

Efektivitas Kendali PID Suhu *Furnace* Menggunakan Sensor Termokopel Tipe-S untuk Pemanasan Baja

Kevin Ronald Sragarta^{1*}

¹Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, FKIP, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Ciwaru Raya, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten 42117

E-mail: 2283210023@untirta.ac.id

Naskah Masuk: 23 Juni 2024; Diterima: 09 Agustus 2024; Terbit: 31 Agustus 2024

ABSTRAK

Abstrak - Dalam industri pencetakan baja, suhu adalah variabel utama guna mencapai titik lunak dari suatu baja mentah untuk dilakukan pencetakan. Dalam memudahkan pengukuran suhu yang tinggi dibutuhkan suatu komponen elektronika yaitu berupa sensor suhu yang andal. Sensor termokopel tipe-S adalah sensor suhu yang mengubah perbedaan suhu menjadi perubahan tegangan dengan kesalahan pengukuran suhu kurang dari 1°C. Termokopel terdiri dari dua konduktor logam yang dihubungkan pada kedua ujungnya. Ketika salah satu ujung batang logam dipanaskan, elektron pada ujung logam bergerak lebih aktif dan menempati lebih banyak ruang. Elektron yang saling tolak menolak dan bergerak menuju ujung batang yang tidak dipanaskan, disebut efek termoelektrik. Perlunya penanganan suhu yang baik mempengaruhi hasil target produksi sehingga efektivitas sistem kerja sensor termokopel sebagai pengukur suhu dalam proses pemanasan baja sangat dibutuhkan. Metode pengumpulan data yang dilakukan meliputi primer dan sekunder, data primer berupa hasil dari observasi dan wawancara yang dilakukan di PT. Krakatau Baja Konstruksi dan data sekunder berupa referensi bersumber dari jurnal, buku maupun internet yang berkaitan dengan karakter sensor termokopel. Efektivitas hasil didapatkan pada pengukuran suhu menggunakan sensor termokopel pada *zone 1* suhu yang terukur oleh sensor yaitu 746,7°C. Pada *zone 2A* suhu yang terukur oleh sensor yaitu 937,0°C. Pada *zone 2B* suhu yang terukur oleh sensor yaitu 877,4°C. Setelah dilakukannya pengukuran menggunakan sensor termokopel, pengendalian PID suhu dapat beroperasi untuk menyesuaikan dengan suhu yang dibutuhkan dalam proses pemanasan baja. Dengan penggunaan sensor termokopel tipe-S, suhu pada *furnace* mampu terukur dengan akurat dan pengendalian suhu oleh PID dapat berjalan dengan baik dalam upaya mengatur buka-tutup *valve main burner* sehingga pembakaran pada *furnace* dapat dilakukan secara optimal yang mana berdampak pada kinerja alat dan kualitas produk.

Kata kunci: *Furnace*, Industri Baja, PID, Sensor Termokopel, Suhu

ABSTRACT

Abstract - In the steel molding industry, temperature is the main variable to reach the softening point of raw steel for molding. To facilitate the measurement of high temperatures, an electronic component is needed, namely a reliable temperature sensor. S-type thermocouple sensors are temperature sensors that convert temperature differences into voltage changes with a temperature measurement error of less than 1°C. Thermocouples consist of two metal conductors connected at both ends. When one end of the metal rod is heated, the electrons at the metal end move more actively and occupy more space. The electrons repel each other and move towards the unheated end of the rod, called the thermoelectric effect. The need for good temperature handling affects the results of production targets so that the effectiveness of the thermocouple sensor work system as a temperature gauge in the steel heating process is needed. Data collection methods include primary and secondary, primary data in the form of results from observations and interviews conducted at PT Krakatau Baja Konstruksi and secondary data in the form of references sourced from journals, books and the internet related to the character of thermocouple sensors. The effectiveness of the results obtained in temperature measurements using thermocouple sensors in *zone 1* the temperature measured by the sensor is 746.7°C. In *zone 2A* the temperature measured by the sensor is 937.0°C. In *zone 2B* the temperature measured by the sensor is 877.4°C. After taking measurements using thermocouple sensors, PID temperature control can operate to adjust to the temperature needed in the steel heating process. With the use of S-type thermocouple sensors, the temperature in the furnace can be measured accurately and temperature control by PID can run well in an effort to regulate the opening and closing of the main burner valve so that combustion in the furnace can be carried out optimally which has an impact on tool performance and product quality.

