

Rancang Bangun Kit Praktikum Pengendalian Temperatur Fluida Menggunakan Kontrol PID Bertingkat

Dika Wisnu Saputra¹, Aditya Gautama^{1*}, Senanjung Prayoga²

¹Program Studi Teknik Instrumentasi

²Program Studi Teknologi Rekayasa Robotika

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*E-mail: adityagautama@polibatam.ac.id

ABSTRAK

Temperatur adalah salah satu variabel yang perlu dikendalikan pada sistem industri proses. Beberapa contoh pengendalian temperatur adalah pada sistem boiler dan HVAC yang digunakan pada beberapa industri di Batam. Oleh karena terdapat kebutuhan dari industri, maka pada penelitian ini dilakukan. Pada penelitian ini kit praktikum pengendalian temperatur fluida dirakit untuk digunakan pada laboratorium program studi instrumentasi sebagai alat praktikum. Selain membuat kit praktikum penelitian ini juga mencoba untuk mengatasi salah satu permasalahan pada pengendalian temperatur yaitu sering terjadinya fluktuasi yang tinggi pada proses variabel. Gangguan tersebut timbul ketika proses cairan masuk kedalam tabung, pemanas aktif dan air keluar dari tabung. Sistem pengendalian kemudian diperbaiki dengan menambahkan pengendalian pada pemanas dan pengendalian pada aliran air. Kedua kendali ini digabungkan menjadi sistem kendali PID bertingkat (*control cascade*). Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah nilai *overshoot* sebelum mencapai *steady state* pada *cascade control* lebih rendah jika dibandingkan dengan *single control*. *Maximum overshoot* yang dihasilkan menggunakan *single control* mencapai 3°C diatas set point, namun jika menggunakan *cascade control* tidak terbentuk *maximum overshoot*. Pengambilan data antara *cascade control* dan *single control* dilakukan dengan nilai Kc, Ti dan Td yang sama.

Kata Kunci: kendali temperatur, kendali PID bertingkat, *maximum overshoot*

ABSTRACT

Temperature is one of the variable hat usually being controlled in industrial process system. Several example of temperature control are boiler and HVAC system . These system are being use in several industries in Batam. This is one of the reason why this research needs to be carried on. The main goal of this research is to fabricate a laboratory practicum kit for temperature control With this kit student are expected to learn how to control temperature using heater and cascade PID methodology. One of the problem that this research explore is how to overcome large fluctuation on process variable. This problem can be seen from the value of maximum overshoot in system response curve. After the kit is fabricated comparison were made on maximum overshoot value from single PID control and cascade control . The result are by using single control there is a 3 degree celcius of maximum overshoot while by using cascade control there is no maximum overshoot formed. This test were done under the same value of Kc, Ti and Td.

Keywords: Temperature control , Cascade PID Control, Maximum Overshoot

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 17 November 2025

Revised: 31 December 2025

Accepted: 31 December 2025

Available online:
31 December 2025

Keywords:

Temperature Control
Cascade PID Control
Maksimum Overshoot
Key
Words

1. Pendahuluan

Temperatur adalah salah satu variabel yang perlu dikendalikan pada sistem industri proses. Beberapa contoh pengendalian temperatur adalah pada sistem boiler dan HVAC yang digunakan pada beberapa industri di Batam. Oleh karena terdapat kebutuhan dari industri, maka pada penelitian ini

Dika Wisnu Saputra: Rancang Bangun Kit Praktikum ...

dilakukan. Pada penelitian ini kit praktikum pengendalian temperatur fluida dirakit untuk digunakan pada laboratorium program studi instrumentasi sebagai alat praktikum. Selain membuat kit praktikum penelitian ini juga mencoba untuk mengatasi salah satu permasalahan pada pengendalian temperatur yaitu sering terjadinya fluktuasi yang tinggi pada proses variabel. Gangguan tersebut timbul ketika proses cairan masuk kedalam tabung, pemanas aktif dan air keluar dari tabung.

Sistem kendali merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengendalikan, memerintahkan, dan mengatur suatu sistem, salah satu jenis sistem kendali adalah kendali bertingkat (*cascade*). Kontrol bertingkat adalah sistem kontrol yang memiliki 2 atau lebih sistem kontrol, yaitu kontrol primer dan kontrol sekunder.

