

RANCANG BANGUN DAN REALISASI SISTEM PENDINGIN BERBASIS TEC (THERMOELECTRIC COOLER)

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF TEC (THERMOELECTRIC COOLER) BASED REFRIGERATION SYSTEM

Sundayani¹, Ismudiati Puri Handayani², Indra W.Fathonah³, Asep Suhendi⁴

Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
sundayani@students.telkomuniversity.ac.id¹, iphandayani@telkomuniversity.ac.id,²
indrafathonah@telkomuniveristy.ac.id,³ suhendi@telkomuniversity.ac.id⁴

Abstrak

Dalam penelitian ini telah dibuat suatu alat yang dapat mengontrol arus *input* pada TEC (*thermoelectric cooler*) menggunakan kontrol PID. Untuk proses pendinginan menggunakan termoelektrik tipe 12706 dengan material aktif Bi₂Te₃. Pengujian alat dilakukan dengan membandingkan suhu yang terukur pada saat sistem bekerja dengan dan tanpa kontrol PID. Hasil percobaan tanpa kontrol menggunakan tiga modul termoelektrik diperoleh suhu terendah 11°C dalam waktu 6538 detik dan dengan kontrol diperoleh suhu 11°C dalam waktu 2060 detik. Nilai ini menunjukkan bahwa proses kontrol bisa mempercepat tercapainya kestabilan suhu sebesar tiga kali lipat dibandingkan tanpa kontrol. Parameter yang paling baik dalam penelitian ini tercapai pada saat nilai K_p=8,59, K_i=1,9 dan K_d=0,475. Hasil pengujian rangkaian seri dengan kontrol PID menggunakan dua modul TEC dan arus 2A menghasilkan suhu yang sama dengan kontrol PID yang menggunakan tiga modul tunggal TEC yang masing-masing dialiri arus 6A dengan *set point* 11°C. Hal ini disebabkan karena jumlah total arus yang mengalir pada rangkaian seri lebih kecil dibandingkan dengan total arus pada tiga modul TEC jumlah panas yang harus didistribusikan oleh sistem ke lingkungan lebih kecil. Pada kasus yang melibatkan banyak modul TEC dan arus besar, sistem distribusi panas ke lingkungan harus didesain agar TEC mampu mempertahankan sisi dinginnya sesuai *set point* yang diinginkan.

Kata kunci: *Termoelektrik, TEC, suhu, PID.*

Abstract

In this study, we have built an instrument for controlling the input current to thermoelectric cooler (TEC) by using PID control. For cooling process, we use thermoelectric type of 12706 with active material of Bi₂Te₃. The instrument has been tested by comparing the cooling process with and without PID control. Without PID control the TEC modules cools the temperature down to 11 °C within 6538 seconds. This temperature is obtained within 2060 seconds when PID control is applied. This finding shows that PID control can accelerate three times faster the achievement of temperature stability. The best parameters for controlling are K_p =8.59, K_i =1.9 and K_d =0.475. In Addition, we observe two serial modules of TEC with current input of 2A can also reach a set point of 11 °C which is equal to the cooling process using three individual TEC modules and which is driven by 6A current. This result shows that beside the number of TEC modules, the heat distribution also plays important role in cooling process. Since two serial modules dissipate less power than three individual modules, the heat distribution becomes more effective and similar temperature can be achieved.

Keywords: Thermoelectric, TEC, Temperature, PID.

1. Pendahuluan

Salah satu alternatif pengganti pendingin gas refrigerant adalah pendingin termoelektrik. Teknologi termoelektrik telah digunakan pada beberapa bidang aplikasi seperti, *thermoelectric refrigerator* (TER), peralatan militer, peralatan ruang angkasa, produk-produk industri yang memanfaatkan modul termoelektrik sebagai pendingin [1-3]. Namun permasalahan yang akan dihadapi dalam penggunaan termoelektrik adalah rasio COP pada sistem pendingin termoelektrik yang dihasilkan masih rendah yaitu 0,16-0,64 dengan perbedaan suhu 20 °C, Nilai ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas pendingin yang dihasilkan sistem pendingin konvensional yang memiliki rasio COP sekitar 4,6 - 5 [4],[5]. Permasalahan lainnya yaitu cara meningkatkan nilai COP dengan mengurangi konsumsi daya listrik pada sistem pendingin termoelektrik.

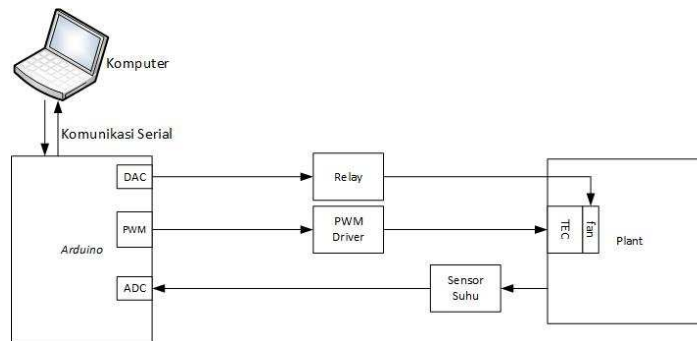
Salah satu cara untuk mengoptimalkan sistem pendingin termoelektrik yaitu dengan mengontrol arus dan tegangan input pada Termoelektrik [6]. Selain itu, nilai COP dapat ditingkatkan dengan mengoptimalkan pembuangan panas, menurunkan resistansi termal (merupakan ukuran untuk menunjukkan besarnya kalor yang berpindah dalam

satuan waktu), dan pemilihan material dengan nilai ZT yang tinggi [7].

