

SISTEM PENDINGIN MENGGUNAKAN *THERMO-ELECTRIC COOLER* DENGAN KONTROLER *PROPORTIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVE*

Wisnu Indrawan dan Suryono Suryono

Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail: suryono@fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

The cooling is one of the processes can be used for various types of applications, starting from maintaining food industry products and medical products such as drugs and vaccines. The cooling process now still uses compression-based preservation technology using cooling gas. The types of cooling gas used are R134a and R600a, however the R134a contains HFCs which has been banned for used and the R600a contains HF gas which can reduce the ozone layer. The current study designed hardware and software that is applied to thermoelectric coolers (TEC), i.e. it was designed a device used for the air conditioning system using a thermoelectric cooler with a Proportional Integral Derivative (PID) controller. This system used several tools such as temperature sensors, transistor with TIP31 type, bluetooth module, fan, and ATSAM3X8E microcontroller. In this study, temperature control was carried out based on the desired set-point temperature and temperature of the sensor. From this study, it can be found that the greater value of the voltage given, the greater the value of the Pulse Wave Modulation (PWM) will be produced. The higher value of PWM, the faster the temperature decreases in the cooler. From several tests, it can be concluded that the values of proportional control parameter (K_p) of 2.55, integral control parameter (K_i) of 100 and deferential control parameter (K_d) of 200, more stable graph is obtained and close to the set-point value, with an error value of 2.86%.

Keywords : *Cooling, thermoelectric, gas, controller, temperature*

ABSTRAK

Pendinginan merupakan salah satu proses yang dapat digunakan untuk berbagai macam penggunaan, antara lain untuk menjaga produk industri makanan dan produk medis seperti obat-obatan dan vaksin. Proses pendinginan sekarang masih menggunakan teknologi pengawetan berbasis kompresi menggunakan gas pendingin. Tipe gas pendingin yang digunakan adalah tipe R134a dan R600a, tetapi tipe R134a mengandung gas HFCs yang sudah dilarang penggunaannya dan tipe R600a mengandung gas HF yang dapat mengurangi lapisan ozon. Penelitian ini bertujuan merancang perangkat keras dan perangkat lunak yang dapat diaplikasikan pada pendingin termoelektrik, dengan merancang sebuah alat yang digunakan untuk sistem lemari pendingin menggunakan Thermoelectric Cooler (TEC). Sistem dibangun dengan kontroler Proportional Integral Derivative (PID). Sistem ini menggunakan beberapa alat antara lain, sensor suhu, Transistor tipe TIP31, modul bluetooth, kipas, dan mikrokontroler ATSAM3X8E. Pengendalian suhu dilakukan dengan membandingkan set-point suhu yang diinginkan dengan suhu dari sensor. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa semakin besar nilai tegangan yang diberikan maka semakin besar pula besar nilai Pulse Wave Modulation (PWM) yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai besar PWM, semakin cepat penurunan suhu pada kotak pendingin. Dari beberapa pengujian dapat disimpulkan bahwa nilai parameter kontrol proporsional (K_p), parameter kontrol integral (K_i), dan nilai parameter

kontrol deferensial (K_d), dimana pada nilai $K_p = 255$, $K_i = 100$, dan $K_d = 200$ mendapatkan grafik yang lebih stabil dan mendekati nilai set-point, dengan nilai error sebesar 2,86 %.

Kata kunci : Pendinginan, termoelektrik, gas, kontroler, suhu

PENDAHULUAN

Pendinginan merupakan salah satu teknologi yang memiliki berbagai macam aplikasi, misalnya untuk menjaga produk makanan dari kebusukan dan berbagai pengendalian suhu dalam bidang elektronik dan industri lainnya. Salah satu teknologi pendinginan yang sekarang ini sering digunakan adalah teknologi berbasis kompresi uap karena mempunyai *coefficient of performance* (COP) yang tinggi dan mempunyai harga yang lebih murah dibandingkan teknologi alternatif lainnya [1]. Dalam proses pendinginan, teknologi kompresi uap menggunakan gas pendingin yang berfungsi untuk menyerap panas pada udara dalam lemari pendingin, sehingga menjadi bersuhu rendah. Gas pendingin yang digunakan secara luas adalah tipe R134a dan R600a, tetapi tipe R134a mengandung gas HFCs yang sudah dilarang penggunaannya dan tipe R600a mengandung gas HF yang dapat mengurangi lapisan ozon [2].