Beberapa penelitian sudah membahas mengenai kendali PID bertingkat. Salah satu penelitian ini membahas mengenai kontrol PID bertingkat pada elemen pemanas. Sistem ini memiliki karakteristik respon transien yang lama dan berfluktuasi jika terjadi perubahan set point [1]. Penelitian selanjutnya menggunakan pemodelan matematis MATLAB dengan sistem elemen pemanas untuk mengontrol temperatur fluida dalam sebuah tangki yang menggunakan pengaduk. Hasil dari simulasi juga memperlihatkan jika fluktuasi dari variabel proses dapat dikurangi dengan menggunakan kontrol bertingkat (*cascade*) [2]. Penelitian untuk mengontrol temperatur pada wadah *portable* menggunakan elemen pemanas *peltier* juga sudah dilakukan. Pada penelitian ini digunakan arduino uno sebagai pengontrol sistem, tetapi tidak digunakan kontrol PID sama sekali [3]. Penelitian berikutnya dilakukan menggunakan sensor temperatur LM35 dan *relay*. Pada penelitian ini luaran PWM yang sudah dijumlahkan dengan luaran PID digunakan untuk mengontrol tegangan AC pada pemanas. Pada selang waktu yang tepat tegangan AC akan diputus ketika temperatur sudah sesuai dengan *set point*. Hasilnya adalah proses variabel yang tidak memiliki *overshoot* dengan nilai $K_p=600$, $K_i=0.007$, dan $K_d=0.6$ [4]. Penelitian kendali temperatur PID bertingkat juga dilakukan pada *heat exchanger*. Pada penelitian ini proses variabel adalah temperatur air dingin, sementara servo valve pada aliran air panas berfungsi sebagai aktuator. Sistem PID bertingkat pada penelitian ini tersusun dari loop luar merupakan kendali temperature sementara loop dalam merupakan kendali aliran air. Hasilnya diperoleh kendali yang lebih baik jika loop dalam menggunakan kendali PI sementara loop luar menggunakan kendali PID [5]. Penelitian lain mengenai kendali temperatur PID bertingkat juga dilakukan pada sistem *boiler*. Pada penelitian ini kendali temperatur PID bertingkat ditambahkan *anti-integral saturation function*. Sistem ini digunakan untuk mencegah saturasi pada valve yang mengatur luaran temperatur *superheated steam* [6].

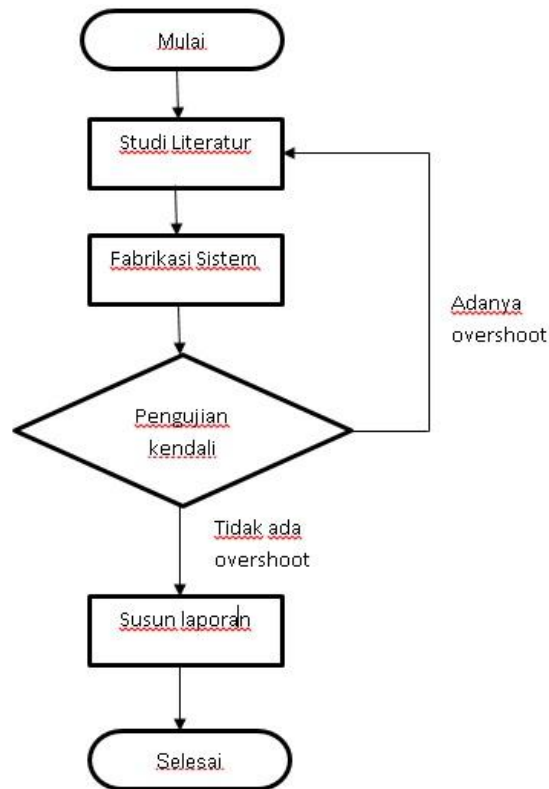
Pada penelitian ini diterapkan sistem kendali PID bertingkat (*cascade*) pada elemen pemanas. Sesuai dengan gambar 1 proses *inner loop* yang dideteksi sensor 2 adalah temperatur pada elemen pemanas, sedangkan proses *outer loop* yang dideteksi oleh sensor 1 adalah temperatur pada air. Aktuator pada sistem ini adalah pemanas yang dikontrol tegangannya. Sementara pompa air dijalankan terus menerus.

2. Metoda Penelitian

Sistem pengatur temperatur fluida (air) yang mengalir dalam sebuah tabung dengan volume 20 cm x 15 cm x 10 cm dan diukur menggunakan sensor suhu DS18B20. Sementara elemen pemanas air berfungsi sebagai aktuator. Semua sistem ini dihubungkan ke arduino dan tampilan antarmukanya di desain menggunakan Labview.

