

Rancang Bangun Pengendalian Temperature Vessel dengan PID Controller Menggunakan Metode Tuning Direct Synthesis

Mohammad Rafy Kharisma Putra Supriyadi¹⁾, Umi Yuliatin^{2)*}, Roni Heru Triyanto³⁾

¹⁾²⁾³⁾Politeknik Energi dan Mineral Akamigas

Cepu, Blora, Jawa Tengah, Indonesia

¹⁾rafykhariisma4@gmail.com

²⁾umi.yuliatin@esdm.go.id

³⁾roni.triyanto@esdm.go.id

Article history:

Received 21 Nov 2024;
Revised 22 Nov 2024;
Accepted 29 Nov 2024;
Available online 27 Des 2024

Arduino
Direct Synthesis
Labview
Pengendali PID
Pengendalian Suhu

Abstrak

Pengendalian suhu merupakan aspek yang sangat penting dalam berbagai proses industri terutama di industri minyak dan gas. Selain ini visualisasi monitoring berikut pengendaliannya menjadi hal yang penting seiring berkembangnya teknologi dan kemudahan di bidang IoT. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem pengendalian suhu pada sebuah vessel dengan menggunakan kontroler PID. Metode tuning yang dipilih adalah Direct Synthesis, karena kemampuannya dalam memberikan respons yang cepat dan stabil. Sistem ini diimplementasikan menggunakan platform LabVIEW untuk keperluan monitoring dan kontrol, serta Arduino sebagai perangkat keras utama yang mengelola aktuator dan sensor membentuk sistem monitoring dan pengendalian berbasis teknologi IoT. Sistem yang dirancang terdiri dari beberapa komponen utama: sensor suhu, Arduino, pengendali PID, dan perangkat lunak LabVIEW. Sensor suhu bertugas mengukur suhu aktual dari vessel dan mengirimkan data tersebut ke Arduino. Arduino kemudian memproses data ini dan untuk mengatur aktuator berdasarkan algoritma PID yang telah dituning menggunakan metode Direct Synthesis. LabVIEW digunakan sebagai antarmuka pengguna yang memungkinkan monitoring secara real-time dan penyesuaian parameter kontrol jika diperlukan. Hasil pengujian PID Controller yang menggunakan metode Direct Synthesis optimal pada parameter $K_p = 1,6989$, $K_i = 0,8537$, dan $K_d = 0,6846$. Parameter ini menunjukkan respons yang cukup akurat dengan kinerja yang baik baik dengan gangguan dan tanpa gangguan dari percobaan yang telah dilakukan.

I. PENDAHULUAN

Pada dunia industri sudah banyak tuntutan kepada pihak perusahaan atau *company* untuk melakukan pengembangan teknologi sesuai dengan perkembangan teknologi yang sudah berjalan. Dapat kita ambil contoh seperti industri *oil and gas* yang sangat diharapkan untuk melakukan perkembangan teknologi dengan harapan hasil dari produksi semakin lebih signifikan dan lebih menekan untuk lebih rendahnya biaya pada sektor produksi.

Instrumentasi pada bidang industri *oil and gas* memiliki peran yang sangat vital atau penting yaitu sebagai pengendali dan pengukur dari parameter yang digunakan pada sistem atau proses industri *oil and gas*. Instrumentasi memiliki peran yang sangat penting dalam industri minyak dan gas, terutama dalam fungsi pengendalian dan pengukuran parameter yang digunakan dalam sistem dan proses industri. Salah satu contoh penerapan instrumentasi adalah penggunaan perangkat pengukur kelompok otomatis yang berfungsi untuk memantau dan mengendalikan parameter produksi. Perangkat ini berperan krusial dalam mengoptimalkan kinerja sumur serta memastikan efisiensi operasional yang lebih tinggi, yang pada gilirannya berdampak pada peningkatan produktivitas dan penghematan biaya [1]. Ada beberapa variabel yang sering digunakan pada

* Corresponding author

industri seperti *level*, *pressure*, *flow*, dan *temperature*. Fungsi dari variabel tersebut adalah sebagai faktor pendukung peningkatan dari suatu kualitas atau mutu dari hasil produksi yang sedang berjalan.

Kontrol atau pengendalian dalam industri minyak dan gas merupakan komponen yang sangat penting dan memiliki peran krusial. Pengendalian pada industri *oil and gas* sendiri memiliki fungsi sebagai pengendali atau *controller* terhadap variabel proses yang nantinya memiliki tujuan agar proses yang akan berjalan atau sedang berjalan dapat memiliki error atau gangguan yang kecil, hal tersebut dilakukan supaya produk yang dihasilkan memiliki kualitas atau mutu yang tinggi. *PID control* adalah salah satu jenis atau metode pengendalian yang sering digunakan dalam dunia industri. Struktur dari *PID control* relatif sederhana, terdiri dari tiga parameter yang perlu disesuaikan atau dituning untuk mencapai kinerja sistem yang diinginkan. Pada pengelolaan proses pemisahan pada sistem hidrokloron lepas pantai, penggunaan pengendali PID menjadi sangat penting. Pengendali ini memastikan pemisahan yang efisien dalam pemulihan minyak, yang berkontribusi pada peningkatan kualitas dan kuantitas produksi minyak. Efektivitas pengendalian yang tepat sangat mempengaruhi keberhasilan dan keberlanjutan operasional dalam jangka panjang [2]. Dalam sektor pembangkitan energi, pengendali PID juga digunakan untuk mengatur turbin gas yang terhubung dengan generator, di mana presisi dalam pengendalian diperlukan untuk menjaga kestabilan dan kinerja optimal sistem pembangkit listrik [3].

Direct Synthesis adalah salah satu metode perancangan PID Controller yang hanya memerlukan model plant sebenarnya dan model plant yang diinginkan. Metode ini sering digunakan dalam perancangan PID Controller karena mampu menghasilkan respons yang baik dan mempertahankan kinerja sistem pada setpoint meskipun terjadi gangguan. Metode *Direct Synthesis* adalah teknik yang semakin populer dalam perancangan pengendali PID, di mana pengendali dirancang berdasarkan model sistem yang aktual dan model yang diinginkan. Metode ini hanya memerlukan dua model: satu model sistem aktual dan satu model sistem yang diinginkan. Dengan menggunakan model-model ini, Sintesis Langsung dapat merancang pengendali yang disesuaikan secara langsung dengan karakteristik sistem dan dinamika loop tertutup. Hal ini menjadikan sintesis langsung sebagai pendekatan yang sangat efisien dalam teori pengendalian karena dapat mengoptimalkan kinerja pengendali tanpa memerlukan pendekatan coba-coba yang sering kali lebih memakan waktu dan sumber daya [4].

Keunggulan dari metode *Direct Synthesis* adalah kemampuannya untuk menyederhanakan proses desain kontroler dengan mengandalkan informasi dari model plant dan karakteristik dinamika sistem yang akan dikendalikan. Metode ini memungkinkan perancangan kontroler yang lebih cepat dan lebih efisien, tanpa memerlukan proses tuning manual yang memakan waktu. Selain itu, dengan mengoptimalkan parameter PID berdasarkan model matematis, *Direct Synthesis* mampu mengurangi kesalahan pengendalian dan meningkatkan kestabilan sistem, bahkan dalam kondisi gangguan yang tidak terduga. Pada sistem pengendalian suhu, penggunaan metode ini dapat sangat efektif untuk mempertahankan suhu pada level yang diinginkan, meskipun ada fluktuasi atau perubahan variabel lain yang mempengaruhi proses. Dengan demikian, *Direct Synthesis* tidak hanya meningkatkan akurasi pengendalian tetapi juga membantu mengurangi kebutuhan akan intervensi manusia dalam proses tuning, menjadikannya solusi yang ideal untuk pengendalian suhu otomatis di industri dengan tuntutan kestabilan yang tinggi.

Teknologi Internet of Things (IoT) telah mengalami perkembangan pesat dan diterapkan di berbagai sektor industri, termasuk industri minyak dan gas, memberikan banyak manfaat signifikan. IoT memungkinkan perangkat untuk saling terhubung dan bertukar data secara real-time melalui jaringan internet, yang sangat penting untuk pemantauan dan pengendalian proses industri dari jarak jauh. Dalam bidang pengendalian suhu, sensor IoT diharapkan dapat memantau suhu secara terus-menerus pada berbagai titik dalam sistem, memberikan informasi yang lebih akurat dan terkini. Data suhu yang dikumpulkan oleh sensor dapat digunakan untuk memberikan umpan balik langsung kepada PID Controller, yang memungkinkan penyesuaian parameter kontrol secara lebih responsif terhadap perubahan kondisi. Dengan integrasi IoT, sistem pengendalian suhu diharapkan menjadi lebih cerdas, mampu mendeteksi masalah atau gangguan sejak dini, sehingga mengurangi potensi kerusakan pada peralatan dan meningkatkan efisiensi operasional. Penerapan IoT ini semakin penting dalam industri minyak dan gas, yang memiliki proses sangat kompleks dan rentan terhadap fluktuasi suhu yang dapat memengaruhi kualitas produk. Lebih jauh lagi, penerapan IoT sejalan dengan konsep Industri 4.0, yang tidak hanya fokus pada digitalisasi tetapi juga pada pengambilan keputusan berbasis data yang cerdas, yang sangat relevan dalam meningkatkan efisiensi operasional di sektor ini [1]. Dengan demikian, teknologi IoT menjadi alat yang tak ternilai dalam mengoptimalkan proses dan memastikan kualitas produksi yang tinggi di sektor industri yang menuntut.

Salah satu aplikasi penting dari IoT adalah dalam pengendalian suhu, di mana sensor IoT dapat digunakan untuk memantau suhu secara terus-menerus di berbagai titik dalam sistem. Data yang dikumpulkan oleh sensor ini dapat memberikan umpan balik langsung kepada PID Controller, yang memungkinkan penyesuaian parameter kontrol secara lebih responsif terhadap perubahan kondisi. Penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol yang dilengkapi dengan sensor IoT dapat meningkatkan akurasi dan kecepatan respons terhadap fluktuasi suhu, yang sangat penting dalam industri minyak dan gas yang memiliki proses yang kompleks dan rentan terhadap perubahan suhu [5] [6].

Integrasi teknologi IoT dalam sistem pengendalian suhu juga berpotensi untuk mendeteksi masalah atau gangguan sejak dini, sehingga mengurangi risiko kerusakan pada peralatan dan meningkatkan efisiensi operasional. Dalam konteks ini, penerapan IoT di industri minyak dan gas tidak hanya meningkatkan efisiensi tetapi juga memberikan keamanan yang lebih baik dalam pengelolaan data dan proses [7] [8]. Dengan demikian, pemanfaatan teknologi IoT menjadi semakin penting, terutama dalam industri yang memiliki tantangan besar terkait dengan pengendalian suhu dan kualitas produk, seperti yang terjadi di sektor minyak dan gas [9].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem pengendalian suhu menggunakan PID Controller telah diterapkan secara luas untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pengendalian dalam berbagai aplikasi industri dan ilmiah. Penelitian yang dilakukan oleh Gozali menunjukkan bahwa metode tuning Direct Synthesis pada kontrol PID mampu menghasilkan kinerja pengendalian yang optimal, menjaga stabilitas sistem, dan mengembalikan sistem ke set point meskipun terjadi gangguan eksternal. Pendekatan ini terbukti sangat efektif dalam mempertahankan kestabilan operasional sistem yang rentan terhadap variasi suhu dan gangguan yang sering terjadi. Selain itu, penerapan PID Controller berbasis Arduino yang dilakukan oleh Budianto et al. memperlihatkan fleksibilitas dan aksesibilitas dalam implementasi sistem kontrol suhu, khususnya pada furnace berbahan bakar biofuel. Penggunaan Arduino memungkinkan pengendalian suhu yang lebih murah dan mudah diadaptasi, membuat teknologi ini semakin populer dalam aplikasi skala kecil dan menengah yang membutuhkan kontrol suhu yang efisien [10].

Dalam bidang lain, Aidil dan Mukhlidi menunjukkan keunggulan kontrol PID dibandingkan dengan metode On-Off dan logika fuzzy dalam aplikasi pada printer 3D. Mereka menemukan bahwa sistem PID yang diterapkan pada heat bed dan ekstruder dapat mencapai tingkat kesalahan yang sangat rendah, hanya sekitar 0,5%, yang jauh lebih baik daripada metode kontrol lainnya [11]. Keakuratan dan responsifitas sistem PID ini sangat penting dalam menjaga kualitas cetakan dan konsistensi suhu pada proses pencetakan 3D. Selain itu, penelitian oleh Prakoso dan Daratha yang mengimplementasikan PID dengan metode tuning Ziegler-Nichols pada sistem pengendalian suhu mesin tetas telur juga menunjukkan hasil yang memuaskan. PID Controller yang diterapkan dalam mesin tetas telur dapat menjaga suhu tetap stabil selama 21 hari tanpa terpengaruh fluktuasi suhu lingkungan secara signifikan, yang menunjukkan keandalan dan efektivitas metode tuning Ziegler-Nichols dalam aplikasi jangka panjang [12]. Di sisi lain, Megido dan Ariyanto mengembangkan sistem pengendalian suhu air pada pemanas berbasis Arduino Uno, yang menggunakan PID Controller untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pengendalian suhu. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa sistem PID berbasis Arduino ini lebih efisien dan akurat dibandingkan metode On-Off, dengan tambahan teknik pembagi tegangan untuk meningkatkan linearitas keluaran sistem, yang semakin mengoptimalkan performa kontrol suhu [13]. Dengan demikian, pengembangan dan penerapan sistem PID Controller yang efektif, baik dengan pendekatan tuning tertentu maupun pemanfaatan platform seperti Arduino, telah terbukti memberikan hasil yang signifikan dalam berbagai bidang, termasuk industri, teknologi, dan penelitian ilmiah. Dari berbagai penelitian ini, penerapan PID Controller dengan metode tuning Direct Synthesis berbasis Arduino terbukti sebagai solusi yang handal dan efisien untuk pengendalian suhu.

Pengendalian suhu dan aliran menggunakan PID controller telah banyak diterapkan dalam berbagai sistem industri dan teknologi, dan dengan berkembangnya teknologi Internet of Things (IoT), pengendalian ini menjadi semakin canggih dan efisien. Diantaranya integrasi IoT dengan LQR-PID controller untuk pengawasan dan pengendalian aliran serta tekanan dalam sistem transportasi fluida, menunjukkan bahwa pemantauan dan pengendalian secara real-time melalui IoT dapat menjaga stabilitas sistem secara signifikan [14]. Selain itu implementasi PID controller pada sistem level cairan mengoptimalkan kontrol menggunakan teknologi berbasis IoT menekankan pentingnya pengendalian yang akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi, yang sangat penting dalam menjaga kestabilan operasional sistem [15]. Pemanfaatan IoT dapat digunakan dalam sistem kontrol level tangki, di mana parameter kontrol dapat diubah dari jarak jauh, meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi pengendalian PID dalam sistem yang terhubung [16].