Keywords: *Furnace*, Steel Industry, PID, Thermocouple Sensor, Temperature

Copyright © 2024 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Saat ini konsep ilmu pengetahuan dan teknologi berkembang pesat, dan inovasi terjadi di berbagai bidang seperti pengukuran. Pengukuran suhu merupakan salah satu bidang pengukuran yang terus berkembang karena dapat mewakili keadaan pengoperasian suatu sistem. Aplikasinya mencakup pengukuran suhu menggunakan berbagai jenis sensor dan sistem pengukuran, dari yang paling tradisional seperti termometer cair dalam kaca, hingga penggunaan akuisisi data, hingga penggunaan termokopel dan aplikasi IoT dapat digunakan untuk pengukuran dan pemantauan suhu jarak jauh.

Banyaknya jenis dan metode pengukuran suhu, maka diperlukan pengetahuan tentang jenis pengukuran suhu serta pemilihan metode dan analisisnya untuk mendapatkan pengukuran suhu yang dapat diterima secara ilmiah dan valid. Hasil pengukuran juga sangat dipengaruhi oleh eratnya hubungan antara keakuratan meteran dan kalibrasi. Keakuratan pembacaan meter merupakan hal yang sangat penting dalam dunia teknologi, karena akibat dari kesalahan pembacaan meter yang tidak akurat dapat berakibat fatal. Misalnya kesalahan pengukuran suhu pada sistem furnace dapat menyebabkan kegagalan produksi [1].

Kemajuan di era saat ini telah mendorong banyak kebutuhan produksi sehingga mendorong pengusaha di industri untuk mengembangkan alat yang efisien untuk mendorong kinerja operasional. *Oven* merupakan alat perpaduan berbahan logam dan keramik sehingga diperoleh sifat mekanik menahan panas yang baik dan menentukan mutu tungku dalam proses peleburan. Pada perpindahan panas ini, mekanisme konveksi pada proses *heat treatment* bekerja dengan sangat baik untuk mencapai sifat mekanik memanaskan logam yang baik dan efisien tanpa mengakibatkan kerusakan alat berlebih.

Teknologi perlakuan panas dapat meningkatkan keuletan logam dengan memanaskan baja hingga suhu atau zat yang diinginkan dan kemudian melakukan pendinginan untuk melakukan perlakuan martensit. Perlakuan panas (*thermal treatment*) merupakan salah satu proses perubahan struktur mikro logam dengan cara memanaskan sampel dalam *oven* (tungku) hingga suhu rekristalisasi selama jangka waktu tertentu kemudian mendinginkannya dalam media pendinginan udara dan air dalam menentukan kepadatan pendinginan yang berbeda [2].

Material yang paling umum digunakan sebagai bahan pemanas di tungku suhu tinggi terdiri dari beberapa jenis logam termasuk paduan Ni-Cr dan Fe-Cr-Ni, dan biasanya elemen pemanas Khantal. Bahan yang digunakan untuk suhu tinggi terutama ditentukan oleh suhu maksimum yang diinginkan. Misalnya, paduan tungku yang disebutkan beberapa hanya dapat digunakan hingga suhu 1000°C hingga 1250°C. Bahan lain yang biasa digunakan pada suhu sangat tinggi termasuk molibdenum karbida (MoC) dan silikon karbida (SiC). Kedua jenis bahan ini tergolong sumber panas karbida, yang jika dipanaskan akan berubah menjadi unsur oksida. Molibdenum karbida memiliki suhu pengoperasian yang sangat tinggi hingga 1800°C, sedangkan silikon karbida beroperasi pada suhu sedang hingga 1300°C ke atas [3].

Salah satu parameter penting dalam peleburan baja adalah stabilitas suhu struktur baja yang diinginkan. Pemantauan stabilitas suhu dalam bisnis secara tradisional masih dilakukan melalui observasi operator melalui monitor daripada menggunakan data *logger* suhu. Di sisi lain, bagi pengguna dengan data *logger* suhu, harga per unitnya sangat tinggi, bahkan jika digunakan sebagai dasar analisis, meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pemantauan proses untuk melacak hasil produksi. Setiap tungku dipantau dengan termometer yang terhubung ke ruang kendali melalui kabel panjang. Semakin banyak titik pemantauan yang diperlukan, semakin panjang termokopel dan panjang kabel yang digunakan [4].

Selain tungku peleburan, tungku perlakuan panas juga dibutuhkan pada industri logam. Dengan tungku perlakuan panas, produk logam dapat dipanaskan kembali untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Pemanas tungku banyak diterapkan di dalam proses produksi sebagai salah satu mesin yang cukup efektif, tetapi dalam kegunaan skala laboratorium yang terintegrasi oleh sistem otomatisasi belum banyak dijumpai [5].