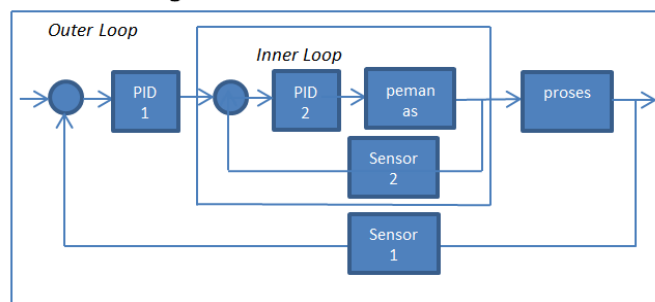
Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan dalam diagram alir pada gambar 1. Dimulai dari studi literature sampai pada pengujian kurva respon sistem.

Pada sistem bertingkat ini, digunakan 2 buah sensor suhu DS18B20. Sensor pertama diletakkan pada elemen pemanas sementara sensor kedua diletakkan pada lubang tempat air keluar dari tangki. Fungsi sensor yang terletak pada keluaran tangki adalah untuk mengetahui kondisi suhu di dalam tangki yang kemudian data digunakan sebagai indikator kontrol PID 1 (*outer loop*). Kemudian output dari PID satu digunakan sebagai *set point* PID dua. Sebagai umpan balik dari digunakan data dari sensor dua.



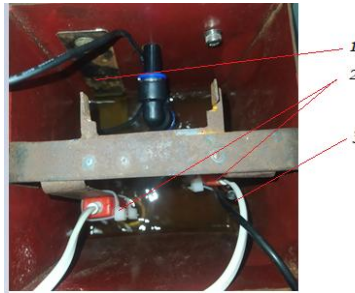
Gambar 1. Langkah Pengerjaan Penelitian

Keluaran dari PID dua ini adalah angka mulai dari 0 sampai 255. Data ini dikirim ke mikrokontroler arduino yang kemudian digunakan sebagai sinyal PWM untuk mengatur tegangan dari pemanas. Untuk mengatur tegangan pemanas ini dilakukan dengan memotong sinyal AC dari pemanas pada waktu yang tepat menggunakan zero crossing detector dan PWM yang frekuensinya sama dengan frekuensi sumber tegangan AC. Diagram blok dari sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.

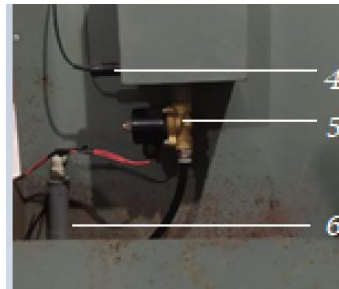


Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Desain mekaniks dari kit ini dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4. Dengan keterangan sebagai berikut : (1) pompa penganduk air, (2) elemen pemanas, (3) sensor suhu 2, (4) sensor suhu 1, (5) valve, (6) pompa air.



Gambar 3. Desain Mekanis Tampak Atas



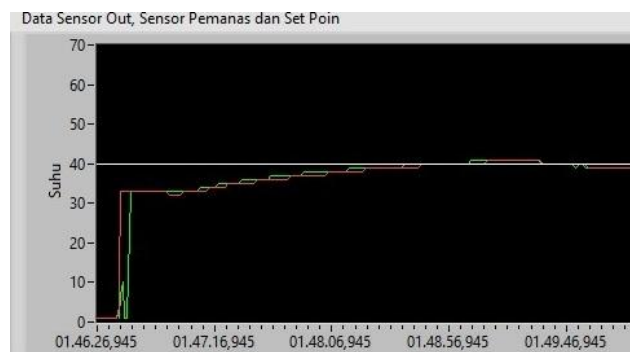
Gambar 4. Desain Mekanis Tampak Bawah

Untuk tuning PID digunakan metoda *trial and error*. Sehingga diperoleh nilai data terbaik untuk kendali PID1 adalah $K_c = 1000$, $T_i = 0.001$, dan $T_d = 50$. Sementara untuk kendali PID2 nilai yang digunakan adalah $K_c = 1000$, $T_i = 0.001$, dan $T_d = 50$. Nilai parameter PID ini digunakan kontrol PID tunggal dan bertingkat.