Di lain pihak, penggunaan LabVIEW dalam pengendalian berbasis PID juga semakin berkembang, terutama dalam aplikasi pemantauan waktu nyata. Handaya et al. mengembangkan sistem pemantauan waktu nyata menggunakan LabVIEW untuk kontrol posisi motor DC dengan kontrol PID, yang memungkinkan analisis dan tampilan hasil kontrol motor secara real-time, serta mengonfirmasi efektivitas sistem kontrol yang diterapkan [17]. LabVIEW juga dapat digunakan dalam implementasi kontrol PID nonlinier untuk sistem servomekanisme, menggambarkan kemampuan LabVIEW dalam menangani kontrol yang lebih kompleks dan responsif terhadap perubahan kondisi sistem secara langsung [18]. Keterkaitan antara IoT, PID controller, dan LabVIEW semakin memperkaya aplikasinya dalam berbagai sistem yang memerlukan pengendalian dinamis dan pemantauan real-time, baik dalam industri, robotika, maupun teknologi cerdas lainnya.

III. METODE

Industri oil and gas saat ini dihadapkan pada tuntutan untuk terus mengembangkan teknologi agar dapat meningkatkan hasil produksi sambil mengurangi biaya produksi. Instrumentasi adalah komponen vital dalam industri ini, berperan sebagai pengukur dan pengendali parameter-parameter kunci dalam proses produksi, seperti level, tekanan, aliran, dan suhu. Penggunaan parameter-parameter ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk.[8]

Pengendalian dalam industri oil and gas sangat penting, karena bertujuan untuk menjaga agar proses produksi berjalan dengan sedikit kesalahan atau gangguan, sehingga produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang tinggi. Pengendalian PID (Proportional-Integral-Derivative) merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam industri ini. Struktur PID relatif sederhana, dengan tiga parameter yang dapat disesuaikan atau "dituning" agar sesuai dengan kinerja yang diinginkan. Direct Synthesis adalah salah satu metode perancangan PID Controller yang cukup umum digunakan, mengharuskan pemodelan sistem yang ada dan sistem yang diinginkan. Metode ini dikenal mampu menghasilkan PID Controller dengan respons yang baik dan kemampuan yang kuat dalam menjaga respons pada setpoint saat terjadi gangguan.

PID Controller dapat dirumuskan dalam domain waktu dengan persamaan berikut [19] :

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Keterangan:

$u(t)$: Controller Output
 K_p : Gain Proportional
 T_i : Time Integral
 $e(t)$: Error

Dalam domain Laplace, PID Controller dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2)$$

Persamaan ini menjelaskan hubungan antara sinyal kendali $U(s)$ dan error $E(s)$ dalam domain frekuensi. Setiap komponen PID berperan untuk mengoptimalkan kinerja system yaitu :

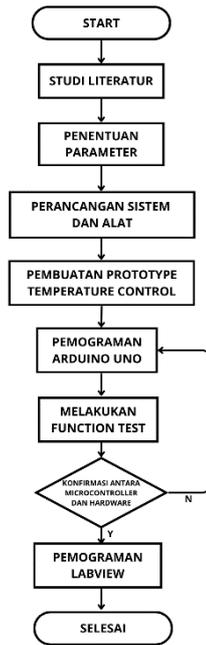
1. Komponen Proporsional K_p memberikan respon langsung terhadap error saat ini, memengaruhi kecepatan respons.
2. Komponen Integral $T_i s$ menghilangkan error steady-state dengan mengintegrasikan error secara kumulatif.
3. Komponen Derivatif $T_d s$ menstabilkan sistem dengan memberikan respon terhadap laju perubahan error.

Melalui kombinasi ketiga komponen ini, PID Controller diharapkan mampu meningkatkan kestabilan sistem, mempercepat waktu respons, dan mengurangi osilasi, menjadikannya solusi andal untuk berbagai aplikasi industri.

Terdapat dua Tahapan dalam merancang sistem kontrol PID untuk pengendalian suhu berbasis Arduino dan monitoring menggunakan LabView. Tahap pertama adalah penelitian dan perancangan prototipe, diikuti oleh tahap perancangan kontrol PID.

Pada gambar 1 atau pada tahapan rancangan prototipe, dijelaskan bahwa diawali dengan melakukan studi literatur dengan mencari sumber sumber dari peneliti terdahulu. Setelah melakukan studi literatur, menentukan parameter parameter yang digunakan dalam melakukan penelitian tersebut. Dilanjutkan dengan melakukan perancangan sistem dan alat yang akan dibuat atau dilaksanakan kemudian melakukan pembuatan prototipe temperature control dengan menggunakan metode PID dan dilanjutkan dengan pembuatan program yang berbasis Arduino Uno. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan function test terkait hardware yang telah dibuat, selanjutnya dilakukanlah verifikasi terkait microcontroller dan hardware yang telah penulis rencanakan. Setelah sinkron antara microcontroller dan hardware kemudian dilakukan pemograman di LabView dengan tujuan mempermudah untuk melakukan monitoring.

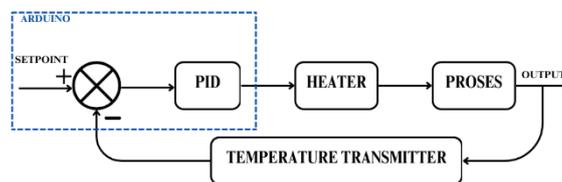
Pada gambar 2 dijelaskan jika pada perencanaan kontrol PID ini diawali dengan mengambil data yang berdasarkan dari monitoring pada LabView, data yang diambil berdasarkan dari parameter yang telah ditentukan. Setelah data diambil yaitu melakukan verifikasi atau konfirmasi terkait data yang diambil, apakah sesuai dengan parameter yang ditentukan diawal atau tidak. Data yang sudah benar dilakukan analisis dan pengolahan dengan cara melakukan perhitungan menggunakan metode Direct Shintesys. Kemudian dilakukannya pembahasan terkait data yang telah di analisis dan mengambil kesimpulan penelitian yang telah dilakukan.