Selain itu, pada sistem kompresor satu kipas yang menggunakan gas pendingin pada kompresor uap memiliki kesulitan dalam pengaturan temperatur dari kompartemen target. Berdasarkan hal tersebut diperlukan suatu teknologi pendingin alternatif. *Thermoelectric cooler* (TEC) adalah salah satu alternatif teknologi pendingin, dikarenakan TEC memiliki kelebihan seperti berukuran kecil, kebisingan dan getaran yang lebih rendah, lebih mudah dalam pengaturan suhu, membutuhkan perawatan yang sedikit, dapat menyerap panas dengan menggunakan prinsip perbedaan panas sehingga selain dapat menjadi pendingin dapat juga menjadi pemanas, dan selain itu dapat dihidupkan dengan arus DC [3].

Pendinginan dengan menggunakan TEC telah digunakan untuk menghilangkan embun kaca depan kendaraan. Penggunaan TEC untuk pendingin telah menghasilkan temperatur hingga 22,4 °C. Salah satu penggunaan sistem tersebut untuk pendingin kotak minuman dengan menggunakan 3 *thermoelectric cooling*, dimana dapat menghasilkan temperatur kotak minuman tanpa beban mencapai 14,3 °C, dengan beban pendingin air sebanyak 1 liter sebesar 16,4 °C [4].

TEC tidak hanya dapat mendinginkan, tetapi dapat memanaskan pada waktu yang bersamaan. Sifat dari TEC ini dapat dimanfaatkan untuk sistem pengaturan suhu lemari pendingin. TC dapat dikontrol dengan mikrokontroler yang merupakan keluarga mikroprosesor dengan ukuran kecil. Mikrokontroler merupakan suatu *chip* yang mempunyai kemampuan pengolahan data secara digital dengan program perintah yang diberikan user. Kode tersebut dapat berbentuk program komputer seperti bahasa C [5].

Penggunaan mikrokontroler sebagai sistem kontrol dapat menambah akurasi dari suatu proses pengaturan suhu dan dapat dipertimbangkan menggunakan sistem kontrol *loop* tertutup dengan *Proportional Integral Derivative* (PID). Kelebihan dari pemakaian kontroler PID di *loop* tertutup adalah kontrol PID memiliki kemampuan untuk penyetelan otomatis, dan dapat beradaptasi terhadap variasi waktu, sehingga sistem dari kontroler PID menyediakan aplikasi didalam industri dengan fitur kontrol yang lebih akurat dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan [6].

Pengaturan PID pada umumnya menggunakan alat yang memakan banyak biaya. Tetapi hasil penelitian menyatakan bahwa kontroler PID menggunakan

mikrokontroler tipe P18F4685 yang memiliki kapasitas 14 bit dapat menghasilkan kestabilan yang baik, dengan *overshoot* yang sedikit, dan memiliki waktu *settling time* yang sedikit pula [7].

Kontrol PID merupakan gabungan dari tiga kontrol yang berkerja secara simultan untuk melakukan proses pengontrolan. Tiga elemen kontrol tersebut adalah elemen kontrol *proportional* (P), *integral* (I), dan *derivative* (D). Elemen kontrol tersebut dapat direalisasikan dengan mudah dalam bentuk pemrograman komputer sehingga penggunaannya lebih sederhana [8]. Secara matematis elemen kontrol PID merupakan proses penjumlahan dari masing-masing elemen sehingga persamaannya ditulis:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$

Dari persamaan (1) terlihat bahwa nilai keluaran dari bobot pengontrolan $u(t)$ tergantung pada variabel nilai penguatan kontrol *proportional* (K_p), penguatan kontrol *integral* (K_i), dan penguatan kontrol *derivative* (K_d) yang masing-masing dikalikan nilai *error* (e) yang berjalan secara terus menerus dalam jeda waktu (t) [9].

