karena intensitas cahaya matahari yang rendah dan kelembapan udara yang tinggi. Akibatnya, pelajar dan pekerja yang hanya memiliki satu pasang sepatu seringkali terpaksa menggunakan sepatu dalam kondisi masih lembap, atau bahkan beralih menggunakan alas kaki lain seperti sandal ke sekolah maupun tempat kerja. Kondisi ini tidak hanya menurunkan kenyamanan dan menyebabkan bau tidak sedap akibat pertumbuhan bakteri dan jamur pada material sepatu yang lembap, tetapi juga berpotensi melanggar aturan berpakaian (*dress code*) di lingkungan sekolah maupun kantor yang mewajibkan penggunaan sepatu. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa metode pengeringan konvensional masih memiliki keterbatasan dalam menjaga efektivitas dan kualitas pengeringan sepatu.

Permasalahan pengeringan sepatu menjadi lebih kompleks karena setiap material sepatu memiliki karakteristik termal yang berbeda. Penelitian Kopitar Dragana et al. (2022) menunjukkan bahwa material kulit memiliki nilai

konduktivitas termal dan resistansi uap air yang dipengaruhi oleh struktur pori, ketebalan material, serta proses finishing yang digunakan. Selain itu, penelitian Kalaoglu-Altan Ozlem Ipek et al. (2022) menjelaskan bahwa material tekstil seperti katun, wol, dan material polimer memiliki kemampuan perpindahan panas yang berbeda-beda bergantung pada struktur serat, porositas, dan kandungan kelembapannya. Perbedaan karakteristik termal tersebut menyebabkan setiap jenis sepatu membutuhkan suhu dan durasi pengeringan yang berbeda. Paparan suhu yang terlalu tinggi pada sepatu berbahan kulit dapat menyebabkan permukaan mengeras dan mengelupas, sedangkan pada sepatu berbahan kanvas dan mesh dapat menyebabkan deformasi bentuk, perubahan warna, serta penurunan kekuatan serat dan perekat pada bagian sol sepatu. Oleh karena itu, proses pengeringan sepatu tidak dapat dilakukan menggunakan satu parameter suhu tetap, melainkan memerlukan sistem pengendalian yang mampu menyesuaikan kondisi pengeringan secara dinamis berdasarkan karakteristik material sepatu.

Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan suatu sistem pengering sepatu pintar yang mampu mengendalikan sirkulasi udara panas untuk mempercepat penurunan kelembaban pada sepatu.. Sistem adaptif diperlukan karena perbedaan karakteristik termal material menyebabkan respons suhu dan kelembapan selama proses pengeringan menjadi berubah-ubah. Dalam sistem termal, perubahan respons tersebut dapat dimodelkan menggunakan analogi thermal resistance-capacitance (RC) yang merepresentasikan hubungan antara perpindahan panas dan penyimpanan energi termal pada material. Silva Daniel (2022) menjelaskan bahwa sistem termal dapat dianalogikan sebagai rangkaian *thermal resistance* dan *heat capacitance* untuk memodelkan respons transien temperatur pada suatu sistem termal.

Oleh karena itu, penggunaan metode kontrol dengan parameter tetap menjadi kurang optimal untuk menangani perubahan karakteristik sistem secara dinamis. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah Model Reference Adaptive Control (MRAC), yaitu metode kontrol adaptif yang mampu menyesuaikan parameter kontrol secara otomatis berdasarkan respons sistem aktual terhadap model referensi. Penelitian Sánchez-Sánchez et al. (2025) menunjukkan bahwa metode MRAC mampu meningkatkan stabilitas dan efisiensi sistem termal melalui

penyesuaian parameter kontrol secara real-time. Selain itu, penerapan Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 memungkinkan proses monitoring suhu, kelembapan, dan tingkat pengeringan dilakukan secara real-time melalui perangkat mobile.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pengering sepatu berbasis otomatisasi. Ciksadan, Damayanti, et al. (2025) merancang alat pencuci dan pengering sepatu otomatis menggunakan metode Fuzzy Sugeno dengan sensor DS18B20 untuk menentukan tingkat kekeringan sepatu. Renaldi et al. (2024) mengembangkan pengering sepatu berbasis IoT menggunakan ESP32 dan *Fuzzy Logic Controller* untuk menjaga kestabilan suhu pengeringan. Sementara itu, Yunus et al. (2023) mengembangkan oven pengering sepatu berbasis Raspberry Pi *Cloud* untuk kebutuhan industri alas kaki. Penelitian Iskandar et al. (2023) juga menunjukkan bahwa integrasi *cloud system* dan IoT pada industri alas kaki mampu meningkatkan efektivitas *monitoring* proses secara *real-time*. Namun demikian, penelitian-penelitian tersebut umumnya menerapkan sistem kontrol dengan parameter tetap (*fixed-parameter*) atau berbasis logika fuzzy yang bergantung pada aturan (*rule-based*), sehingga responsnya kurang mampu menyesuaikan diri secara otomatis terhadap perbedaan karakteristik termal antar material sepatu (kulit, kanvas, dan mesh). Belum ditemukan penelitian yang menerapkan metode kontrol adaptif berbasis model referensi (*Model Reference Adaptive Control*) pada sistem pengering sepatu, yang parameter kontrolnya dapat menyesuaikan diri secara *real-time* terhadap karakteristik termal material yang berbeda-beda. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar pengembangan sistem pengering sepatu pintar berbasis ESP32 dengan kendali adaptif MRAC pada penelitian ini.

