

Studi Perbandingan Daya dan Konsumsi Energi Dispenser: Kontrol PID vs. Kontrol Termostat

Ferdinand Kristantyo Nugroho^{*1}, Tri Wahyu Supardi²

¹Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia

²Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia

e-mail: ^{*1}ferdinand@mail.ugm.ac.id, ²twsupardi@ugm.ac.id

Abstrak

Produksi energi listrik masih mengandalkan bahan bakar fosil yang menyisakan emisi gas rumah kaca dan menyebabkan pemanasan global. Dari isu tersebut diperlukan penggunaan energi listrik yang lebih efisien dan efektif agar dapat meminimalkan emisi gas rumah kaca. Di sisi lain, energi listrik masih menjadi kebutuhan sehari-hari, salah satunya untuk menyalakan dispenser air panas. Selain itu, dispenser kontrol on-off termostat menggunakan daya maksimal yang dapat menyebabkan 'jeglek' pada rumah tangga dengan kapasitas listrik rendah. Akan lebih baik jika dispenser tidak menggunakan daya maksimal untuk mempertahankan suhunya ketika sedang stand-by. Dari permasalahan tersebut, diperlukan solusi untuk mengurangi lonjakan daya dan menekan konsumsi energi listrik pada dispenser.

Penelitian ini menerapkan kontrol PID pada dispenser air panas untuk mendapatkan informasi mengenai daya dan konsumsi energinya. Dengan penalaan Ziegler-Nichols metode pertama, didapatkan besaran masing-masing $K_p=15,0261$, $K_i=0,1633$, dan $K_d=345,6$. Akuisisi data suhu, daya, dan energi dilakukan pada dispenser on-off dengan termostat 80°C dan 93°C , dan pada dispenser PID dengan setpoint 80°C dan 93°C . Hasil dari penelitian ini menunjukkan dispenser PID menggunakan daya 30% dari daya maksimal, tetapi total energi yang digunakan menjadi lebih besar 17Wh hingga 57Wh karena mempertahankan suhu tetap dekat dengan setpoint.

Kata kunci—daya, konsumsi energi, dispenser air panas, kontrol PID

Abstract

The production of electrical energy still relies on fossil fuels which produce greenhouse gas emissions and cause global warming. This issue requires a more efficient and effective use of electrical energy. On the other hand, electricity remains an essential daily need, such as for powering hot water dispensers. However, traditional on-off dispensers operate at maximum power, leading to potential household disruptions. It would be more beneficial if dispensers did not use maximum power while maintaining their temperature during standby. This research aims to propose a solution to reduce power usage and suppress electricity consumption in dispensers.

This study implements PID control in a hot water dispenser to gather information on its power and energy consumption. Using the Ziegler-Nichols method, tuning parameters were determined as follows: $K_p=15.0261$, $K_i=0.1633$, and $K_d=345.6$. Data acquisition for temperature, power, and energy was conducted on the on-off thermostatic dispensers set at 80°C and 93°C , as well as on PID-controlled dispensers with setpoints at 80°C and 93°C . The results indicate that the PID-controlled dispenser uses only 30% of the maximum power, although the total energy consumption increases by 17Wh to 57Wh due to the need to maintain the temperature close to the setpoint.

Keywords—power, energy consumption, hot water dispenser, PID control

1. PENDAHULUAN

Energi listrik adalah energi yang tersimpan dalam arus listrik dengan satuan ampere (A) dan tegangan listrik dalam satuan volt (V) dengan ketentuan kebutuhan daya listrik dengan satuan Watt (W). Energi listrik umumnya dihasilkan dengan memutar generator yang digerakan menggunakan sumber energi lain, salah satunya adalah pembakaran bahan bakar [1]. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, lebih dari 80% energi listrik dihasilkan dari bahan bakar fosil pada tahun 2007. Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari produksi listrik bertenaga fosil turut serta menjadi penyebab pemanasan global yang terjadi. Dari isu tersebut, diperlukan untuk menggunakan energi listrik yang lebih efisien dan efektif agar dapat meminimalkan emisi gas rumah kaca. Di sisi lain, energi listrik tetap dibutuhkan pada kehidupan sehari-hari diantaranya adalah untuk menghidupkan dispenser air panas.

Dispenser air panas adalah alat untuk memanaskan air yang suhunya dikontrol oleh termostat. Termostat mengontrol suhu air dengan memutus listrik Ketika suhu air sudah panas, dan akan menyambung kembali ketika suhu air sudah turun. Kondisi on-off ini akan terus berlangsung Ketika dispenser masih diaktifkan. Kontrol secara on-off dengan thermostat menimbulkan lonjakan daya listrik sebesar saat dispenser beralis ke mode on. Lonjakan daya listrik berpotensi menyebabkan *miniature circuit breaker* (MCB) memutus aliran listrik pada rumah ketika pemakaian listrik rumah melebihi kapasitasnya. Dari permasalahan ini akan lebih baik jika dispenser tidak menggunakan daya maksimal hanya untuk mempertahankan suhu tetap panas. Maka diperlukan solusi untuk mengurangi lonjakan daya listrik dan menekan energi listrik pada dispenser, diantanya adalah desain kontroler untuk mengatasi hal tersebut.

Penelitian terkait kontroler yang berhubungan dengan permasalahan di atas pernah dilakukan pada objek kulkas [2]. Peneliti berupaya mengatasi perbedaan suhu karena dikontrol secara on-off dengan thermostat. Selain itu daya listrik pada saat menyalakan kompresor melonjak 4 sampai 10 kali lebih besar daripada saat kompresor sedang berjalan. Maka dari itu peneliti menggantikan kontrol thermostat dengan kontrol PID. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah suhu kulkas dapat menurunkan suhu sesuai target dan stabil dengan *error* 0°C hingga 0,44°C, dan lonjakan daya listrik yang berkurang sebesar 30% saat dalam kondisi *steady-state*.

Implementasi kontrol PID sendiri pernah dilakukan dalam sebuah penelitian [3] yang berfokus untuk menyelesaikan masalah pada dispenser control on-off thermostat yang tidak dapat menjaga kestabilan suhu pada kondisi *standby*. Kontrol PID dilakukan dengan menerapkan penalaan metode Ziegler-Nichols. Selain itu, dispenser juga menambahkan katup pada tangka dan instrumen pengukur volume air untuk mengontrol volume air yang dipanaskan. Penelitian ini menghasilkan sistem dispenser dengan PID dapat menjaga suhu air tetap stabil berkisar 92,31°C hingga 92,52°C dengan besaran $K_p = 7,1022$; $K_i = 1,3738$; $K_d = 0,3434$.

Desain kontroler berpotensi menjadi solusi untuk mengurangi lonjakan daya dan konsumsi energi listrik dari dispenser. Maka dari itu perlu dilakukan analisa perbandingan lonjakan daya dan besarnya konsumsi energi listrik, antara dispenser air panas yang menggunakan kontrol on-off thermostat dengan dispenser yang menggunakan kontrol PID, untuk menekan lonjakan daya dan konsumsi energi dispenser air panas.

Penelitian ini akan dilakukan pada dispenser dari Miyako dengan tipe WD-19 EX dan terbatas pada satu jenis dispenser saja. Dispenser ini memiliki kontrol bawaan berupa on-off thermostat dan akan dimodifikasi dengan kontrol PID untuk menggantikan kontroler bawaan

dispenser Miyako WD-19 EX. Modifikasi yang dilakukan terbatas pada kontrolernya, sehingga tidak dilakukan modifikasi pada bagian lain dari dispenser ini.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan informasi mengenai lonjakan daya dan konsumsi energi antara dispenser kontrol PID dengan dispenser kontrol on-off thermostat, sehingga dapat ditentukan kontroler mana yang dapat meminimalkan lonjakan daya dan penggunaan energi listrik yang lebih efisien. Dengan penelitian ini, diharapkan dapat meminimalkan emisi gas rumah kaca akibat lonjakan daya dan konsumsi energi listrik. Apabila hasil yang didapat dari penelitian ini pada akhirnya bukan solusi terbaik, diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut.

Penelitian lain memuat informasi mengenai perbandingan kontrol PID dengan kontrol on-off [4]. Dirancang sebuah kotak pendingin menggunakan *thermoelectric* untuk menggantikan penggunaan es batu pada kotak pendingin yang digunakan oleh nelayan. Kontrol pendinginan dilakukan dengan mengendalikan kipas yang mendinginkan sisi panas peltier, dan menggunakan metode on-off dan PID. Hasil akhir dari perbandingan antara kontrol PID dan kontrol on-off, kontrol PID lebih lambat dalam mencapai suhu target, tetapi dapat menjaga suhu target tetap stabil dan mengkonsumsi daya sekitar 2,7 Watt lebih rendah dibandingkan kontrol on-off.

Sebuah penelitian untuk menghemat energi listrik dilakukan dengan menyimulasikan kontrol suhu dan kelembapan suatu ruangan menggunakan sebuah kotak akrilik dan kipas pendingin CPU [5]. Kontrol dilakukan dengan PID dan kalang tertutup tanpa PID. Variasi pengambilan data terdiri dari 2 kondisi yaitu data suhu dengan kelembapan yang terjaga, serta data kelembapan dengan suhu yang terjaga. Hasil yang didapat sistem dengan PID mengkonsumsi energi lebih sedikit dibandingkan dengan yang tanpa PID.

Dalam penelitian lain, kontrol PID pada dispenser diberikan instrumen masukan berupa *keypad* agar pengguna dapat menentukan target suhu air [6]. Penalaan menggunakan metode Ziegler-Nichols, ditambah peneliti memvariasikan K_p , T_i , dan T_d jika waktu pencuplikan 1 detik dan 5 detik. Hasil yang didapatkan sistem berhasil mencapai target suhu 60°C, tetapi dengan *rise time*, *overshoot*, dan *settling time* yang berbeda setiap variasi percobaan.

Adapun macam-macam penalaan kontrol PID pada elemen pemanas air dengan target suhu 90°C [7]. Penelitian ini mengambil berbagai macam data, dan membandingkannya berdasarkan *rise time*, *settling time*, dan *overshoot* yang dihasilkan. Metode Cohen-Coon lebih baik daripada metode Ziegler-Nichols karena lebih cepat mencapai *setpoint*. Dari metode Cohen-Coon, dibandingkan kontrol tipe P, PI, PD, dan PID, menghasilkan tipe P yang terbaik. Kemudian nilai P diubah dengan nilai sekitarnya dan didapat nilai $P=118,4$ yang terbaik. Terakhir peneliti membandingkan antara sistem dengan kontrol PID dan hanya kalang tertutup tanpa PID, menghasilkan kendali tanpa PID bekerja lebih baik daripada kendali dengan PID.