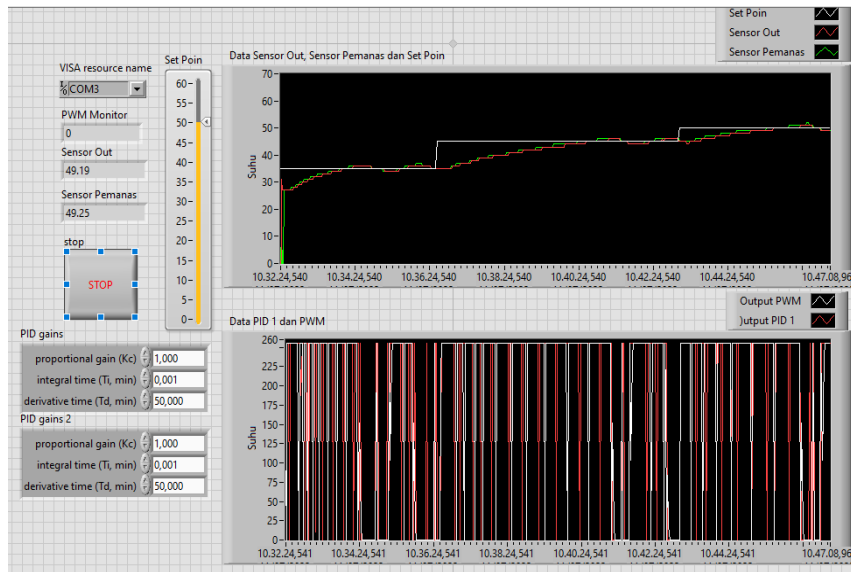
Percobaan dilakukan pertama-tama menggunakan satu *set point* tetap yang dijalankan pada sistem PID tunggal dan PID bertingkat. Kemudian *set point* diubah secara bertingkat pada sistem PID bertingkat. Hasil dari kurva respon sistem kemudian dibandingkan untuk melihat nilai *maximum overshoot* yang terbaik.

3. Hasil dan diskusi

Grafik luaran dari sistem untuk sistem kendali PID bertingkat dapat dilihat pada gambar 5 dan 6. Dapat dilihat bahwa sistem ini tidak memiliki *overshoot* dan dapat mencapai kondisi *steady state*. Gambar 5 adalah hasil pengujian sistem untuk satu *set point* yaitu di 40°C . Sementara gambar 6 adalah hasil pengujian sistem untuk *set point* yang berubah-ubah. Percobaan awal dilakukan dengan memberikan *set point* 35°C dengan suhu awal $28,3^{\circ}\text{C}$, kemudian setelah percobaan berjalan selama kurang lebih 2,5 menit *set point* diubah menjadi 45°C dan setelah sekitar 9,5 menit berjalan, setpoint diubah menjadi 50°C .



Gambar 5. Respon sistem PID Bertingkat untuk 1 *Set Point*



Gambar 6. Respon Sistem PID dan PWM untuk *Set Point* Berubah-ubah

Dari data percobaan kontrol tunggal yang terdapat pada gambar 7. Penggunaan sistem kontrol tunggal menunjukkan terjadinya overshoot sebesar 3°C jika dibandingkan dengan kontrol cascade.



Gambar 7. Hasil Percobaan Sistem PID Tunggal

Dari data percobaan sensor temperatur yang telah didapatkan menunjukkan bahwa temperatur di dalam tangki naik sangat lambat dalam proses menuju temperatur *set point*. Hal ini disebabkan oleh daya pompa air yang terlalu besar atau debit air yang terlalu deras. Sehingga kit sebaiknya digunakan dengan mempertimbangkan jumlah debit air yang keluar selain temperatur pada pemanas.

Untuk membantu agar pemanas dapat berfungsi lebih baik dapat juga digunakan modul PWM Controller BTS7960 seperti yang telah dilakukan pada penelitian oleh Vatia (2023) [7]. Salah satu faktor lainnya adalah masalah pada sensor yang digunakan. Sensor DS18B20 adalah sensor yang harus menggunakan library khusus pada Arduino IDE. Pada library tersebut update data suhu terlalu lambat atau terdapat delay yang tidak dapat diatur. Sehingga proses PID tidak berjalan dengan optimal. Dari penelitian sebelumnya diperoleh bahwa konstanta waktu untuk deteksi kenaikan suhu adalah 6.2 detik sementara utk penurunan suhu adalah 6.9 detik [8]. Sehingga dibutuhkan sensor yang memiliki konstanta waktu lebih rendah dari ini agar kendali PID bisa berjalan dengan optimal.