Tanpa adanya sistem pengering yang mampu menyesuaikan parameter secara adaptif, proses pengeringan sepatu konvensional maupun otomatis-non-adaptif berisiko menghasilkan pengeringan yang tidak merata akibat pengeringan yang terlalu lama pada satu material atau berlebihan pada material lain sehingga berpotensi merusak struktur sepatu dan memperpendek usia pakainya, sekaligus tidak menjawab kebutuhan pengeringan cepat bagi pelajar dan pekerja pada musim hujan. Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan pengembangan sistem pengering sepatu pintar yang mampu melakukan pengaturan suhu dan sirkulasi udara secara

adaptif sesuai karakteristik material sepatu serta dapat dipantau secara *real-time* melalui teknologi IoT. Dengan adanya sistem tersebut, proses pengeringan diharapkan dapat berlangsung lebih efektif, efisien, dan aman terhadap berbagai jenis material sepatu. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan judul “Rancang Bangun Pengering Sepatu Pintar dengan Kontrol Adaptif Berbasis ESP32”.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut disusunlah identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Proses pengeringan sepatu masih dilakukan secara manual sehingga membutuhkan waktu lama, terutama pada kondisi musim hujan dimana kelembaban cuaca cukup tinggi dan juga sulit mendapatkan sinar matahari.
2. Belum adanya sistem pengering sepatu yang mampu menyesuaikan parameter pengeringan secara adaptif terhadap perbedaan karakteristik material dan kondisi termal sepatu selama proses pengeringan berlangsung.
3. Minimnya perangkat pengering sepatu yang terintegrasi dengan IoT, sehingga pengguna belum dapat memantau proses pengeringan secara *real-time*.

1.3. Pembatasan Masalah

Agar penelitian terarah dan dapat disesuaikan sesuai ruang lingkup penelitian, maka batasan masalah disusun sebagai berikut:

1. Objek penelitian dibatasi pada sepatu dengan material kanvas, mesh, dan kulit yang memiliki karakteristik termal dan kebutuhan suhu pengeringan yang berbeda-beda.
2. Parameter yang dikendalikan secara adaptif menggunakan algoritma MRAC adalah kipas sebagai penghantar panas di ruang pengering. Adapun durasi pengeringan ditentukan berdasarkan target kelembaban,

dan pemanas menggunakan elemen PTC pada suhu konstan selama proses berlangsung.

3. Fungsi *Internet of Things* (IoT) dalam penelitian ini dibatasi sebagai sistem pemantauan (*monitoring*) data sensor dan pemilihan profil pengeringan secara jarak jauh, serta tidak melibatkan pemrosesan tingkat lanjut seperti *Cloud AI* atau *Image Processing*.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah tersebut, maka rumusan masalah ditulis sebagai berikut:

1. Bagaimana menghasilkan rancangan (desain) sistem pengering sepatu pintar dengan kendali adaptif berbasis ESP32 yang mampu mengakomodasi kebutuhan suhu pengeringan berbeda sesuai karakteristik material sepatu kanvas, mesh, dan kulit sintetis?
2. Bagaimana membangun alat pengering sepatu pintar dengan kendali adaptif berbasis ESP32 sesuai dengan rancangan yang telah dibuat?
3. Bagaimana kinerja sistem kendali adaptif *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) pada alat pengering sepatu pintar berbasis ESP32 dalam menjaga kestabilan suhu pengeringan, serta kinerja sistem pemantauan berbasis IoT dalam memantau parameter suhu, kelembapan, dan status pengeringan secara *real-time*?

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan rancangan (desain) sistem pengering sepatu pintar dengan kendali adaptif berbasis ESP32 yang mampu mengakomodasi kebutuhan suhu pengeringan berbeda sesuai karakteristik material sepatu kanvas, mesh, dan kulit sintetis.
2. Membangun alat pengering sepatu pintar dengan kendali adaptif berbasis ESP32 sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.
3. Mengetahui kinerja sistem kendali adaptif MRAC pada alat pengering sepatu pintar berbasis ESP32 dalam menjaga kestabilan suhu pengeringan

sesuai karakteristik material sepatu, serta kinerja sistem pemantauan berbasis IoT dalam memantau parameter suhu, kelembapan, dan status pengeringan secara *real-time*.

1.6. Manfaat Penelitian

1.6.1. Manfaat Teoritis

1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan penerapan Model Reference Adaptive Control (MRAC) dengan skema Aturan MIT, khususnya dalam menangani sistem termal yang memiliki beban dinamis akibat perbedaan karakteristik material.
2. Memperkaya khazanah keilmuan mengenai integrasi teknologi IoT berbasis ESP32 dengan algoritma kendali tingkat lanjut (advanced control) untuk menciptakan sistem pemantauan yang cerdas dan responsif.
3. Menjadi landasan teori dan referensi bagi peneliti selanjutnya dalam mengembangkan sistem pengeringan otomatis untuk berbagai material sensitif lainnya yang membutuhkan akurasi suhu agar terhindar dari kerusakan fisik.

1.6.2. Manfaat Praktis

1. Memberikan solusi pengeringan sepatu yang lebih efektif dan aman terhadap material sehingga dapat terhindar dari kerusakan material akibat panas berlebih atau kelembapan yang tersisa.
2. Membantu pengguna dalam mengeringkan berbagai jenis sepatu tanpa perlu melakukan pengaturan manual yang rumit, berkat adanya sistem adaptif yang menyesuaikan karakter material secara otomatis.