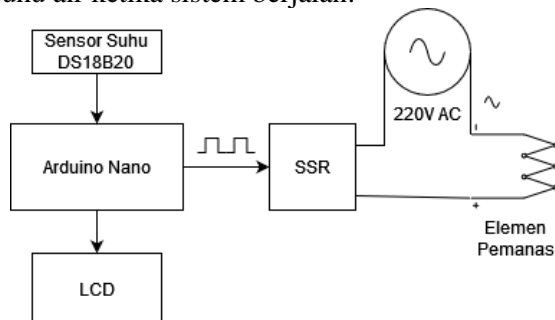
2. METODE PENELITIAN

2.1 Rancangan Sistem

Penelitian ini akan mencatat lonjakan daya dan konsumsi energi antara dispenser kontrol PID dengan dispenser kontrol on-off thermostat. Dispenser yang akan digunakan adalah satu dispenser yang sama. Maka dari itu, diperlukan rancangan kontrol PID untuk menggantikan thermostat sebagai kontroler suhu dispenser dan menjadikan dispenser dengan pengontrol suhu PID. Selain itu, diperlukan rancangan alat monitor agar dispenser dengan kontrol on-off dapat menampilkan data suhu untuk dicatat.

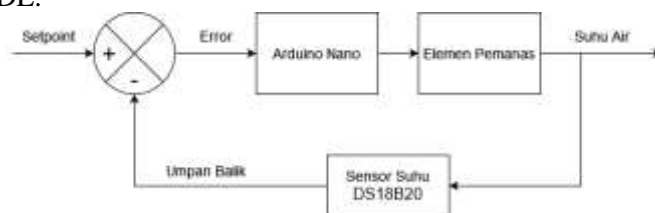
2.1.1 Rancangan Modifikasi Dispenser PID

Gambar 1 menunjukkan rancangan perangkat keras untuk dispenser kontrol PID. Sensor suhu yang akan digunakan adalah DS18B20 sebagai instrumen untuk memberikan umpan balik sistem kontrol PID. Mikrokontroler Arduino Nano akan digunakan sebagai alat proses data input dari sensor suhu dan memberikan sinyal output yang mengontrol elemen pemanas. Sebuah *driver* berupa SSR atau *Solid State Relay* diperlukan sebagai saklar untuk mengendalikan elemen pemanas dari sinyal output mikrokontroler. Ditambahkan alat penampil berupa LCD 16x2 untuk menunjukkan informasi suhu air ketika sistem berjalan.



Gambar 1 Rancangan perangkat keras untuk dispenser kontrol PID

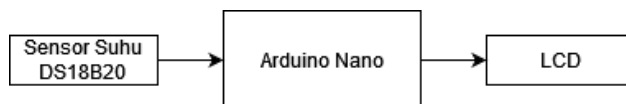
Sistem kontrol PID yang akan berjalan digambarkan pada diagram alur sistem pada **Gambar 2**. Dari diagram tersebut Arduino Nano atau mikrokontroler mengendalikan elemen pemanas berdasarkan *setpoint* yang ditentukan dan dibandingkan dengan pembacaan sensor suhu DS18B20 sebagai umpan balik. Diagram alur sistem ini yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam pemrograman pada mikrokontroler Arduino Nano. Pemrograman akan menggunakan *software* Arduino IDE.



Gambar 2 Diagram alur kontrol PID

2.1.2 Rancangan Alat Monitor Suhu

Dispenser kontrol on-off dengan termostat tidak memiliki instrumen yang dapat melakukan pengukuran suhu dan menampilkannya secara *real-time*. Maka dari itu, diperlukan alat monitor suhu untuk dipasangkan pada dispenser on-off. Alat monitor suhu dirancang menggunakan sensor suhu DS18B20. Alat pemroses data menggunakan mikrokontroler Arduino Nano. Dan alat penampil menggunakan LCD 16X2. Rancangan alat monitor suhu dapat dilihat pada **Gambar 3**.



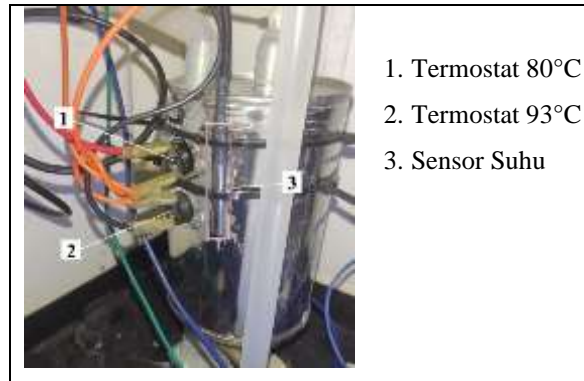
Gambar 3 Rancangan alat monitor suhu dispenser kontrol on-off

2.2 Implementasi

Dispenser yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk dari Miyako dengan tipe WD-19 EX. Dispenser ini menarik daya maksimal sekitar 350 Watt jika dipasangkan pada sumber listrik 220 volt. Kondisi bawaan pabrik dari dispenser ini menggunakan termostat untuk mengontrol suhunya. Terdapat 2 mode suhu dengan 2 termostat yaitu 80°C dan 93°C. Sesuai dengan rancangan, dispenser ini akan dimodifikasi untuk dua keperluan yaitu mencatat data suhu dispenser kontrol on-off dan implementasi kontrol PID untuk dispenser.