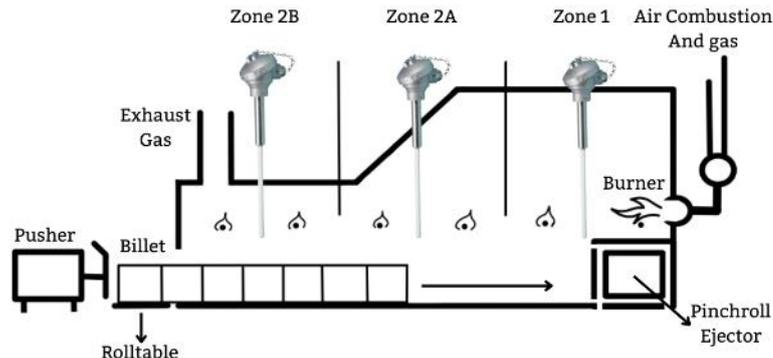
Sistem kendali suhu menggunakan pengontrol elektronik dengan sistem kendali loop tertutup. Sistem kendali ini tidak hanya memberikan titik setel saja, tetapi juga menggunakan umpan balik dari sensor suhu termokopel tipe K untuk mengatur sistem dengan benar menggunakan kendali PID. Dibandingkan dengan jenis pengontrol lainnya, jenis merupakan pilihan terbaik karena pengontrol PID mempunyai waktu respons yang lebih cepat, jalur maksimal yang lebih rendah, dan amplitudo osilasi yang lebih rendah [6].

Dalam upaya menghindari kegagalan produksi dalam proses pemanasan baja diperlukan suhu tinggi yang sesuai serta terkendali, maka dari itu diperlukannya sistem kontrol PID dalam melakukan *temperature control* dengan *trial-error* hasilnya akan kurang maksimal jika tidak disandingkan dengan sensor atau alat yang memadai. Penyesuaian tipe dan jenis sensor termokopel yang digunakan sesuai spesifikasi akan berdampak pada efektivitas penggunaan dalam ketahanan jangka panjang alur produksi. Data hasil pengukuran sensor yang baik akan mempengaruhi pengendalian suhu dalam proses selanjutnya. Idealnya suhu yang dibutuhkan setiap *zone* pada *furnace* dapat berbeda-beda sehingga data nilai sensor yang dibutuhkan berbeda, peran PID dalam pengintegrasian sensor termokopel dapat membantu otomatisasi yang lebih optimal. Hal ini memungkinkan supaya operator alat lebih sedikit melakukan monitor dan pengendalian.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Furnace

Furnace adalah alat yang menggunakan panas dari pembakaran bahan bakar guna meningkatkan suhu suatu benda. *Furnace* menggunakan suplai bahan bakar cair dan gas yang dicampur dan dibakar dengan alat pembakar. Pemanasan terjadi dengan melewati bahan bakar melalui tabung-tabung yang disusun sedemikian rupa sehingga perpindahan panas terjadi melalui tiga cara di dalam tungku: konveksi, konduksi, dan radiasi. Alat ini beroperasi dengan penggabungan gas dan udara yang seimbang di area *burner*. Secara umum, *burner* terbagi menjadi dua jenis yaitu *pilot burner* dan *main burner*. Setelah penyalaan, *pilot burner* bertindak sebagai titik awal proses penyalaan, yang berlanjut hingga *burner* mencapai keadaan dimana ia mengkonsumsi lebih banyak gas dan udara setelah penyalaan oleh *main burner* [7]. Pada Gambar 1 merupakan skema desain pembakaran *furnace*.