Gambar 1 Blok Diagram



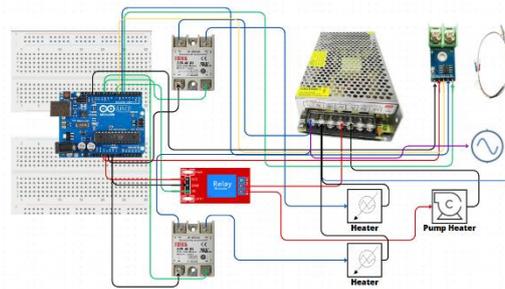
Gambar 2 Flowchart Rancangan Kontrol PID



Gambar 3 Blok Diagram

Pada diagram blok sistem pengendalian suhu pada sebuah vessel, langkah pertama adalah menerima input berupa data pembacaan suhu dari dalam vessel, yang diperoleh dari thermocouple tipe K. Thermocouple tipe K mengirimkan data suhu ini ke Arduino. Arduino kemudian menghitung perbedaan antara data pengukuran suhu (Process Variable/PV) dan nilai setpoint suhu yang diinginkan. Berdasarkan perbedaan ini, Arduino menghasilkan sinyal kontrol PID yang berupa sinyal PWM (Pulse Width Modulation). Sinyal PWM ini memiliki dua fungsi utama: pertama, untuk melakukan trigger ON/OFF pada solid state relay (SSR), dan kedua, untuk mengontrol pemanas (heater) guna menjaga kestabilan suhu di dalam vessel. Hasil pembacaan atau pengukuran suhu yang dikendalikan oleh sistem ini dapat dilihat atau ditampilkan melalui antarmuka manusia-mesin (HMI) yang ada pada perangkat lunak LabView di komputer.

IV. HASIL



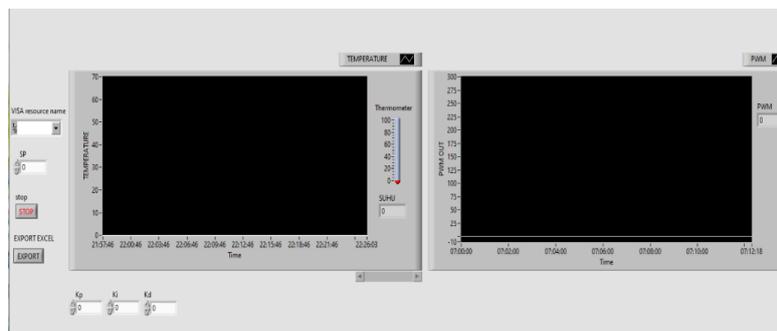
Gambar 4 Rancangan Hardware

Rancangan hardware yang akan penulis rencanakan untuk penelitian kali ini, dengan beberapa komponen pendukung seperti Pump, Heater, Solid State Relay (SSR), Arduino Uno, Relay. Diawali dengan Solid State Relay (SSR) yang mendapatkan input sinyal dari arduino, sinyal tersebut memiliki fungsi sebagai pengoperasi dengan cara ON OFF pada heater dengan melakukan perhitungan PID dari arduino. Sinyal output yang berasal dari arduino menuju ke Solid State Relay (SSR) merupakan sinyal PWM dan Solid State Relay (SSR) mendapatkan supply power yang berasal dari power supply. Solid State Relay (SSR) memiliki fungsi sebagai pengendali atau pengontrol heater. Relay mendapatkan input sinyal dari arduino yang nantinya akan ditujukan kepada pump heater yang berperan untuk melakukan sirkulasi terhadap air yang dipanaskan oleh heater. Thermocouple mendapat power dari arduino untuk membaca keadaan temperature secara real time di dalam vessel.



Gambar 5 Implementasi Hardware

Pada rancang bangun sistem kali ini menggunakan water heater yang menggunakan listrik dan mendapatkan sumber tegangan dari power supply. Heater sebagai pengendali temperature dari feed yang terdapat di dalam tank. Feed yang digunakan untuk heater adalah air yang didorong oleh pompa agar menuju ke dalam pipa heater dan kembali menuju tank. Arduino berperan sebagai pengatur temperature dari air yang di dalam tank. Ketika feed yang didalam tank dikiranya kurang panas, maka operator dapat melakukan penentuan set point yang terdapat di PC. Untuk mendeteksi temperature yang terdapat di dalam tank digunakanlah *Thermocouple Type K* dan nantinya temperature yang ada di dalam tank dapat dimonitor dari PC juga.