Berdasarkan masalah diatas dengan memperhatikan parameter nilai ZT dan COP, maka penulis akan optimalkan kinerja dari elemen Peltier dengan menggunakan tipe 12706 yang tersusun atas Bi_2Te_3 . Modul termoelektrik akan disusun secara seri dan paralel dengan beberapa komponen penunjang seperti *heatsink* dan kipas dalam merencanakan sistem pendingin pada kotak pendingin. Sistem pendingin diharapkan dapat digunakan untuk menjaga suhu suatu objek berada dibawah suhu lingkungan sekitar $\pm 27^\circ\text{C}$. Pengaturan suhu dilakukan dengan rangkaian Darlington sebagai aktuator dari PID untuk mengatur input tegangan ke termoelektrik. TEC (*thermoelectric cooler*) ini dilengkapi dengan fitur GUI (*Graphical User Interface*) untuk menampilkan kurva suhu ($^\circ\text{C}$) terhadap waktu (t) secara *real time* pada layar komputer.

2. Rancangan dan Metode Ekperimen.

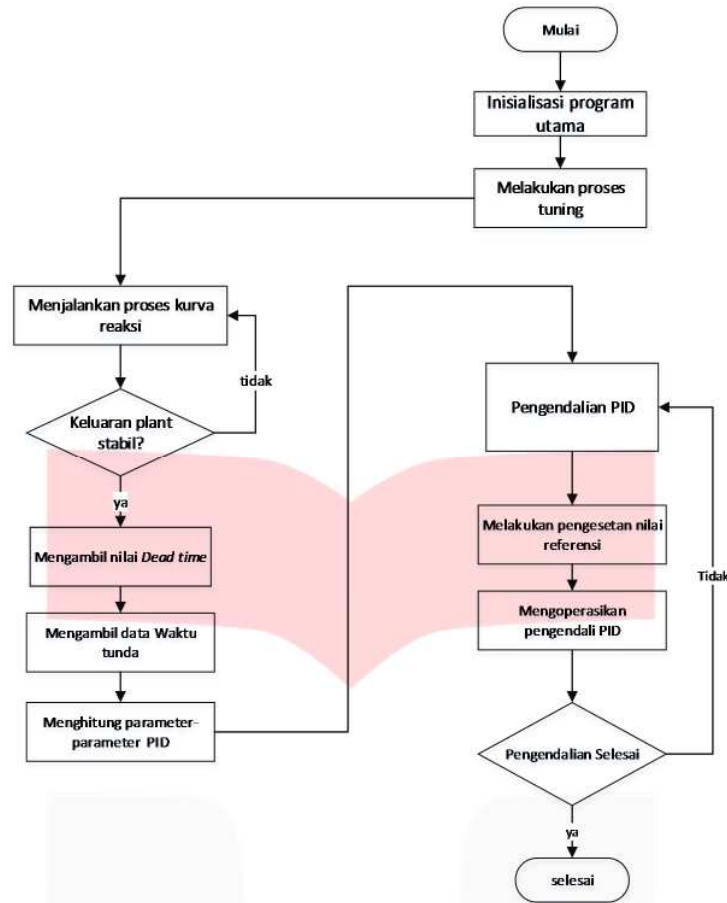
Perancangan pada penelitian ini meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).



Gambar 1 Diagram blok alat.