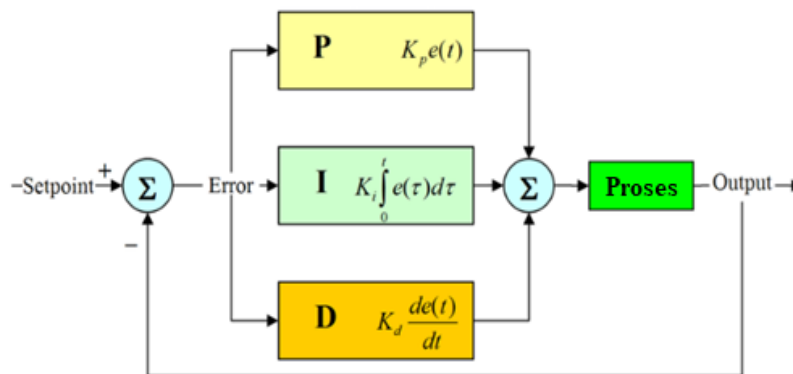
Dari latar belakang tersebut diperlukan suatu sistem lemari pendingin yang terkontrol secara otomatis menggunakan teknologi pendingin ramah lingkungan yang terkontrol dengan sistem kontrol *loop* tertutup, sehingga dapat menjadi salah satu alternatif teknologi pendingin lemari pendingin. Berdasarkan potensi tersebut maka penelitian tentang rancang bangun sistem pendingin pada lemari pendingin menggunakan TEC dengan kontroler PID dilakukan.

METODE PENELITIAN

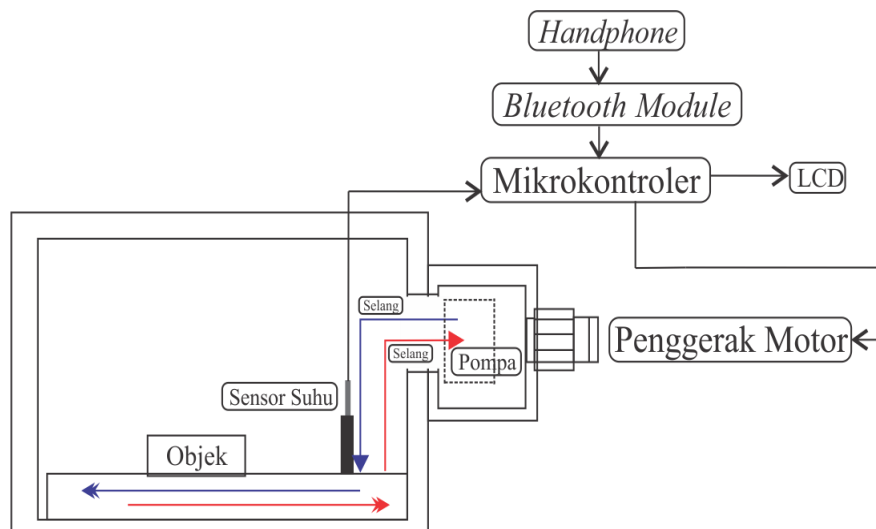
Penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan tiga elemen kontrol yaitu proporsional, integral dan diferensial. Realisasi kontrol PID diekspresikan dalam bentuk kode pemrograman mikrokontroler 32 bit tipe ATSAM3X8E. Pada program tersebut terdapat algoritma pengontrolan proporsional yang keluaran sinyalnya memiliki selisih antara nilai aktual dan *set-point* yang sebanding. Pada proses kontrol tersebut, sistem selalu mengeluarkan *error* dari sinyal yang nilainya langsung dikalikan dengan variabel pengalinya. Pada sistem kontrol sering terjadi kesalahan yang disebabkan oleh keterlambatan respon terhadap waktu yang disebut *steady-state error*. Penggunaan kontrol integral berfungsi untuk menyelesaikan masalah tersebut.

Kontrol derivatif digunakan jika ada *error* secara diferensial yang didasarkan pada kecepatan perubahan sinyal kesalahan. Diketahui bahwa untuk menghasilkan proses kontrol PID, keluaran sinyal pada mikrokontroler dilakukan oleh aktuator yang terdiri dari penguat dan unit pendingin. Proses kontrol dilakukan dengan cara mengumpan-balikkan hasil pengontrolan melalui sensor untuk memperoleh *error* dari *set-point*. Diagram alur kontrol PID ditunjukkan pada Gambar 1.

Diagram rancang bangun sistem ruang pendingin menggunakan TEC dengan kontroler PID ditunjukkan pada Gambar 2. Sistem lemari pendingin terdiri dari *software* dan *hardware*. *Software* merupakan perangkat lunak yang berfungsi sebagai pengirim data dari *smartphone* yang digunakan untuk mengatur *set-point*. Kemudian *hardware* dalam alat ini berfungsi untuk mendinginkan lemari pendingin dengan sistem kontrol PID. Sistem kerja dari alat ini adalah data *set-*



Gambar 1. Konfigurasi alur kontrol PID pada sistem pendingin menggunakan TEC.

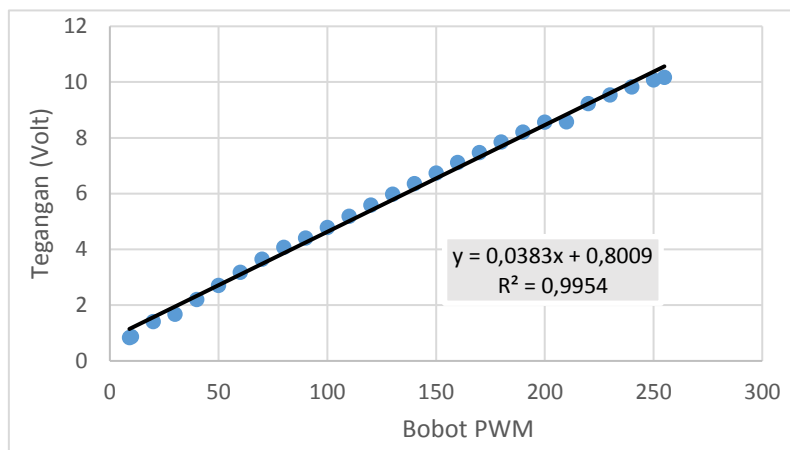


Gambar 2. Diagram sistem ruang pendingin menggunakan TEC dengan kontroler PID.

point dikirimkan menggunakan *smartphone*, kemudian data *set-point* diterima oleh *bluetooth module*. Data *set-point* yang sudah diterima oleh *bluetooth module* diubah menjadi bentuk *integer*. Data tersebut digunakan oleh mikrokontroler sebagai acuan sensor suhu dari sistem kontrol PID pada alat, sehingga alat dapat menstabilkan suhu sesuai data *set-point* yang diberikan oleh *smartphone*.

Kendali panas dan dingin dari alat ini menggunakan pengaturan tegangan yang diatur oleh penggerak motor menggunakan

rangkainan transistor. Pompa pada alat berfungsi untuk mengalirkan air yang sudah didinginkan ataupun dipanaskan ke dalam kotak melewati selang, pompa pada alat dinyalakan secara terus menerus yang bertujuan untuk mensirkulasikan panas atau dingin ke dalam kotak. Prinsip kerja PID pada penggerak motor adalah sebagai berikut: jika suhu yang diinginkan lebih rendah dari pada suhu alat, penggerak motor menaikkan tegangan lebih tinggi untuk menggerakkan kipas hingga mencapai kestabilan. Tegangan berkurang, jika suhu sudah mulai mendekati suhu *set-*



Gambar 3. Grafik hasil karakterisasi rangkaian penggerak motor menggunakan PWM.

point, sehingga kipas mulai berkurang kecepatannya dan kemudian mati pada saat suhu mencapai *set-point*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pengujian dari elemen kontroler PID yang digunakan dan kinerja sistem kontrol PID. Pengujian dari elemen kontrol PID dilakukan pada sistem sensor suhu dengan cara membandingkan antara suhu yang terukur dengan termometer standar.