Dari percobaan kendali PID bertingkat dan kendali PID tunggal diperoleh data yang lebih baik jika menggunakan kendali PID bertingkat jika dilihat dari faktor *maximum overshoot*. Hal ini dikarenakan

fungsi pada PID 2 adalah untuk melindungi atau memberikan instruksi kepada *heater* dengan cepat saat temperatur kurang atau melebihi *set point*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Perbandingan data antara kendali PID bertingkat dan kendali PID tunggal menunjukkan kendali PID bertingkat lebih unggul daripada kendali PID tunggal. Hal ini dapat dilihat dari hilangnya *overshoot* dan berkurangnya fluktuasi pada hasil luaran kendali PID bertingkat meskipun terjadi perubahan *set point*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya [1][2][9][10].
2. Kit praktikum kontrol temperatur yang dirancang sudah dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan laboratorium prodi instrumentasi.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah berkontribusi pada penelitian ini:

1. ALLAH SUBHANAHU WA TA'ALA.
2. Kedua orang tua dan seluruh keluarga atas jasa, bimbingan, nasihat, dan doa.
3. Bapak Aditya Gautama Darmoyono, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing 1 yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk dapat membimbing penulis selama proses pembuatan proyek akhir maupun laporan proyek akhir ini.
4. Bapak Senanjung Prayoga, S. Pd., M.T., sebagai dosen pembimbing 2 yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk dapat membimbing penulis selama proses pembuatan proyek akhir maupun laporan proyek akhir ini.
5. Bapak Kamarudin, ST., MT., IPM, sebagai kepala program studi teknik instrumentasi.
6. Bapak Ridwan, S.ST., M.Tr.T., sebagai dosen wali yang telah banyak membantu selama proses perkuliahan.
7. Seluruh staf pengajar di Politeknik Negeri Batam yang telah memberikan ilmu, masukan, dan bimbingan kepada penulis.
8. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Politeknik Negeri Batam, khususnya Jurusan Teknik Instrumentasi yang telah memberikan saran, dukungan dan masukan kepada penulis.
9. Dan kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu penulis selama ini.

Daftar Pustaka

- [1] Yuliyanto Agung Prabowo, Hasbi Ashidiqi, Fathammubina, and Akhmad Fahrudi, "The Implementation of Cascade Control Strategy for Liquid Temperature Control on Three Tank Systems using PID Controller," *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, vol. 6, no. 1, pp. 1–14, Jun. 2022, doi: 10.37339/e-komtek.v6i1.893.
- [2] Q. A. Mahmood and A. T. Nawaf, "Performance analysis of continuous stirred tank heater by using PID-cascade controller," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 2545–2552. doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.577.
- [3] M. K. Fadzly, S. N. Aqilah, Farizuan, T. Amarul, and A. R. Irfan, "Portable Water Cooler with Water Heater Using Thermoelectric and Arduino Uno and Powered Using Power Bank," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Jul. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/864/1/012216.

- [4] I. Parmadi Putra, I. W. Arta Wijaya, and I. Budiastara, "PERANCANGAN SISTEM PEMANAS AIR MENGGUNAKAN SISTEM KENDALI PID," *Spektrum*, vol. 7, no. 1, 2020, doi: <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i01.p17>.
- [5] H. A. Azizah, A. Surya Wardhana, and C. N. Hamdani, "Pengujian Sistem Pengendalian Temperatur pada Prototipe Heat exchanger Berbasis PID," *Jurnal Otomasi, Kontrol & Instrumentasi*, vol. 13, no. 2, 2021.
- [6] Z. Sun, C. Liu, M. Li, J. Zhao, and Y. Xu, "Application of anti integral saturation cascade PID control algorithm in superheated steam temperature control," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Nov. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/2087/1/012038.
- [7] V. F. Rahmadini, A. Ma'arif, and N. S. Abu, "Design of Water Heater Temperature Control System using PID Control," *Control Systems and Optimization Letters*, vol. 1, no. 2, pp. 111–117, Aug. 2023, doi: 10.59247/csol.v1i2.41.
- [8] J. E. M. P. Martins, "Physical Analysis of a Waterproof Temperature Sensor Responsiveness for Agricultural Applications," *Journal of Agricultural Informatics*, vol. 13, no. 2, Jan. 2023, doi: 10.17700/jai.2022.13.2.623.
- [9] L. A. Makarim, F. Ariefka, S. Putra, and G. Verian Pratama, "Rancang Bangun Miniatur Hvac Berbasis Pid Cascade Menggunakan Mikroprosesor," in *Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2025.
- [10] D. Aristoni, M. Rizky Pradana, R. H. Triyanto, U. Yuliatin, and S. H. Budi, "Cascade flow rate-temperature control system design based on PID controller using direct synthesis tuning method," *Jurnal Polimesin*, vol. 22, no. 6, 2024, [Online]. Available: <http://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin>