

INTISARI

Proses pembuatan keramik meliputi tiga tahap termal utama: *heating*, *soaking*, dan *cooling*. Tahap *heating* membutuhkan kenaikan suhu bertahap untuk mencegah *thermal shock* akibat kandungan air dalam keramik mentah. Pada *soaking*, suhu harus dipertahankan stabil untuk memungkinkan proses sinterisasi berjalan optimal sehingga keramik mencapai kepadatan dan kekuatan yang diinginkan. Tahap *cooling* menurunkan suhu secara perlahan guna mencegah tegangan termal yang dapat menyebabkan retakan. Ketiga tahap ini menuntut sistem kontrol suhu yang presisi dan stabil.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, penelitian ini merancang prototipe tungku pemanas keramik menggunakan sensor *Thermocouple* tipe-K dengan MAX6675, *heater* tubular 500W, dan kipas pendingin DC. Pengendalian suhu dilakukan dengan algoritma PID pada *heating* dan *soaking*, sedangkan kontrol histeresis digunakan pada *cooling*. ESP32 dipilih sebagai pengendali utama karena mendukung komunikasi *Bluetooth* untuk input parameter. Pengaturan daya *heater* dilakukan melalui SSR dengan metode PWM yang dikonversi menjadi *Time Proportional Control* TPC, sementara kipas dikendalikan oleh transistor TIP41.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat menjalankan ketiga tahap pemanasan sesuai parameter yang ditetapkan. Pembacaan sensor yang terkalibrasi memberikan nilai yang sesuai dengan suhu aktual. Kontrol PID dengan parameter $K_P = 50$; $K_I = 1,2$; dan $K_D = 40$ mampu menjaga *ramping rate* dan kestabilan suhu dengan tingkat akurasi total sebesar 94,29% dan mencapai tingkat akurasi 98,91% pada fase *soaking*, sedangkan TPC pada SSR menghasilkan respons panas yang proporsional terhadap *duty cycle*. Sistem pendinginan juga bekerja efektif menurunkan suhu secara bertahap. Secara keseluruhan, prototipe ini berhasil mencapai fungsionalitas yang dibutuhkan sebagai model tungku pemanas keramik berskala prototipe.

Kata Kunci: Tungku Pemanas, ESP32, Kontrol PID

ABSTRACT

The ceramic manufacturing process consists of three main thermal stages: heating, soaking, and cooling. The heating stage requires a gradual temperature increase to prevent thermal shock caused by residual moisture in the raw ceramic material. During the soaking stage, the temperature must be maintained steadily to allow the sintering process to occur optimally, enabling the ceramic to achieve the desired density and mechanical strength. The cooling stage lowers the temperature gradually to prevent thermal stress that may lead to cracking. These three stages demand a precise and stable temperature control system.

To meet these requirements, this study developed a prototype ceramic heating furnace using a K-type thermocouple with the MAX6675 module, a 500W tubular heater, and DC cooling fans. Temperature control is performed using a PID algorithm during the heating and soaking stages, while a hysteresis control method is applied during cooling. An ESP32 microcontroller was selected as the main controller due to its integrated Bluetooth communication for parameter input. Heater power regulation is achieved through an SSR driven by PWM signals converted into Time Proportional Control (TPC), while the cooling fans are controlled using a TIP41 transistor.

Test results show that the system successfully executes all three thermal stages according to the defined parameters. The calibrated temperature sensor provides readings that closely match the actual temperature. The PID controller with parameters $K_P = 50$, $K_I = 1.2$, and $K_D = 40$ is able to maintain the desired ramping rate and temperature with accuracy level around 94,29% and can rise up to 98,91% stability during soaking, while the SSR with TPC produces a heat response *proportional* to the applied *duty cycle*. The cooling system also operates effectively, reducing the temperature gradually as required. Overall, the prototype meets the expected functionality as a working model for a small-scale ceramic heating furnace.

Keywords: Heating Furnace, ESP32, PID Control