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan pengujian pada penggerak motor dengan menggunakan rangkaian transistor. Pengujian dilakukan pada salah satu penggerak PWM dalam sistem kotak pendingin. Pengukuran tegangan dalam rangkaian tidak memerlukan resistor tambahan, sehingga multimeter dirangkai secara paralel terhadap tegangan keluaran kipas. Pengujian kali ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan nilai PWM terhadap nilai tegangan yang didapatkan oleh kipas. Hasil pengujian kalibrasi penggerak motor ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada penelitian ini, sensor suhu DS18B20 *waterproof* dikalibrasi dengan

cara membandingkan dengan alat ukur suhu standar tipe Thermo-300. Hasil kalibrasi tersebut tunjukkan pada Tabel 1 yang masih menunjukkan perbedaan pembacaan antara sensor dengan alat ukur standar. Hal ini disebabkan karena kurang stabilnya besar nilai suhu ($^{\circ}\text{C}$) yang dihantarkan oleh panas dari korek api, sehingga nilai yang diperoleh tidak konstan pada saat pengukuran dilakukan.

Tabel 1. Hasil kalibrasi sensor suhu.

Sensor Suhu DS18B20 ($^{\circ}\text{C}$)	Alat ukur Standar ($^{\circ}\text{C}$)	Error (%)
28,94	28,50	1,52
29,00	28,50	1,72
29,37	29,00	1,25
29,50	29,10	1,35
29,94	29,60	1,13
30,25	29,90	1,15
30,56	30,30	0,85
30,75	30,51	0,78
30,94	30,63	1,00
31,06	30,80	0,83
31,19	30,90	0,92
<i>Error rata-rata</i>		1,13

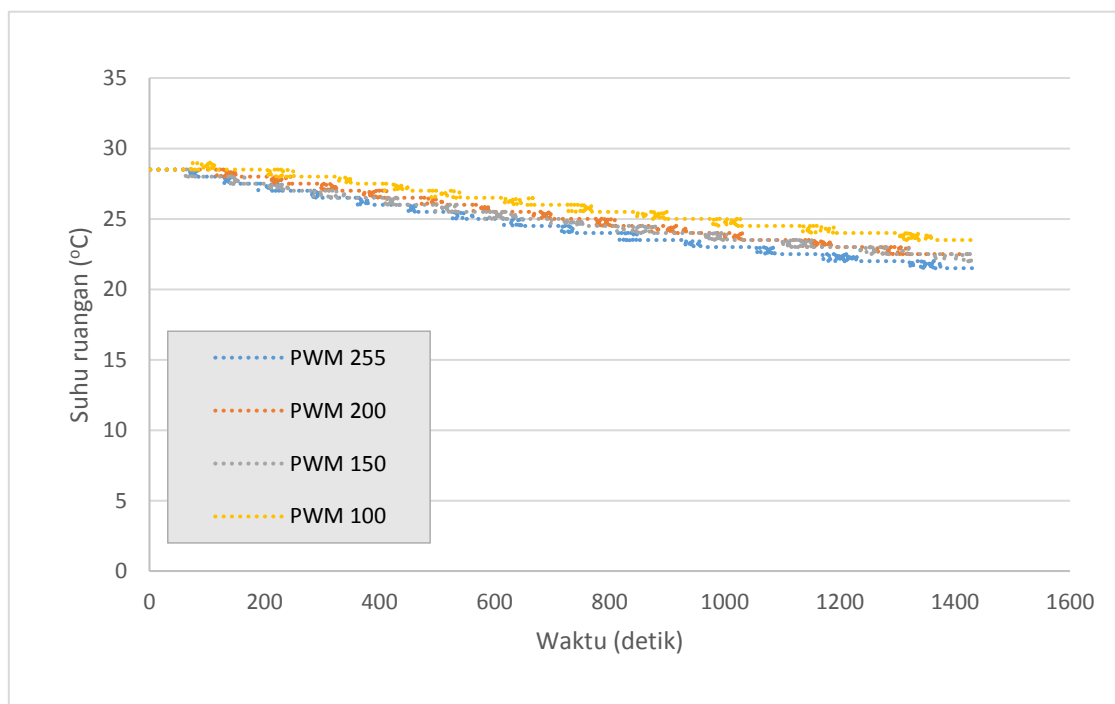
Dengan kata lain tidak mudah untuk mendapatkan kondisi nilai suhu yang sama pada awal hingga akhir pengambilan data. Berdasarkan kalibrasi yang dilakukan menunjukkan bahwa *error* rata – rata percobaan dengan menggunakan sensor sebesar 1,13 %.

Pengujian aktuator pendinginan dilakukan dengan menentukan hubungan kecepatan kipas terhadap suhu yang dihasilkan. Pengujian tersebut pada intinya adalah melakukan variasi PWM terhadap nilai kecepatan kipas pendingin TEC yang berpengaruh langsung kepada suhu ruangan. Hasil pengujian tersebut berupa laju pendinginan seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pada Gambar 4 ditunjukkan bahwa, terdapat 4 variasi pengujian dari perbandingan PWM terhadap suhu.

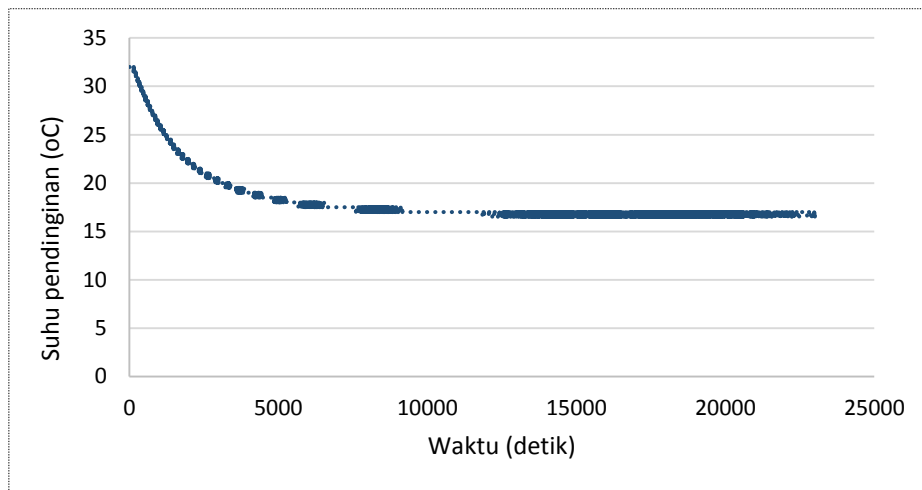
Pengujian dilakukan dengan perbandingan besar nilai PWM, dari 100, 150, 200, dan 250. Pengambilan data dilakukan pada suhu lemari pendingin 26 °C dengan waktu pengambilan data yang

sama yakni 23,8 menit untuk setiap sampel. Pada penggunaan nilai PWM 100 terdapat selisih penurunan suhu lemari pendingin sebesar 5 °C dari suhu 28,5 °C hingga mencapai 23,5 °C. Pada penggunaan nilai PWM 255 terdapat selisih penurunan suhu yang lebih tinggi dibandingkan nilai PWM 100 yakni 7 °C dari suhu 28,5 °C hingga mencapai 21,5 °C. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai PWM semakin cepat penurunan suhu kotak pendingin.

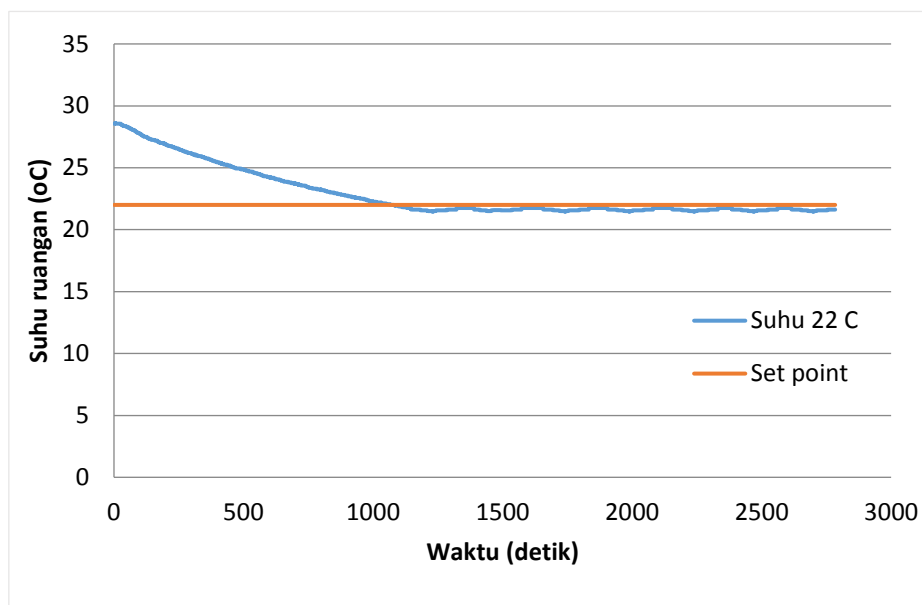
Sebelum dilakukan proses pengontrolan, dilakukan pengujian tanpa menggunakan algoritma PID pada kotak pendingin. Pengujian dilakukan pada kondisi temperatur lingkungan sebesar 26 °C, dengan menggunakan kecepatan PWM konstan sebesar 255. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon pendinginan elemen peltier pada TEC terhadap kotak pendingin dan pengaruh lama waktu pendinginan terhadap penurunan suhu. Hasil pengujian respon pendinginan elemen peltier terhadap kotak pendingin ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Hasil pengujian laju pendinginan ruangan menggunakan TEC.



Gambar 5. Hasil pengujian respon pendinginan pada TEC.



Gambar 6. Hasil pengujian variasi K_P , K_I , dan K_D pada kontrol PID terhadap respon sistem pendinginan ruangan menggunakan TEC.

Pengujian sistem kendali, diperlukan untuk mengetahui nilai K_P , K_I , dan K_D yang optimal. Pada pengujian ini dilakukan dengan metode *trial and error*, dengan menyesuaikan nilai K_P , K_I , dan K_D untuk mendapatkan respon sistem sesuai dengan yang diinginkan. Hasil pengujian variasi K_P , K_I , dan K_D terhadap respon sistem dapat dilihat pada Gambar 6. Pada gambar tersebut ditunjukkan hasil *trial and error*. Nilai $K_P = 255$, $K_I = 10$, dan $K_D = 10$ seperti ditunjukkan pada grafik tersebut memiliki

osilasi yang lebih sedikit dan memiliki nilai *error* yang lebih sedikit. Pada pengujian tersebut, diperoleh *error* relatif sebesar 2,47%. Dari beberapa percobaan variasi nilai K_P , K_D , K_I dapat disimpulkan bahwa, jika K_P memiliki nilai yang kecil, sistem kontrol hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat. Jika nilai K_P dinaikkan, respon atau tanggapan sistem akan semakin cepat mencapai keadaan stabil. Namun jika nilai

K_P diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil atau respon sistem akan berosilasi. Selain itu, pada pengontrol diferensial dapat menghitung nilai *error* yang akan datang, sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang lebih baik sebelum sistem melakukan kesalahan yang lebih besar. Koreksi ini memberikan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi, pengontrol diferensial dapat menghitung *error* yang akan datang dari sistem, sehingga memberikan aksi yang bersifat korektif dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