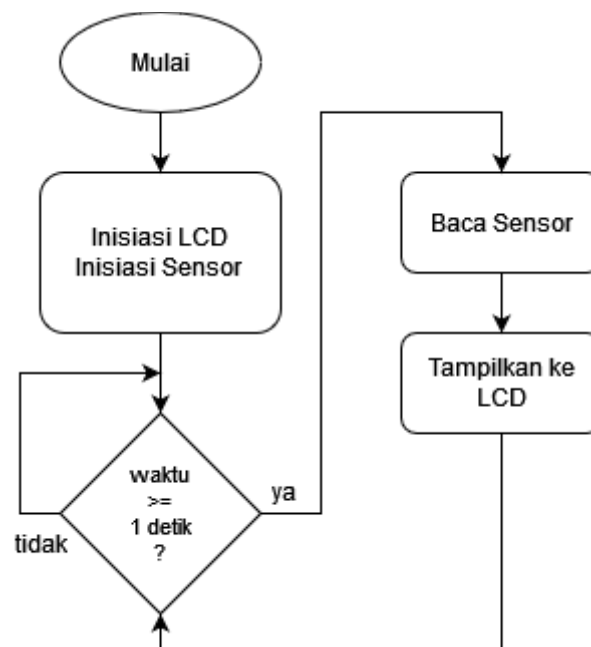
2.2.1 Implementasi Alat Monitor Dispenser On-Off

Implementasi dilakukan setelah merancang alat monitor suhu dispenser on-off, yang meliputi peletakan sensor pada tangki pemanas, peletakan arduino pada dispenser, dan pemasangan LCD pada dispenser. Sensor suhu diletakan pada tangki pemanas seperti pada **Gambar 4**. Sensor suhu diletakan dekat dengan posisi bawaan termostat dengan harapan suhu yang diterima oleh termostat dan sensor suhu tidak jauh berbeda. Hasil pembacaan sensor suhu akan ditampilkan pada LCD yang dipasang pada badan dispenser.



Gambar 4 Peletakan sensor suhu pada tangki pemanas

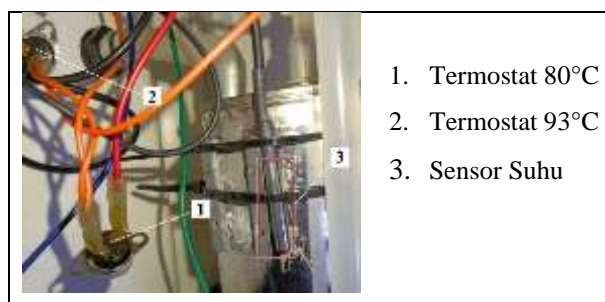
Arduino Nano digunakan sebagai pemroses data untuk perangkat monitor data suhu dispenser on-off bersama dengan sensor suhu dan LCD sebagai alat penampil. Aliran pemrograman yang dirancang untuk memonitor suhu diperlihatkan pada **Gambar 5**. Program diawali dengan menginisiasi LCD dan sensor, kemudian melakukan percabangan waktu yang ditempuh lebih dari sama dengan 1 detik sebelum melakukan pembacaan sensor dan menampilkannya pada LCD. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar interval pengulangan program berjalan tepat 1 detik.



Gambar 5 Diagram alir pemrograman monior suhu

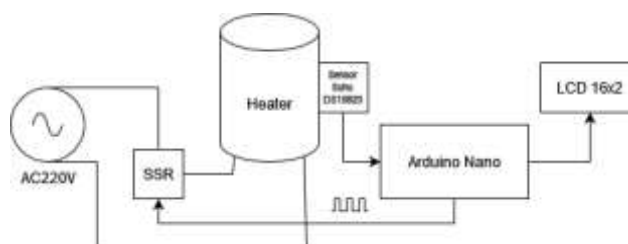
2.2.2 Implementasi Kontrol PID

Implementasi kontrol PID pada dispenser meliputi melepas termostat dari posisinya, mengubah jalur kabel untuk SSR, penalaan besaran K_p , K_i , dan K_d , dan pemrograman. Dispenser PID tidak menggunakan termostat, melainkan dikendalikan oleh mikrokontroler yang mengatur sinyal PWM kepada SSR. Modifikasi dilakukan dengan melepas dan memisahkan termostat dari tabung pemanas seperti pada **Gambar 6**, tetapi tidak mengubah jalur kabel dispenser sehingga termostat tidak akan memutus listrik ke elemen pemanas meskipun aliran listrik tetap melalui termostat.



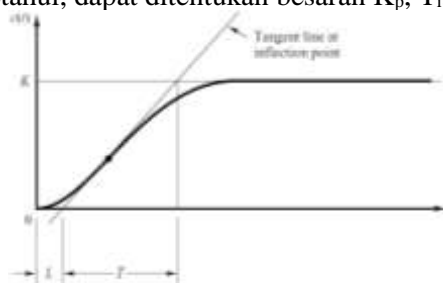
Gambar 6 Termostat dilepas dari tangki pemanas

Instalasi SSR pada dispenser dilakukan dengan melepaskan salah satu kabel elemen panas, kemudian SSR dipasangkan pada jalur kabel antara kutub elemen pemanas dan sumber listrik. Diagram rangkaian dispenser yang telah dimodifikasi dengan kontrol PID ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7 Diagram blok rangkaian dispenser PID

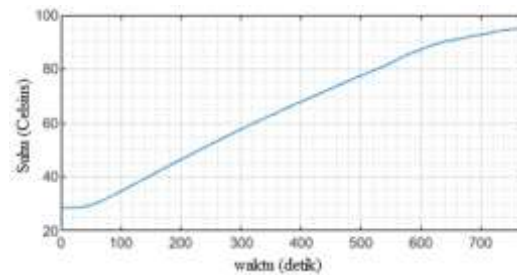
Pada penelitian ini penalaan PID menggunakan metode Ziegler-Nichols I. Metode ini dilakukan dengan cara menggambar *tangent line* pada *inflection point* pada kurva berbentuk S serta memperhatikan *tangent line* yang bersinggungan garis K pada **Gambar 8**. Dari kurva yang berbentuk S ini, dimungkinkan untuk menentukan *delay time* (L) dan *time constant* (T). Dengan nilai L dan T yang telah diketahui, dapat ditentukan besaran K_p , T_i , dan T_d [8].



Gambar 8 Kurva respon sistem berbentuk S

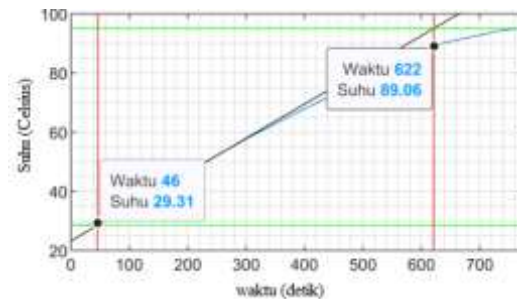
Untuk melakukan penalaan pada sistem ini, diperlukan sampel respon sistem dari dispenser yang telah dikontrol melalui SSR. Sampel respon dari sistem dispenser diambil dengan cara memberikan output PWM secara maksimal ke SSR dan merekam kenaikan suhu air seiring waktu. Perekaman data suhu menggunakan bantuan PLX-DAQ yang akan secara otomatis

mencatat data. Hasil perekaman data diolah menggunakan MATLAB untuk membentuk plot seperti pada **Gambar 9**.



Gambar 9 Grafik sampel respon sistem dispenser

Setelah grafik respon sistem dapat terbentuk, langkah selanjutnya adalah menggambar garis yang secara relatif memotong pada titik pada saat grafik mulai berbalik (*inflection point*). Garis tersebut disinggung dengan garis lurus titik nol atau suhu awal sampel untuk menentukan L, dan titik akhir atau suhu tertinggi sampel untuk menentukan T. Grafik beserta garis yang telah digambar akan terbentuk seperti pada **Gambar 10** dan menunjukkan L adalah 46 detik dan T adalah 576 detik.



Gambar 10 Penggambaran *tangent line at inflection point*

Dalam aturan penalaan Ziegler-Nichols bentuk dari sebuah *plant* yang dikontrol dengan PID adalah dengan **Persamaan 1**[8]:

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

Dengan acuan tabel formula penalaan Ziegler-Nichols metode pertama[8], maka besar K_p adalah seperti pada **Persamaan 2**, besar T_i pada **Persamaan 3**, dan besar T_d seperti pada **Persamaan 4**.

$$K_p = 1,2 \frac{576}{46} = 15,0261 \quad (2)$$

$$T_i = 2 * 46 = 92 \quad (3)$$

$$T_d = 0,5 * 46 = 23 \quad (4)$$

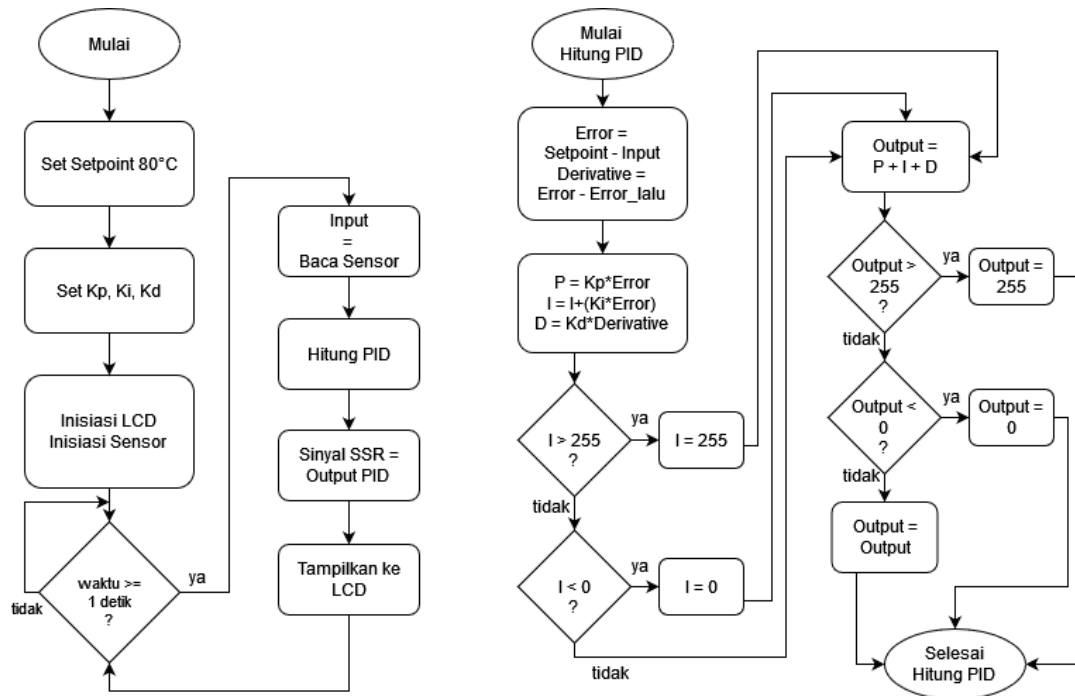
Jika disejajarkan dengan **Persamaan 1**, besar K_i adalah seperti pada **Persamaan 5** dan K_d adalah seperti pada **Persamaan 6**.