Gambar 1. Design furnace pusher

2.2. Sensor Termokopel

Termokopel adalah alat pengindra suhu yang mampu mengubah variabel besaran suhu menjadi besaran tegangan yang disebabkan oleh perbedaan variabel dua ujung lidah sensor. Seperti umumnya sensor ini dapat digunakan sebagai masukan ke sistem kontrol. Selain membaca perubahan suhu, sensor termokopel juga berfungsi sebagai input analog ke sistem kendali [8]. Termokopel merupakan jenis transduser suhu aktif yang terbuat dari dua logam berbeda, dengan titik pengukuran di persimpangan titik keluaran di titik lainnya. Ini adalah jenis sensor yang banyak digunakan untuk pengukuran suhu karena relatif murah, akurat, dan dapat beroperasi pada suhu tinggi atau rendah [9]. Prinsip kerja sensor termokopel adalah mengubah perbedaan suhu akibat perbedaan massa jenis setiap logam menjadi perubahan tegangan. Perubahan tegangan tergantung pada kepadatan logam [10]. Saat salah satu ujung batang logam dipanaskan, elektron di ujung logam bergerak lebih aktif dan menempati lebih banyak ruang [11]. Ketika dua kabel yang terhubung menjalani perlakuan panas, perbedaan tegangan terjadi pada kabel lainnya. Besarnya perbedaan tegangan tergantung pada bahan atau jenis termokopel. Perubahan variabel tegangan yang diinput termokopel akan diproses untuk mendapatkan variabel suhu saat ini [12]. Sensor termokopel merupakan sensor yang sering digunakan untuk mengubah perbedaan suhu antar benda menjadi perubahan tegangan dengan tipe konektor standar yang sama, dan dapat dipasang dan suhu dapat diukur pada rentang suhu yang cukup luas dari -200°C hingga 1800°C dengan margin kesalahan pengukuran kurang dari 1°C [13].



Gambar 2. Termokopel tipe-s

2.3. Suhu

Suhu adalah ukuran energi panas suatu benda. Ini adalah panas atau dingin relatif suatu medium. Biasanya diukur dalam derajat menggunakan Fahrenheit (F) atau Celsius (C), Rankine (R) atau Kelvin (K). Suhu merupakan besaran fisis yang perlu diketahui secara tepat untuk aplikasi tertentu guna mengetahui suatu ukuran derajat panas atau dinginnya suatu benda atau kondisi. Derajat panas dan dingin dipengaruhi oleh entalpi (energi) yang dimiliki suatu zat [14].

2.4. PID (*Proportional Integral Derivative*)

Pengendali proporsional-integral-turunan merupakan pengendali sistem instrumentasi yang mempunyai karakteristik yang memberikan umpan balik pada sistem. Komponen PID terdiri dari tiga jenis konstanta: proporsional, integral, dan turunan. Pengguna dapat menggunakan ketiga konstanta tersebut secara bersamaan atau sendiri-sendiri, bergantung pada respons yang diinginkan dari pabrik. Dalam metode ini, penyesuaian dilakukan dalam loop tertutup menggunakan fungsi langkah sebagai input referensi. Dalam metode ini, satu-satunya pengontrol adalah pengontrol proporsional. Nilai kritis K_p inilah yang disebut dengan ultimate gain. Nilai periode akhir T_u diperoleh setelah keluaran sistem mencapai osilasi kontinu [15].

2.5. HMI (*Human Machine Interface*)

HMI merupakan antarmuka yang menghubungkan manusia dan mesin, serta memungkinkan manusia (pengguna) menggunakan tombol-tombol di layar monitor PC atau layar Android, dibandingkan menggunakan tombol-tombol di mesin secara langsung. Dapat dihubungkan dengan kabel atau nirkabel, dan HMI dapat menggunakan perangkat lunak berupa antarmuka pengguna grafis (GUI). HMI memungkinkan pengguna untuk menampilkan secara visual informasi tentang proses di area input atau output, status proses atau mesin, dan memperbaiki setiap penyimpangan yang terjadi. HMI dapat dihubungkan ke berbagai alat, termasuk penggunaan pengontrol logika terprogram (PLC) [16].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan meliputi pengambilan data primer dengan cara observasi dan wawancara pada PT. Krakatau Baja Konstruksi dengan pengamatan pada komponen terkait dan ikut menganalisis dalam setiap kegiatan pendataan sensor termokopel di *furnace*. Selain itu sebagai data penguatan pada artikel ini diperoleh data sekunder dengan metode berupa studi pustaka terhadap jurnal penelitian, buku maupun artikel berupa teori dan hasil penelitian yang relevan sebagai referensi data pelengkap dari penelitian yang akan dibahas.

3.1 Observasi

Observasi merupakan proses pengumpulan data atau informasi melalui kegiatan berupa pengamatan dan dokumentasi terhadap suatu fenomena atau kejadian yang diinginkan secara nyata. Tujuan dilakukannya observasi adalah untuk mengetahui perilaku atau suatu proses dari objek yang ingin diteliti untuk memperoleh informasi yang bersifat objektif dan dibuktikan secara langsung. Pengamatan dilakukan secara langsung pada proses pengambilan data berupa suhu yang terbaca oleh sensor termokopel pada *furnace* (tungku pembakaran) di PT. Krakatau Baja Konstruksi yang terintegrasi langsung pada HMI.

