

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Furnace merupakan alat pemanas yang banyak digunakan dalam berbagai proses industri seperti perlakuan panas logam (*heat treatment*), proses *sintering* material, peleburan logam, serta penelitian material suhu tinggi. Proses pemanasan pada *furnace* memerlukan pengendalian temperatur yang akurat agar kualitas material yang diproses dapat terjaga serta efisiensi energi dapat ditingkatkan. Dalam berbagai aplikasi industri, kestabilan temperatur sangat penting karena perubahan suhu yang tidak terkontrol dapat mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik material yang dihasilkan [1].

Sebagaimana didefinisikan oleh *Industrial and Process Furnaces*, *furnace* merupakan struktur tertutup yang digunakan untuk menghasilkan pemanasan intens menggunakan sumber panas seperti api atau elemen pemanas, terutama untuk pemrosesan logam maupun material lainnya. Dalam buku tersebut dijelaskan bahwa *furnace* dan *kiln* pada dasarnya memiliki fungsi yang hampir sama, yaitu menghasilkan temperatur tinggi untuk berbagai proses pemanasan material. Perbedaan keduanya lebih banyak dipengaruhi oleh tradisi penggunaan istilah dibandingkan fungsi teknisnya. [2].

Seiring dengan berkembangnya industri manufaktur dan pengolahan material, kebutuhan terhadap teknologi pemanasan temperatur tinggi semakin meningkat. *Furnace* digunakan secara luas pada industri metalurgi, manufaktur, serta penelitian material untuk berbagai proses seperti perlakuan panas logam, peleburan material, hingga sintesis material baru. Proses tersebut membutuhkan sistem pengendalian temperatur yang stabil serta optimal agar menghasilkan produk dengan kualitas yang baik[3]. Di Indonesia, sektor industri logam dan manufaktur juga menunjukkan perkembangan yang signifikan. Berdasarkan laporan dari Badan Pusat Statistik(BPS), sektor industri pengolahan masih menjadi salah satu penyumbang terbesar terhadap perekonomian nasional serta menjadi penopang utama ekspor nonmigas. Selain itu, sektor industri logam dasar mengalami pertumbuhan sekitar 10,86% pada kuartal III

tahun 2023, yang menunjukkan meningkatnya aktivitas produksi berbasis logam di Indonesia [4]. *Furnace* temperatur tinggi memegang peranan yang sangat krusial dalam dunia industri modern maupun penelitian laboratorium, khususnya untuk proses manufaktur tingkat lanjut seperti penyinteran (*sintering*) keramik, perlakuan panas (*heat treatment*) logam, dan kalsinasi material cangguh yang membutuhkan suhu hingga 1000°C. Keberhasilan proses termal pada temperatur ekstrem ini sangat bergantung pada kestabilan dan homogenitas distribusi panas di dalam ruang bakar, karena fluktuasi suhu yang tidak stabil sekalipun dapat mengganggu hingga merusak struktur mikro material dan memicu kegagalan produk. Oleh karena itu, *furnace* temperatur tinggi tidak hanya dituntut untuk mampu mencapai suhu ekstrem, tetapi juga perlu berintegrasi dengan sistem kendali elektronik yang presisi, stabil, dan efisien untuk meminimalkan *overshoot* serta konsumsi daya.

Penelitian mengenai *furnace* temperatur tinggi telah dilakukan oleh Sulistyawan dkk. (2017) dengan merancang *furnace* menggunakan empat elemen pemanas *Silicon Carbide* (SiC), sensor termokopel tipe K, dan mikrokontroler ATmega8535. *Furnace* yang dikembangkan mampu menghasilkan pemanasan yang merata pada rentang 50°C–500°C serta menunjukkan hubungan linier antara temperatur dan nilai ADC. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada perancangan perangkat keras, sementara metode pengendalian suhu yang digunakan belum mampu menganalisis kestabilan temperatur secara mendalam [5].

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya dapat diketahui bahwa *furnace* berbasis *Silicon Carbide* (SiC) memiliki kemampuan menghasilkan temperatur tinggi dengan distribusi panas yang baik. *Furnace* konvensional masih memiliki berbagai kelemahan, seperti temperatur yang sulit dipertahankan tetap stabil, *overshoot* yang tinggi, waktu mencapai *setpoint* yang lama, konsumsi daya yang besar, sistem kontrol yang masih menggunakan metode *ON-OFF*, serta distribusi panas yang kurang merata sehingga dapat menurunkan kualitas hasil pemanasan. Selain itu, *furnace* memiliki karakteristik nonlinier, waktu tunda (*time delay*), dan perubahan parameter selama

proses pemanasan, sehingga pengendalian temperatur menjadi lebih kompleks. Oleh karena itu, diperlukan metode kontrol yang mampu meningkatkan respons sistem, mengurangi *overshoot*, dan menjaga temperatur tetap stabil pada nilai *setpoint* [7]. Perkembangan teknologi mikrokontroler, khususnya ESP32, memberikan peluang untuk mewujudkan sistem tersebut karena memiliki kecepatan pemrosesan yang tinggi, kemampuan konektivitas, serta fleksibilitas yang lebih baik dalam pengembangan sistem kontrol dibandingkan mikrokontroler generasi sebelumnya [8].