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{15,0261}{92} = 0,1633 \quad (5)$$

$$K_d = K_p * T_d = 15,0261 * 23 = 345,6 \quad (6)$$

Setelah modifikasi dan penalaan PID, pemrograman dilakukan untuk menjalankan kontrol PID dengan diagram alir seperti pada **Gambar 11**. Program diawali dengan menentukan *setpoint*, menentukan K_p , K_i , dan K_d , dan menginisiasi LCD dan sensor. Besaran K_p , K_i , dan K_d yang digunakan sesuai dengan hasil penalaan yang telah dilakukan. Setelah percabangan interval, program membaca sensor suhu dan disimpan sebagai *Input*. Besaran input nantinya digunakan dalam penghitungan PID. Hasil dari penghitungan PID akan digunakan sebagai besaran untuk memberikan sinyal kepada SSR. Akhir dari program adalah menampilkan *setpoint*, waktu, dan suhu yang terbaca agar dapat dicatat.

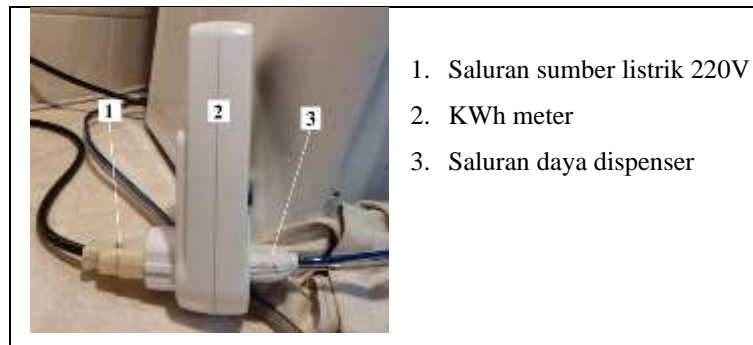
Proses penghitungan PID diawali dengan menentukan *error* yang didapat dari mengurangi *setpoint* dengan input dan *derivative* yang didapat dari mengurangi *error* dengan *error* pada iterasi sebelumnya. Besar nilai P adalah K_p dikalikan *error*. Besar nilai I adalah menjumlahkan I dengan K_i yang dikalikan *error*. Besar nilai D adalah K_d dikalikan dengan *derivative*. Sebelum menjumlahkan P, I, dan D, program membatasi besar hasil nilai I pada rentang 0-255. Nilai I adalah penjumlahan dengan dirinya sendiri, dengan kata lain nilai I akan bertambah terus-menerus seiring waktu jika nilai *error* masih lebih dari 0. Dari hal tersebut program ini membatasi nilai I pada rentang 0-255 agar total nilai I tidak terlalu besar. Hasil penjumlahan P, I, dan D disimpan sebagai *Output* yang nilainya juga dibatasi pada rentang 0-255 yang merupakan rentang keluaran PWM pada Arduino Nano.



Gambar 11 Diagram alir pemrograman kontrol dispenser PID

2.3 Akuisisi Data

Dalam penelitian ini akan dilakukan pencatatan suhu dalam derajat celcius ($^{\circ}\text{C}$), penggunaan daya dalam satuan Watt, dan konsumsi energi dalam satuan KWh (Kilo Watt *hour*). Akuisisi data dilakukan dengan mengamati suhu dari tampilan LCD 16X2. Sedangkan besaran daya dan total energi menggunakan alat ukur kWh meter yang dipasangkan dengan dispenser seperti pada **Gambar 12**. Alat ukur kWh meter yang akan digunakan tidak memiliki fungsi *data logger* atau perekam data, maka seluruh akuisisi data akan dicatat secara manual dengan menuliskan besaran angka yang terbaca pada alat ukur. Akuisisi data akan dilakukan sejak dispenser mulai menyala hingga 2 jam (120 menit) setelahnya dengan interval pencatatan 1 menit. Prosedur ini dilakukan sama, baik untuk dispenser kontrol on-off maupun dispenser kontrol PID.



Gambar 12 Pemasangan KWh meter dengan sumber listrik dan dispenser

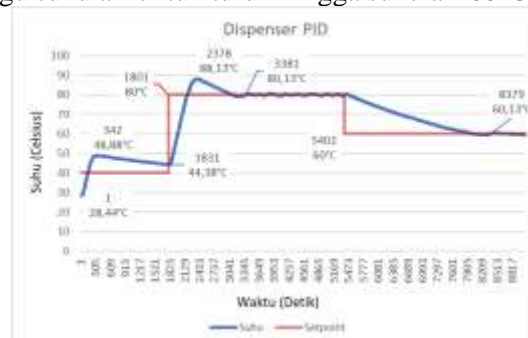
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan membahas hasil dari akuisisi data dispenser kontrol on-off dan kontrol PID, dengan target suhu 80°C dan 93°C . Dalam kegiatan akuisisi data terdapat beberapa catatan mengenai kondisi yang akan mempengaruhi penelitian ini, yaitu:

1. Sumber listrik untuk dispenser sekitar 205V AC, daya maksimal tidak akan mencapai 350Watt.
2. Akuisisi data suhu awal sekitar 28°C hingga suhu dipertahankan oleh kontroler. Selama waktu pencatatan data, tidak ada air yang dikeluarkan dari dispenser.
3. Data energi yang ditampilkan oleh alat adalah dalam satuan kWh. Untuk mengurangi jumlah angka yang ditulis, data energi ditampilkan dalam satuan Wh.
4. Pengujian dispenser baik kontrol PID maupun kontrol on-off dengan target suhu 80°C , dispenser menggunakan galon di atasnya dengan volume air sekitar 3 liter.
5. Pengujian dispenser baik kontrol PID maupun kontrol on-off dengan target suhu 93°C , dispenser tidak menggunakan galon di atasnya.

3.1 Uji Dispenser PID

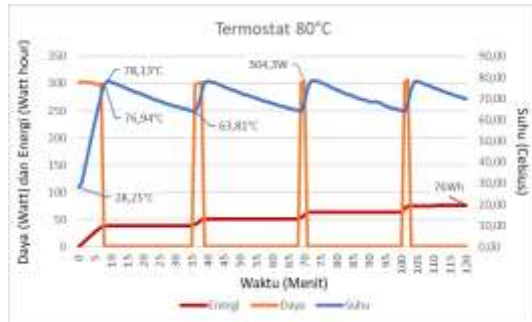
Dispenser kontrol PID memungkinkan untuk diprogram dengan *setpoint* yang berbeda. Variasi dilakukan untuk melihat performa dispenser PID jika menerima perubahan *setpoint* ketika sistem sedang berjalan. *Setpoint* awal sistem akan diatur 40°C , berubah pada menit ke 30 menjadi 80°C , dan berubah pada menit ke 90 menjadi 60°C . Hasil performa dispenser PID dengan variasi *setpoint* terlihat pada grafik **Gambar 13**. Pada saat awal dispenser dinyalakan air, dipanaskan dari $28,44^{\circ}\text{C}$ hingga 40°C . Hasil yang didapat sistem mengalami *overshoot* $8,88^{\circ}\text{C}$. Sampai pada menit ke 30 *setpoint* berubah menjadi 80°C . Dispenser memanaskan air dari suhu $44,38^{\circ}\text{C}$ dan mencapai suhu $88,13^{\circ}\text{C}$. Sistem mengalami *overshoot* sebesar $8,13^{\circ}\text{C}$. Suhu air distabilkan sekitar 80°C pada detik 3381. Setelah mencapai menit ke 90, *setpoint* berubah menjadi 60°C . Kali ini dispenser hanya menunggu suhu air untuk turun hingga suhu air 60°C pada detik 8379.



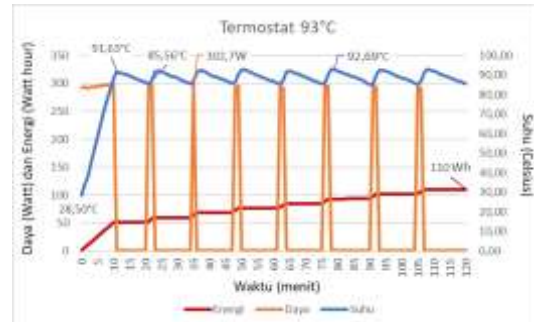
Gambar 13 Hasil uji variasi *setpoint*

3.1 Dispenser Kontrol On-Off

Hasil dari pengambilan data dispenser on-off menghasilkan grafik seperti pada **Gambar 14a** untuk termostat 80°C dan **Gambar 14b** untuk termostat 93°C. Pada awal dispenser dinyalakan elemen pemanas menggunakan daya maksimal, yaitu sekitar 300 watt untuk memanaskan air dari suhu sekitar 28°C. Termostat mulai memutus aliran listrik ketika suhu mencapai 76,94°C dan 91,63°C. Termostat mulai menyambung kembali dan elemen pemanas menggunakan daya penuh setelah suhu menurun 14,32°C dan 6°C. Cara kerja termostat secara on-off tidak memiliki sistem regulasi tegangan sehingga daya yang diberikan ke elemen pemanas selalu maksimal. Hingga waktu mencapai 120 menit, siklus on-off untuk memanaskan ulang terjadi 3 kali pada termostat 80°C, dan 7 kali pada 93°C. Total energi yang tercatat adalah 76Wh dan 110Wh.



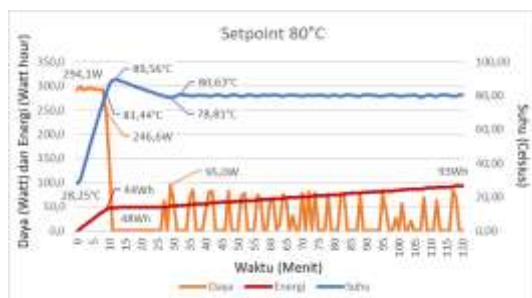
Gambar 14a Daya dan Energi Dispenser Kontrol On-Off 80°C



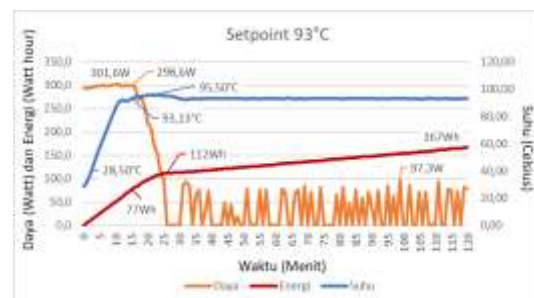
Gambar 14b Daya dan Energi Dispenser Kontrol On-Off 93°C