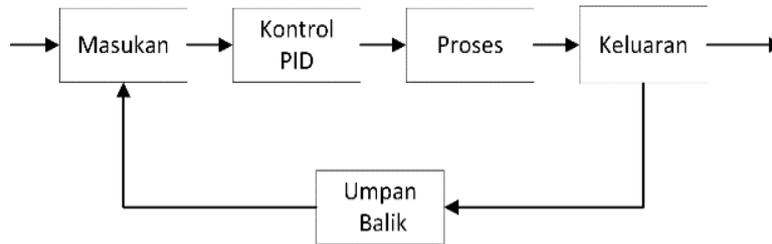


Gambar 3. *Furnace pusher*

3.2 Wawancara

Wawancara adalah proses yang dilakukan dua arah antara penannya yang memberikan pertanyaan dan narasumber yang memberikan jawaban. Untuk memperoleh data valid wawancara dilakukan pada bagian operator, mekanik, dan teknisi di PT. Krakatau Baja Konstruksi guna menunjang informasi inti

selama pemakaian sensor sehingga informasi dan data yang diperlukan terpenuhi. Dari hasil observasi dan wawancara yang telah dilakukan, dapat dijelaskan bahwa sistem kendali PID untuk efektivitas pembakaran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 4. Alur sistem kendali *open loop*

Pada Gambar 4 dapat diketahui bahwa alur sistem PID terdiri dari langkah awal berupa masukan yang mana *stage* inputan ini akan diberi nilai berupa aktivasi *pilot burner* untuk menghidupkan *main burner* sehingga proses pemanasan tungku mulai berjalan. Pada *stage* selanjutnya nilai masukan dikirim menuju kontrol PID sehingga sensor mulai bekerja berupa suhu yang terukur oleh sensor termokopel akan dikirim menuju kontrol PID. Pada kontrol PID dilakukan pengendalian terhadap gas dan oksigen yang akan dikirim menuju *main burner* untuk menaikkan atau menurunkan suhu. Selanjutnya adalah proses pemanasan *furnace*, proses ini akan menghasilkan output yang akan otomatis dikendalikan sampai suhu yang terbaca oleh sensor termokopel telah sesuai dengan standar, apabila suhu pada *furnace* belum sesuai dengan yang diinginkan maka diberikan umpan balik yaitu pengendalian gas dan oksigen untuk mengatur pembakaran di dalam *furnace*. Suhu akan terus ditingkatkan ataupun diturunkan oleh PID hingga mencapai standar suhu yang dibutuhkan untuk proses pembakaran pada *furnace* berjalan sempurna.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan sensor termokopel tipe-S untuk sistem yang lebih mendalam dapat dilihat alur prosesnya pada gambar 3. Pengukuran suhu di dalam *furnace* dilakukan dengan cara meletakkan ujung lidah dari sensor termokopel pada tiap *zone* yaitu *zone 1*, *zone 2A* dan *zone 2B*. Peletakkan sensor pada setiap *zone* memungkinkan pengendalian variabel dengan keakuratan yang cukup.



Gambar 5. Alur proses pengambilan data oleh sensor

Proses pengambilan data oleh sensor dimulai dengan pembukaan *valve* pada kedua *burner* yaitu *pilot* dan *main* untuk proses awal. Proses pembakaran akan berjalan hingga suhu terbaca oleh sensor dan terus meningkat. Dengan menggunakan PID pada proses operasi kontrol ini akan memberikan aksi kepada *valve* berdasarkan *error* baik itu membuka atau menutup *valve main burner* sebagai jalur utama suplai bahan bakar untuk memperbesar atau memperkecil gas yang keluar sesuai dengan kebutuhan yang akan mengakibatkan suhu *furnace* pada tiap *zone* tetap stabil setelah mencapai standar. Nantinya suhu tiap *zone* akan dibaca oleh sensor termokopel dan data tersebut akan dikirim menuju ruangan operator yang terdapat kontrol monitoring HMI, suhu akan terus dimonitoring sampai didapat hasil suhu yang diinginkan sesuai sistem.