Oleh karena itu, pada tugas akhir bertujuan merancang dan menerapkan kontrol PID pada *furnace* temperatur tinggi serta menganalisis metode kontrol PID terhadap parameter respon sistem seperti *rise time*, *overshoot*, *settling time*, dan *steady state error*. Dan juga diharapkan penelitian ini menghasilkan sistem pengendalian temperatur yang lebih optimal dibandingkan metode kontrol sederhana yang digunakan pada penelitian sebelumnya (kontrol on-off). Selain itu, penelitian mengenai tugas akhir ini juga dilakukan secara kolaboratif dengan dua penelitian teman saya yang saling mendukung dalam pengembangan sistem *furnace* berbasis ESP32. Penelitian oleh teman saya, saudara Mohammad Farid Mahfudz berfokus pada perancangan *Human Machine Interface (HMI)* menggunakan Nextion serta implementasi sistem SCADA berbasis IoT menggunakan *Node-RED* untuk monitoring dan pengendalian *furnace* secara *real-time*. Sementara itu, oleh saudara Akhdan Hylmi Prasasti berfokus pada perancangan sistem alarm serta analisis efisiensi daya secara *real-time* menggunakan klasifikasi *fuzzy*. Adapun penelitian ini berfokus pada penerapan metode kontrol PID untuk pengendalian temperatur *furnace* dengan metode *Time Proportional Control (TPC)*. Kolaborasi ketiga penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem *furnace* yang lebih lengkap, meliputi aspek pengendalian temperatur, monitoring sistem, serta keamanan dan efisiensi penggunaan energi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem *furnace* temperatur tinggi berbasis elemen pemanas *Silicon Carbide (SiC)* dengan menggunakan mikrokontroler ESP32?

2. Bagaimana mengimplementasikan kontrol PID dengan metode *Time Proportional Control* untuk mengatur temperatur *furnace* agar mencapai nilai *setpoint*?
3. Bagaimana kinerja sistem kontrol PID dalam menjaga kestabilan temperatur *furnace* yang ditunjukkan melalui parameter respon sistem seperti *delay time*, *rise time*, *peak time*, *maximum overshoot*, *settling time*, dan *steady-state error*?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

1. Merancang dan membangun sistem *furnace* temperatur tinggi berbasis *Silicon Carbide* (SiC) menggunakan mikrokontroler ESP32.
2. Merancang dan mengimplementasikan metode kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) pada sistem pengendalian temperatur *furnace*.
3. Mengetahui dan menganalisis kinerja sistem kontrol PID seperti *delay time*, *rise time*, *peak time*, *maximum overshoot*, *settling time*, dan *steady-state error*?

1.4 Manfaat Tugas Akhir

1. Sebagai sarana dalam pengaplikasian ilmu yang diterima selama menempuh pembelajaran di perkuliahan.
2. Dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem pengendalian temperatur *furnace* berbasis mikrokontroler dengan menggunakan metode kontrol PID dan *Silicon Carbide*.

1.5 Batasan Masalah

1. *Furnace* yang digunakan menggunakan 4 elemen pemanas *Silicon Carbide* (SiC) dan volume ruang bakar sebesar 3,6 liter
2. Sistem pengendalian temperatur menggunakan kontrol PID dengan metode *Time Proportional Control*.
3. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32 sebagai pengendali utama sistem.
4. Sensor temperatur yang digunakan adalah termokopel tipe K dan rentang pengujian temperatur *furnace* dibatasi pada rentang maksimal 800°C
5. Pengujian *furnace* dilakukan tanpa ada objek yang dipanaskan

6. Analisis kinerja sistem kontrol difokuskan pada parameter respon sistem seperti *delay time*, *rise time*, *peak time*, *maximum overshoot*, *settling time*, dan *steady-state*.

1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Pada penulisan laporan tugas akhir ini dibagi menjadi dalam beberapa bab yang tersusun secara sistematis, yaitu :

- Bab I berisi pembahasan mengenai latar belakang perancangan alat, rumusan masalah, tujuan dari tugas akhir, manfaat tugas akhir, batasan ruang lingkup permasalahan, serta sistematika penulisan laporan ini.
- Bab II membahas mengenai teori-teori dasar yang mendukung proses perancangan, spesifikasi komponen yang digunakan, serta persamaan-persamaan yang relevan sebagai dasar perhitungan teknis dalam perancangan sistem.
- Bab III, membahas mengenai proses perancangan alat yang mencakup diagram blok sistem, visualisasi desain dalam bentuk gambar 3D, spesifikasi alat dan fitur, prinsip kerja alat, dan teknik fabrikasi. Pada bagian teknik fabrikasi dijelaskan lebih lanjut mengenai tahapan pembuatan alat yang meliputi diagram alir proses, perancangan dan pemasangan rangkaian kelistrikan, mekanik, proses pemasangan komponen dan kalibrasi sensor.
- Bab IV membahas tentang proses pengujian alat berdasarkan spesifikasi yang ditetapkan. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja komponen secara keseluruhan dalam satu sistem terintegrasi,. Pengujian terdiri dari dua bagian, yaitu pengujian tiap komponen dan pengujian sistem yang kemudian hasil dari pengujian tersebut dianalisis untuk mencari nilai efektivitas.
- Bab V menyajikan kesimpulan dari hasil pengujian serta saran yang dapat menjadi pertimbangan untuk perbaikan atau pengembangan lebih lanjut di masa mendatang. Di bagian akhir laporan ini disertakan daftar pustaka sebagai referensi, serta lampiran-lampiran yang mendukung keseluruhan isi laporan.