3.1 Dispenser Kontrol PID

Hasil dari pengambilan data dispenser on-off menghasilkan grafik seperti pada **Gambar 15a** untuk *setpoint* 80°C dan **Gambar 15b** untuk *setpoint* 93°C. Dispenser kontrol pid juga menggunakan daya mendekati maksimal saat awal sistem berjalan. Hal ini terjadi karena nilai *error* cukup besar dan menyebabkan nilai PID maksimal dan sinyal PWM diberikan 100% kepada SSR. Sama seperti pada saat pengujian, kontrol PID mengalami *overshoot*. Pada sistem dengan *setpoint* 80°C, penggunaan daya berhenti ketika suhu tercatat 89,06°C dan menyebabkan pemborosan energi listrik sekitar 4Wh. Pada sistem dengan *setpoint* 93°C mengalami *overshoot* hingga 95,50°C, Terlihat tidak terlalu tinggi tetapi menyebabkan pemborosan energi sekitar 35Wh. Setelah suhu turun mendekati *setpoint*, sistem mampu menjaga suhu tetap stabil dengan rata-rata *error* 0,16°C hingga 0,28°C. Lonjakan daya ketika mempertahankan suhu tercatat sekitar 100 Watt atau sekitar 30% dari daya maksimal. Meskipun dengan lonjakan daya yang lebih rendah, energi yang digunakan oleh dispenser kontrol PID menjadi lebih besar dibandingkan dispenser kontrol on-off. Kontrol PID berusaha memanaskan air sepanjang dispenser dinyalakan untuk menjaga suhu air tetap dekat dengan *setpoint*. Selama 120 menit, total energi yang tercatat pada dispenser PID adalah 93Wh untuk *setpoint* 80°C dan 167Wh untuk *setpoint* 93°C.



Gambar 15a Daya dan Energi Dispenser Kontrol PID 80°C



Gambar 15b Daya dan Energi Dispenser Kontrol PID 93°C

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini memperlihatkan dispenser kontrol PID mengalami lonjakan daya yang lebih rendah yaitu 100 Watt, dibandingkan kontrol on-off termostat menggunakan daya maksimal 300 Watt. Total konsumsi energi dispenser PID lebih banyak, yaitu 93Wh hingga 167Wh. Sedangkan pada kontrol on-off mengonsumsi energi 76Wh hingga 110Wh. Hal ini terjadi karena dispenser PID mempertahankan suhu tetap stabil dengan rata-rata error 0,16°C hingga 0,28°C. Dari informasi tersebut, kontrol PID dapat menjadi solusi kontroler untuk menekan lonjakan daya menjadi sekitar 30% daya maksimal dispenser. Kontrol on-off termostat masih unggul dalam pemanfaatan energi karena mengonsumsi energi 17Wh hingga 57Wh lebih sedikit daripada dispenser kontrol PID.

5. SARAN

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Total energi yang dikonsumsi dispenser kontrol PID signifikan lebih besar daripada dispenser on-off termostat. Perlu ditambahkan metode lain agar energi yang digunakan lebih efisien, misalnya dengan menambahkan fitur penjadwalan.
2. Kontrol PID yang dirancang dalam penelitian ini mengalami overshoot dan mempengaruhi konsumsi energi dispenser. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat merancang sistem tanpa overshoot, misal menggunakan kontrol tipe PD atau tipe P.
3. Alat ukur daya dan energi pada penelitian ini dilakukan secara manual tulis tangan. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan instrumen alat ukur daya dan energi listrik yang dapat terhubung dengan mikrokontroler.
4. Hasil penggunaan kontrol PID dapat mengurangi lonjakan daya pada dispenser air panas. Dapat dilakukan penelitian menerapkan kontrol PID pada peralatan lain yang masih menggunakan termostat misalnya setrika.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Marsudi, *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga, 2005.
- [2] E. Erham, Markus, A. Surjanto, and J. Rukmana, "Design of a new PID controller based on Arduino Uno R3 with application to household refrigerator," *MATEC Web of Conferences*, vol. 154, p. 01044, 2018, doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401044>
- [3] R. Aisuwarya and Y. Hidayati, "Implementation of Ziegler-Nichols PID Tuning Method on Stabilizing Temperature of Hot-water Dispenser," *IEEE Xplore*, Jul. 01, 2019. doi: <https://doi.org/10.1109/QIR.2019.8898259>. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8898259/authors#authors>. [Accessed: Mar. 26, 2023]
- [4] M. S. Pua, A. H. J. Ontowirjo, and P. D. K. Manembu, "Studi Perbandingan Kontrol PID dan Metode ON-OFF Pada Sistem Kotak Pendingin Menggunakan Thermoelectric," *Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado*, 2022.
- [5] A. Shahir and M. Oktaviandri, "PID Controller for Optimum Energy Efficiency in Air-Conditioner," *International Journal of Electrical, Energy and Power System Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 24–29, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.31258/ijeepse.5.1.24-29>
- [6] E. H. Wintresnanto, M. Suyanto, and S. Kristiyana, "APLIKASI SISTEM KENDALI PID PADA TANGKI PEMANAS AIR SEBAGAI TEKNOLOGI PEMANAS BERBASIS

- MIKROKONTROLER ATMEGA32,” Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, 2019.
- [7] M. K. A. Rosa, I. N. Anggraini, A. Herawati, and N. Ramadhan, “Perancangan Dispenser Air Panas Terprogram Dengan Kontrol PID,” Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bengkulu, 2019.
- [8] K. Ogata, Modern Control Engineering, 5th ed. Boston: Prentice Hall, 2010.