Sensor termokopel diletakkan pada tempat yang dapat mengukur suhu secara optimal pada setiap *zone*. Pengukuran suhu pada tiap *zone* ini diperlukan untuk menjaga kualitas saat proses produksi berlangsung. Untuk mendapatkan suhu sesuai yang dibutuhkan, maka pada setiap *zone* diletakkan sensor termokopel untuk mengetahui besaran suhu pada *furnace*. Berikut letak sensor termokopel yang terdapat pada *zone 2A* dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Sensor termokopel *zone 2A*

Zone 2A merupakan proses lanjutan dari *zone 1* yang mana terdapat perbedaan suhu yang dibutuhkan antara *zone 2A* dan *zone 1*. Pada *zone 2A* suhu yang dibutuhkan naik 100°C dari *zone* sebelumnya yaitu *zone 1*. Perbedaan suhu ini bertujuan supaya material baja tidak meleleh akibat lonjakan suhu yang tinggi secara mendadak sehingga mengakibatkan bahan baku menjadi cacat. Selanjutnya untuk sensor termokopel yang ketiga diletakkan pada *zone 2B* yang merupakan lanjutan dari *zone* sebelumnya yaitu *zone 2A*. Letak sensor termokopel pada *zone 2B* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Sensor termokopel *zone 2B*

Pengukuran pada *zone 2B* bertujuan untuk mengukur suhu pada proses akhir sebelum baja mentah yang telah melakukan proses *heat treatment* keluar guna dilakukan tahapan *roughing* atau pencetakan material menggunakan mal, sehingga untuk menjaga kestabilan panas pada batang *billet*, suhu di dalam *furnace* harus dalam keadaan optimal. Aksi pencegahan diperlukan dengan penempatan sensor termokopel dalam upaya menurangi kegagalan produksi. Hasil pengukuran sensor termokopel pada setiap *zone* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran sensor

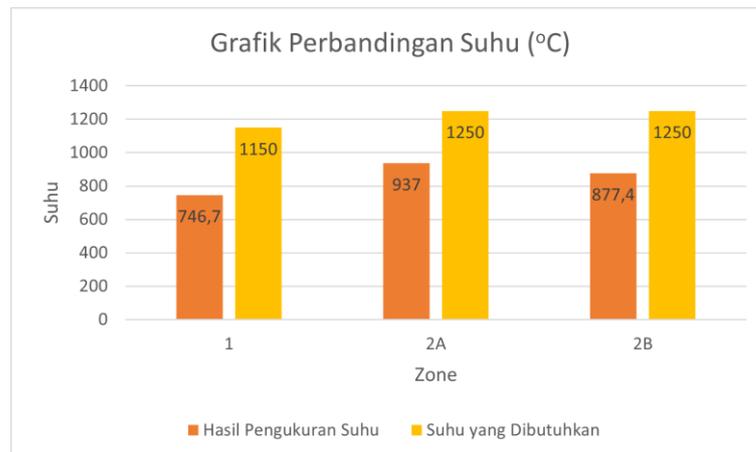
| No | Zone | Suhu |
|----|------|----------|
| 1. | 1 | 746,7 °C |
| 2. | 2A | 937,0 °C |
| 3. | 2B | 877,4 °C |

Pada Tabel 1. merupakan hasil pengukuran suhu oleh sensor termokopel pada *furnace*. Pada *zone 1* suhu yang terukur oleh sensor yaitu 746,7 °C. Pada *zone 2A* suhu yang terukur oleh sensor yaitu 937,0 °C. Pada *zone 2B* suhu yang terukur oleh sensor yaitu 877,4 °C. Setiap *zone* masing-masing memiliki standar suhu yang diperlukan untuk mencapai titik lunak baja mentah. Suhu pada *zone* dapat disesuaikan dengan keinginan tergantung dari bahan material baja mentah yang ingin dilunakkan. Data yang didapat pada tabel 1 merupakan tahap ujicoba kontrol PID terhadap *valve main burner*, sehingga proses peningkatan suhu akan terus berlanjut. Adapun standar suhu yang diperlukan pada *furnace* untuk melakukan pembakaran di setiap *zone* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Batas suhu setiap zone

| No | Zone | Suhu Yang Dibutuhkan |
|----|------|----------------------|
| 1. | 1 | 1150,0 °C |
| 2. | 2A | 1250,0 °C |
| 3. | 2B | 1250,0 °C |

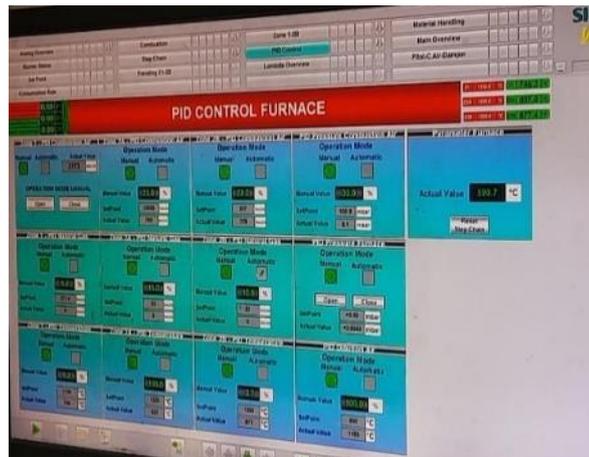
Pada Tabel 2. terdapat perbedaan standar suhu yang dibutuhkan setiap *zone* karena pemanasan pada baja dilakukan secara bertahap. Standar suhu ini digunakan sebagai acuan yang mana setiap *zone* harus mendapat suhu yang diperlukan untuk menghasilkan pembakaran sempurna pada *furnace*.