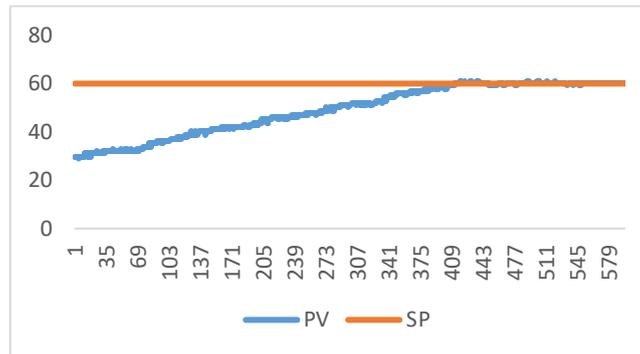


Gambar 6 Rancangan Software

Sedangkan untuk perancangan Software, penulis menggunakan tampilan HMI berupa grafik respon dari Set Point, terdapat juga analog indikator dan digital indikator terkait pembacaan temperature pada kondisi aktual. Terdapat string yang dapat digunakan untuk melihat data perintah yang berasal dari Labview ke Arduino. Pada bagian sebelah kiri juga terdapat push button stop dan export, push button stop memiliki fungsi sebagai untuk menghentikan proses komunikasi serial dari Labview ke Arduino IDE sedangkan push button export memiliki fungsi untuk melakukan export terkait data yang di dapatkan dari wavechart suhu. Pada bagian bawah terdapat fungsi yang berguna untuk merubah nilai Kp, Ki, dan Kd. Pada bagian sebelah kanan terdapat indikator digital terkait pembacaan PWM dan juga adanya wavechart dari PWM tersebut.

V. PEMBAHASAN

Sebelum melakukan pengujian PID Controller menggunakan metode Direct synthesis, maka penulis harus melakukan bump test. Bump test dilakukan untuk mendapatkan nilai transfer function dari proses suhu.



Gambar 7. Hasil Pengujian Bump-Test

A. Pemodelan Transfer function plant

Melalui data bump test yang diawali dengan merubah mode kontrolnya dari auto menjadi manual kemudian melakukan pengendalian pada PWM dan melihat respon dari prosesnya melalui grafik yang terdapat pada HMI. Jika suhu belum mencapai di setpoint yang di inginkan, PWM dinaikkan kembali dan dilakukan pengecekan terhadap respon dari prosesnya hingga sampai di suhu yang di inginkan. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *system identification* pada Matlab.

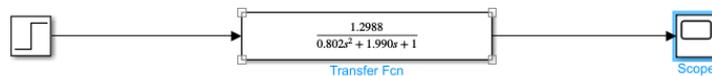
Dari hasil estimasi model sistem proses, diperoleh nilai transfer function untuk proses suhu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K_p &= 1.2988 \\ T_{p1} &= 1.4292 \\ T_{p2} &= 0.56168 \end{aligned}$$

Setelah melakukan pemodelan, didapatkan *transfer function plant* yaitu:

$$\begin{aligned} G_{plant} &= \frac{K_p}{(1 + 1.429 \ x \ s)(1 + 0.56168 \ x \ s)} \\ &= \frac{1.2988}{0.802s^2 + 1.990s + 1} \end{aligned} \quad (3)$$

Untuk memahami karakteristik respons dari plant yang telah diperoleh, simulasi plant transfer function dapat dilakukan



Gambar 8 Plant Transfer function

Gain plant dari perancangan PID controller dengan Direct Synthesis yaitu sebagai berikut:

$$G_{plant} = \frac{1.2988}{0.802s^2 + 1.990s + 1} \quad (4)$$

Dari gain plant yang didapatkan dapat diketahui bahwa gain plant tersebut merupakan gain plant yang termasuk dalam orde dua (II). Maka dari itu, pada metode perancangan controller ini, penulis menggunakan jenis controller yang merupakan PID Controller. Langkah-langkah dalam merancang PID Controller menggunakan metode direct synthesis adalah sebagai berikut :

1. Menentukan waktu sistem hasil

Untuk mencari konstabra waktu sistem hasil dengan t_s^* ($\pm 0,5\%$) mendapatkan hasil sebagai berikut :

$$t_s^* (\pm 0,5\%) \cong 5\tau^* \cong 4,509$$

$$\tau^* \cong \frac{4,509}{5}$$

$$\cong 0,9018$$

2. Menentukan parameter pada transfer function plant

$$G_{plant} = \frac{1.2988}{0.802s^2 + 1.990s + 1} \quad (5)$$

3. Menentukan nilai parameter ζ , ω_n , dan K

Menggunakan cara sebagai berikut :

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K}{\frac{1}{\omega_n^2}s^2 + \frac{2\zeta}{\omega_n}s + 1}$$

Menghitung Nilai K

$$K = 1,2988$$

Menghitung Nilai ω_n

$$\frac{1}{\omega_n^2} = 0,802$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1}{0,802}}$$

$$\cong 1,11664$$

Menghitung Nilai ζ

$$\frac{2\zeta}{\omega_n} = 1,990$$

$$\zeta = \frac{1,990 \cdot \omega_n}{2}$$

$$= \frac{1,990 \cdot 1,11664}{2}$$

$$\zeta = 1,1110$$

4. Menentukan Besaran dari Proportional gain, derivative time dan integral time

Melakukan perhitungan terhadap *integral time* :

$$\tau_i = \frac{2\zeta}{\omega_n}$$

$$= \frac{2 \cdot 1,1110}{1,11664}$$

$$= 1,9899 \text{ detik}$$

Melakukan perhitungan terhadap *derivative time* :

$$\tau_d = \frac{1}{2 \cdot \zeta \cdot \omega_n}$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 1,1110 \cdot 1,11664}$$

$$= 0,4030 \text{ detik}$$

Melakukan perhitungan terhadap *proportional gain* :

$$K_p = \frac{\tau_i}{\tau^* \cdot K}$$

$$= \frac{1,9899}{20,9018 \cdot 1,2988}$$

$$= 1,6989$$

5. Menentukan besarran derivative gain dan integral gain

Untuk mencari besarnya *integral gain* dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$K_i = \frac{K_p}{\tau_i}$$

$$= \frac{1,6989}{1,9899}$$

$$= 0,8537$$

Sedangkan besaran *derivative gain* dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$K_d = K_p \cdot \tau_d$$