Penambahan K_D terlalu besar dapat berakibat pada nilai koreksi yang terlalu besar pula, sehingga menyebabkan ketidaksesuaian dengan *set-point* yang diinginkan. Selain itu pada keluaran pengontrol integral membutuhkan selang waktu tertentu untuk mengakumulasi nilai *error* sebelumnya, sehingga pengontrol integral cenderung memperlambat respon. Dari beberapa pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai $K_P = 255$, $K_I = 10$, dan $K_D = 10$ memperoleh nilai kestabilan yang paling baik dan mendekati nilai *set-point*, dengan nilai *error* sebesar 2,47 %.

Nilai kestabilan sistem maksimum diperoleh pada nilai *set-point* suhu 22 °C. Nilai tersebut memberikan informasi penting dari spesifikasi sistem kontrol PID yang telah direalisasikan. Pemberian *set-point* yang dilakukan diluar nilai tersebut menghasilkan *error* yang berbeda dan lebih besar dari nilai yang diharapkan. Nilai suhu 22 °C tersebut juga menginformasikan perkiraan jelajah suhu sistem kontrol PID yang telah direalisasikan yang berada di antara nilai suhu kamar hingga 22 °C. Oleh karena itu sistem kontrol PID ini tidak dapat digunakan secara optimal di sembarang nilai *set-point*.

KESIMPULAN

Sistem lemari pendingin menggunakan TEC yang terkontrol dengan kontroler PID telah berhasil dibuat dan mendapatkan hasil sistem lemari pendingin dengan hasil pengujian alat mampu menurunkan suhu hingga 22 °C. Dari hasil penelitian ini diketahui pengaruh dari sistem kontrol PID pada TEC, didapatkan bahwa sistem kontrol PID berbasis mikrokontroler ATSAM3X8E dapat mengendalikan kestabilan suhu pada 22 °C, dengan mempengaruhi kecepatan PWM, dan didapatkan nilai optimal $K_P = 255$, $K_I = 10$, dan $K_D = 10$, pada *error* 2,47 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tangwe SL, Simon M, Meyer EL. Prediction of coefficient of performance and simulation design of an air-source heat pump water heater. *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2017;15(3):378-394.
- [2] Gökçek M, Şahin F. Experimental performance investigation of minichannel water cooled-thermoelectric refrigerator. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2017;10:54-62.
- [3] Söylemez E, Alpman E, Onat A. Experimental analysis of hybrid household refrigerators including thermoelectric and vapour compression cooling systems. *International Journal of Refrigeration*. 2018;95:93-107.
- [4] Nulhkaime L. Uji untuk kerja pendingin berbasis thermoelectric cooling simetris. *Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*. 2017,8(1), 85-90.
- [5] Suryono S. *Teknologi sensor konsep fisis dan teknik akuisisi data berbasis mikrokontroler 32 bit AT91SAM3X8E (Arduino DUE)*. Semarang: Undip Press; 2018.

- [6] Al-Odienat A, Al-Lawama AA. The advantages of PID fuzzy controllers over the conventional types. *American Journal of Applied Sciences*. 2008;5(6):653-658.
- [7] El-Nagar AM, El-Bardini M. Practical implementation for the interval type-2 fuzzy PID controller using a low cost microcontroller. *Ain Shams Engineering Journal*. 2015;5(2):475-487.
- [8] O'Dwyer A. A Summary of PI and PID controller tuning rules for processes with time delay. Part 2: PID controller tuning rules. *IFAC Proceedings Volumes*. 2000;33(4):211-216.
- [9] Wardhana DW, Wahyudi A, Nurhadi H. Perancangan sistem kontrol PID untuk pengendali sumbu azimuth turret pada turret-gun kaliber 20mm. *Jurnal Teknik ITS*. 2016;5(2):A512-A516.