Gambar 8. Grafik perbandingan suhu hasil pengukuran dan suhu yang dibutuhkan

Pada Gambar 8 merupakan grafik perbandingan antara suhu hasil pengukuran dan suhu yang dibutuhkan pada tiap *zone*. Dari grafik tersebut terlihat bahwa suhu pada *furnace* yang telah terukur belum mencapai suhu yang dibutuhkan untuk pembakaran, sehingga suhu masih perlu ditingkatkan hingga mencapai standar suhu yang dibutuhkan. Proses ini secara otomatis dikendalikan sistem kontrol PID.

Untuk melakukan *monitoring* secara menyeluruh terdapat sistem kontrol PID dalam bentuk *Human Machine Interface* (HMI) yang berguna untuk melihat pembaruan suhu yang didapat dari pengukuran sensor termokopel pada *zone 1, 2A, 2B* dan juga untuk mengatur batas suhu yang diinginkan. Tampilan antarmuka kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Tampilan kontrol PID

Pada Gambar 9 merupakan tampilan kontrol PID pengukuran suhu pada *furnace* yang terbaca oleh sensor termokopel. Dengan pemanfaatan HMI sebagai *PID control furnace* memungkinkan operator melakukan optimalisasi, manipulasi, dan pemantauan keadaan sebenarnya tanpa harus berada pada lokasi langsung. *PID furnace* terbagi menjadi beberapa blok monitor dan kendali, mulai dari *pusher*, *heat control* hingga *ejector* semua dapat dikendalikan dari HMI.

Antarmuka pengguna HMI bertujuan untuk memudahkan pengendalian penuh terhadap kontrol PID pada *furnace*. Terutama aktivitas dalam upaya kontrol dan monitoring suhu oleh sensor termokopel yang merupakan inti dari proses pembakaran dalam *furnace*. Selain digunakan untuk mengukur suhu pada *furnace*, sensor termokopel juga bekerja sebagai input analog dalam nilai *range interval* tegangan tertentu yang menandakan kondisi suhu sebenarnya, ini yang digunakan pada sistem kontrol PID sehingga membantu sistem dapat bekerja secara otomatis.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa pada pengukuran suhu menggunakan sensor termokopel pada *zone 1* suhu yang terukur oleh sensor yaitu $746,7^{\circ}\text{C}$. Pada *zone 2A* suhu yang terukur oleh sensor yaitu $937,0^{\circ}\text{C}$. Pada *zone 2B* suhu yang terukur oleh sensor yaitu $877,4^{\circ}\text{C}$. Dari hasil pengukuran tersebut, didapatkan bahwa sensor termokopel dapat mengukur suhu dengan rentang yang cukup besar yang mana rentang suhu yang dapat diukur oleh sensor termokopel tipe-S yaitu mulai dari 0 hingga suhu maksimal 1600°C . Penggunaan sensor termokopel tipe-S pada *furnace* dipilih karena memiliki ketahanan yang baik karena rentang suhu yang dibutuhkan *furnace* adalah 1100°C hingga suhu maksimalnya 1250°C . Selain itu pemilihan sensor termokopel tipe-S pada *furnace* karena memiliki respon yang cepat, tahan terhadap guncangan dan getaran, mudah digunakan, serta akurasi pengukuran yang sangat baik dengan kesalahan pengukuran kurang dari 1°C . Pemilihan sensor yang melebihi spesifikasi dari rentang penggunaan suhu maksimal dapat meningkatkan efektivitas kinerja alat. Hal ini dibutuhkan karena terdapat toleransi ketika lonjakan suhu sewaktu-waktu melebihi batas yang dibutuhkan sehingga kerusakan sensor akibat terlalu bekerja sangat keras dapat diredam karena spesifikasi yang cukup. Dengan penggunaan sensor termokopel tipe-S, suhu pada *furnace* dapat terukur dengan akurat dan pengendalian suhu menggunakan PID dapat berjalan dengan baik sehingga pembakaran pada *furnace* dapat dilakukan secara maksimal yang mana berdampak pada kinerja dan kualitas produk.