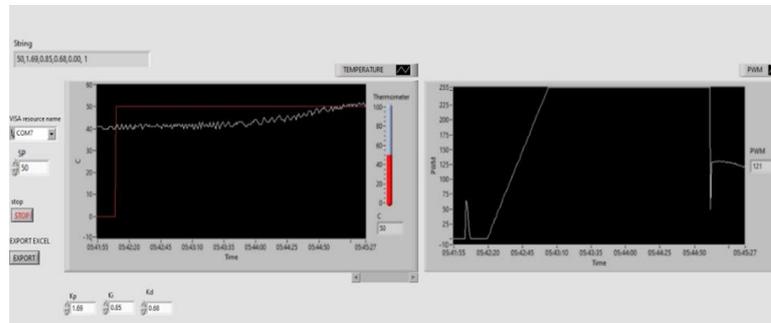
$$= 1,6989 \cdot 0,4030$$

$$= 0,6846$$

Pada Penentuan PID Controller transfer function dapat menggunakan cara sebagai berikut :

$$G_c = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,6989 \left(1 + \frac{1}{1,9899} + 0,4030s \right) \\
 &= 1,6989 + \frac{1,6989}{1,9899} + 0,6847s \\
 &= \frac{1,3622 s^2 + 3,3806s + 1,6989}{1,9899s} \tag{4}
 \end{aligned}$$

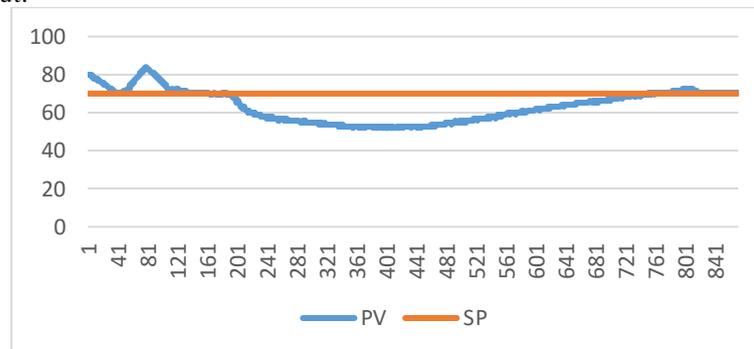


Gambar 9 Tampilan labview Dengan PID Controller

Pada pengujian data menggunakan PID Controller dengan range dari suhu 40°C hingga 50°C. Kp, Ki, Kd yang penulis tentukan dapat membuat response dari sistem pengendalian Temperature dapat terbilang cukup efisien dan cepat. Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut yaitu nilai *Rise Time* yang sebesar 13 detik, nilai *Settling Time* yang sebesar 26 detik, dan juga untuk nilai *Time Constant* yang sebesar 19 detik. Pengujian pada pengendalian menggunakan *PID Controller* tidak memiliki overshoot.

6. Pengujian Sistem Pengendalian Temperature dengan Disturbance

Pada kondisi aktual sebuah *response time* pengendalian *temperature* dapat di pengaruhi oleh sebuah gangguan atau yang sering disebut dengan *disturbance*, pada umumnya *disturbance* atau gangguan dapat berupa *watersupply*, *fuel gas tank pressure*, dan lain lainnya. Pemberian *disturbance* atau gangguan pada sistem pengendalian *temperature* ini memiliki fungsi sebagai pengujian atau untuk kemampuan dari sebuah controller tersebut.



Gambar 10 Grafik Respon Sistem Pengendalian Temperature terhadap Disturbance

Saat diberi setpoint 70°C, respon dari sistem pengendalian temperature pada vessel bergerak secara lumayan lambat. Meskipun pergerakan terbilang cukup lambat namun PV masih dapat mengejar dan mencapai pada SP yang telah ditentukan.

Penyebab dari PV mencapai ke SP memakan waktu yang terbilang cukup lama karena pemberian disturbance atau gangguan pada sistem pengendalian temperature dengan cara melakukan pembukaan valve pada sistem drain dan pada sistem flow yang menuju ke oil tank, sehingga membuat feed yang ada didalam oil tank mengalami sirkulasi.

VI. KESIMPULAN

Perancangan PID controller menggunakan metode Direct Synthesis dengan time constant (τ) sebesar 2.158 detik, settling time (t_s) sebesar 19.954 detik, overshoot (M_p) sebesar 0%, dan error steady state (ess) sebesar 0%, menghasilkan nilai gain proporsional (K_p) sebesar 1,6989, gain integral (K_i) sebesar 0,8537, dan gain derivatif (K_d) sebesar 0,6846.

Sedangkan Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa respons sistem pengendalian suhu pada Water Heater menggunakan PID controller dengan metode Direct Synthesis memenuhi spesifikasi performa yang diinginkan. Pada pengujian tanpa gangguan, PID controller menghasilkan respons dengan overshoot (M_p) sebesar

0% dan error steady state (ess) sebesar 0%, meskipun konstanta waktu (τ) dan waktu penyelesaian (t_s) lebih besar dari desain awal. Saat diuji dengan gangguan, PID controller menunjukkan kemampuan yang baik dalam menolak gangguan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. H. Rzayev, G. A. Guluyev, Y. G. Aliyev, and M. H. Rezvan, "Operating algorithms of the 'TRAP' automated group measuring device controller," *Informatics Control Probl.*, no. 1(3), 2023, doi: 10.54381/icp.2023.1.09.
- [2] P. Durdevic and Z. Yang, "Dynamic Efficiency Analysis of an Off-Shore Hydrocyclone System, Subjected to a Conventional PID- and Robust-Control-Solution," *Energies*, vol. 11, no. 9, 2018, doi: 10.3390/en11092379.
- [3] M. Khalilpour, K. Valipour, H. Shayeghi, and N. Razmjoooy, "Designing a robust and adaptive PID controller for gas turbine connected to the generator," *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 5, 2013, doi: 10.19026/rjaset.5.4902.
- [4] F. ISDARYANI, M. F. V. HESYA, and F. FERIYONIKA, "Sintesis Kendali PID Digital dengan Diskritisasi Langsung dan Backward Difference," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 2, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i2.467.
- [5] H. A. Bramantyo, B. Satrio Utomo, and E. M. Khusna, "Data Processing for IoT in Oil and Gas Refineries," *J. Jartel*, vol. 12, no. 1, 2022, doi: 10.33795/jartel.v12i1.300.
- [6] J. Li, Y. Guo, Z. Fu, X. Zhang, and F. Shen, "An Intelligent Energy Management Information System with Machine Learning Algorithms in Oil and Gas Industry," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/3385453.
- [7] A. Sukiasyan, H. Badikyan, T. Pedrosa, and P. Leitao, "Secure data exchange in Industrial Internet of Things," *Neurocomputing*, vol. 484, 2022, doi: 10.1016/j.neucom.2021.07.101.
- [8] L. AlSuwaidan, "The role of data management in the Industrial Internet of Things," in *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2021, vol. 33, no. 23. doi: 10.1002/cpe.6031.
- [9] Q. Meng, "Application practice of the Internet of Things technology in oilfield development," 2022. doi: 10.1117/12.2655874.
- [10] A. Budianto, W. S. Pambudi, S. Sumari, and A. Yulianto, "PID control design for biofuel furnace using arduino," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.)*, vol. 16, no. 6, 2018, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v16i6.9770.
- [11] A. Alfajri and M. Muskhir, "Sistem Kontrol Temperatur Metode Pid Heatbed dan Ekstruder pada Printer Tiga Dimensi," *Ranah Res. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 5, no. 2, 2022, doi: 10.38035/trj.v5i2.462.
- [12] I. Agustian, D. S. Prakoso, R. Faurina, and N. Daratha, "Sistem Kendali Suhu Mesin Tetas Telur Ayam Buras Menggunakan Kontroler PID dengan Metode Tuning Ziegler Nichols Open Loop Step Response," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. ELEKTRO DAN Komput.*, vol. 12, no. 1, 2022, doi: 10.33369/jamplifier.v12i1.21535.
- [13] A. Megido and E. Ariyanto, "SISTEM KONTROL SUHU AIR MENGGUNAKAN PENGENDALI PID. DAN VOLUME AIR PADA TANGKI PEMANAS AIR BERBASIS ARDUINO UNO," *Gema Teknol.*, vol. 18, no. 4, 2016, doi: 10.14710/gt.v18i4.21912.
- [14] E. B. Priyanka, C. Maheswari, S. Thangavel, and M. P. Bala, "Integrating IoT with LQR-PID controller for online surveillance and control of flow and pressure in fluid transportation system," *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 17, 2020, doi: 10.1016/j.jii.2020.100127.
- [15] J. Bhookya, M. Vijaya Kumar, J. Ravi Kumar, and A. Seshagiri Rao, "Implementation of PID controller for liquid level system using mGWO and integration of IoT application," *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 28, 2022, doi: 10.1016/j.jii.2022.100368.
- [16] S. Arun jayakar, G. M. Tamilselvan, S. Sakthiya Ram, and M. Kalimuthu, "Robust Controller And Industrial Internet For The Industrial Nonlinear Level Process," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1084, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1084/1/012091.
- [17] D. Handaya, R. Fauziah, and T. Listyorini, "Real-time Monitoring System Using LabView for DC Motor Position Control Embedded System with PID and Pole Placement Control," 2019. doi: 10.4108/eai.24-10-2018.2280595.
- [18] M. A. Shamseldin, M. Sallam, A. M. Bassiuny, and A. M. Abdel Ghany, "Real-time implementation of an enhanced nonlinear PID controller based on harmony search for one-stage servomechanism system," *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 12, 2018, doi: 10.15282/jmes.12.4.2018.13.0359.
- [19] P. N. Paraskevopoulos, *Modern control engineering*. 2017. doi: 10.1201/9781315214573.