REFERENSI

- [1] M. E. Abdalla, S. Pannir, and E. Khalid, "Temperature Measurement and Calibration Setup (TH1)," pp. 3–10, 2018.
- [2] D. V. A. S. Jaerana, A. Akbar, and H. Mahmudi, "Sinkronisasi Alat Instrumentasi Pada Mesin Furnace Berkapasitas 7000 Watt," *Semin. Nas. Inov. Teknol.*, p. 409, 2022.
- [3] A. M. N. Priyono, "Rancang bangun furnace temperatur tinggi dengan pengendali mikrokontrol ATMEGA 8535 menggunakan sumber pemanas Silicon Carbide (SiC)," *Youngster Phys. J.*, vol. 6, no. 3, pp. 280–284, 2017.
- [4] Wardoyo Siswo, H. A. Prasetyo, and R. Wiryadinata, "Wireless Data Logger Suhu Multi Channel Menggunakan Labview," vol. 7, no. 3, 2018.
- [5] Nurkholis, A. Bawono, and Priyono, "Pembuatan Pemanas Induction Untuk Sistensis Material," *Berk.*

- Fis.*, vol. 23, no. 2, pp. 70–74, 2020.
- [6] M. Andrian, A. Kurniawan, I. Saukani, and P. N. Malang, “Sistem Kendali Suhu Menggunakan Metode PID dalam Proses Deasetilasi Kitin,” *J. Ilmu Tek.*, vol. 1, no. 2, pp. 131–137, 2024.
- [7] Muhammad Agil Haikal, Dandy Tulus Herlambang, Machrus Ali, and Muhlasin, “Desain Optimasi PID Controller Pada Heating Furnace Temperature Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO),” *ALINIAR J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 2, no. 2, pp. 77–82, 2021.
- [8] M. Noviyanti and) Hufri, “Rancang Bangun Set Eksperimen Kalorimeter Digital Dengan Pengindera Sensor Termokopel Dan Sensor Load Cell Berbasis Arduino Uno,” *Pillar Phys.*, vol. 13, no. April, pp. 34–41, 2020.
- [9] N. Evalina, F. I. Pasaribu, A. A. H, and A. Sary, “Penggunaan Arduino Uno Untuk Mengatur Temperatur Pada Oven,” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 122–128, 2022.
- [10] A. Pradipta, Y. B. A. Apatya, and H. Krismastuti, “Kendali Suhu Pada Mesin Hostia Baking Oven Menggunakan Sensor Thermocouple Tipe K Temperature Control on Hostia Baking Oven Machine Using Type K Thermocouple Sensor,” *Elektro Luceat*, vol. 8, no. 1, pp. 16–23, 2022.
- [11] N. Wendri, I. Wayan Supardi, K. N. Suarbawa, N. Made Yuliantini, J. Fisika, and F. Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, “Alat Pencatat Temperatur Otomatis Menggunakan Termokopel Berbasis Mikrokontroler AT89S51,” *Bul. Fis.*, vol. 13, no. 1, pp. 29–33, 2012.
- [12] A. J. Hidayat, I. Marzuki, and I. Wicaksono, “Rancang Bangun Pengendali Temperature Berbasis Arduino Uno Pada Ketel UAP di Pabrik Gula Wonolangan,” *J. JISE*, vol. 1, no. 1, pp. 17–22, 2022.
- [13] F. Damsi, I. Lutfi, A. Rahman, J. Al Rasyid, and Amperawan, “Programmable Logic Controller Sebagai Pengatur Kecepatan Motor AC Terhadap Perubahan Suhu Sensor Termokopel,” *Sent. 2017*, no. C, pp. 240–247, 2017.
- [14] B. A. Tengger and R. Ropiudin, “Pemanfaatan Metode Kalman Filter Diskrit untuk Menduga Suhu Udara,” *Sq. J. Math. Math. Educ.*, vol. 1, no. 2, p. 127, 2019, doi: 10.21580/square.2019.1.2.4202.
- [15] M. Ali, A. Raikhani, B. Budiman, and H. Sopian, “Algoritma Persaingan Imperialis Sebagai Optimasi Kontroler PID dan ANFIS Pada Mesin Sinkron Magnet Permanen,” *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.)*, vol. 3, no. 1, pp. 57–81, 2019.
- [16] S. Sadi, “Implementasi Human Machine Interface pada Mesin Heel Lasting Chin Ei Berbasis Programmable Logic Controller (Implementation of Human Machine Interface on Chin Ei’s Heel Lasting Machine Based on Programmable Logic Controller),” *J. Tek.*, vol. 9, no. 1, 2020.