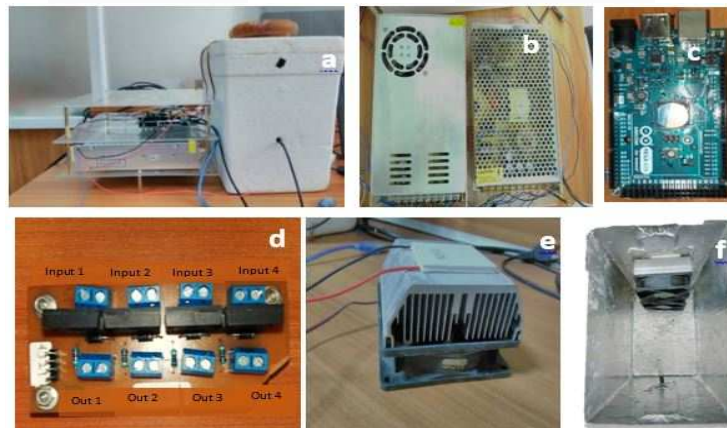
TEC (*thermoelectric cooler*) atau elemen Peltier sebagai modul pendingin bekerja berdasarkan efek Peltier akan berfungsi apabila arus listrik DC dialirkan ke termoelektrik atau elemen Peltier yang terdiri dari beberapa pasang sel semikonduktor tipe-p dan tipe-n maka terjadi pelepasan kalor sehingga mengakibatkan salah satu sisi menjadi panas dan sisi lainnya menjadi dingin karena menyerap kalor. Sensor suhu berfungsi untuk membaca suhu dari kabinet pendingin kemudian meneruskan sinyal analog tersebut ke mikrokontroler. Mikrokontroler berfungsi untuk memproses masukan dari sensor dan membandingkannya dengan input permintaan suhu minimum, menampilkan pembacaan suhu di dalam kabinet pendingin/plant pada GUI, mengendalikan kerja elemen termoelektrik dan kipas DC berdasarkan perintah-perintah yang telah diprogram sebelumnya di dalam mikrokontroler. Pada masing-masing *heatsink* dan *coldsink* yang ditempelkan pada elemen Peltier, terdapat kipas DC yang berfungsi untuk mempercepat pembuangan dan penyerapan kalor. Driver PWM berfungsi untuk mengendalikan pendinginan yang dihasilkan oleh termoelektrik. Proses pengontrolan suhu dilakukan mengikuti diagram alir pada gambar 2.

Pengontrolan suhu menggunakan metode kurva reaksi Ziegler-Nichols merupakan metode penalaan yang dapat dilakukan secara experimental tanpa penyusunan model matematik suatu plant. Pada metode ini berlangsung dua tahap yaitu tahap penalaan untuk menentukan parameter-parameter kontrol dan tahap pengontrolan dengan menerapkan parameter-parameter yang diperoleh dari tahap penalaan. Kedua tahap tersebut diterapkan dalam modul mikrokontroler ATmega 2560. Bagian penalaan dan pengendalian merupakan dua bagian terpisah, namun tetap terintegrasi dalam seperangkat program kendali PID yang sesuai dengan diagram alir pada gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir proses kontrol PID.

3. Pembahasan

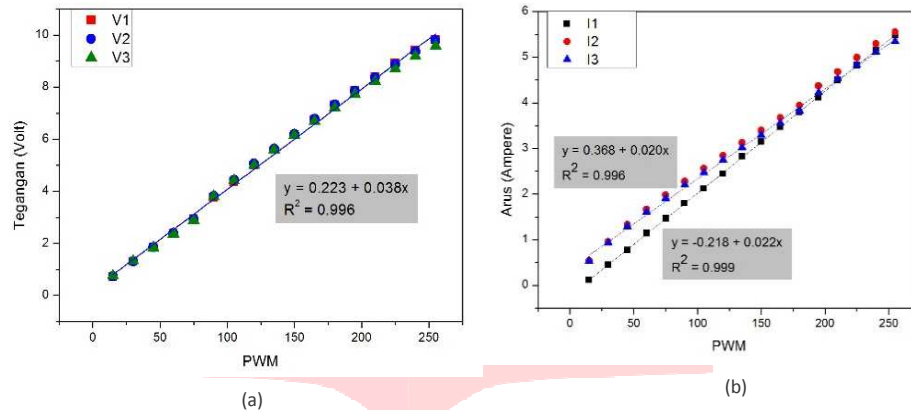


Gambar 3 Hasil realisasi perangkat keras. (a) tampak depan kotak pendingin. (b) catu daya. (c) mikrokontroller. (d) driver PWM. (e) modul TEC. (f) Tampilan GUI.

Alat terdiri atas kotak pendingin yang terbuat dari bahan Styrofoam dan dilapisi dengan aluminium agar mempercepat proses perpindahan panas di dalam kotak pendingin. Catu daya seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 bagian b terdapat dua catu daya, masing-masing catu daya sebagai sumber untuk kipas yang terdapat pada modul TEC dan sebagai sumber tegangan untuk driver PWM. gambar 3 bagian c merupakan mikrokontroller yang berfungsi sebagai pusat kendali untuk memproses masukan sensor, menampilkan pembacaan suhu di dalam kotak pendingin pada GUI, mengatur kinerja driver PWM berdasarkan perintah-perintah yang telah diprogram sebelumnya. Selanjutnya, driver PWM seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 bagian d berfungsi untuk mengatur tegangan DC

yang diumpangkan ke termoelektrik. Output driver PWM merupakan sumber tegangan yang masuk ke termoelektrik. Gambar 3 bagian e merupakan modul TEC yang berfungsi sebagai sumber pendinginan, pada modul TEC terdapat kipas dan heatsink. Kipas dengan daya 1,2 Watt dan memiliki kecepatan putaran sebesar 2500 RPM berfungsi untuk mendistribusikan panas secara konveksi. Proses pembuangan panas secara konduksi terjadi melalui heatsink. Di dalam kotak pendingin ditunjukkan oleh gambar 3 bagian f terdiri dari modul TEC dan sensor suhu yang berfungsi membaca suhu dari kotak pendingin kemudian diproses oleh mikrokontroler.

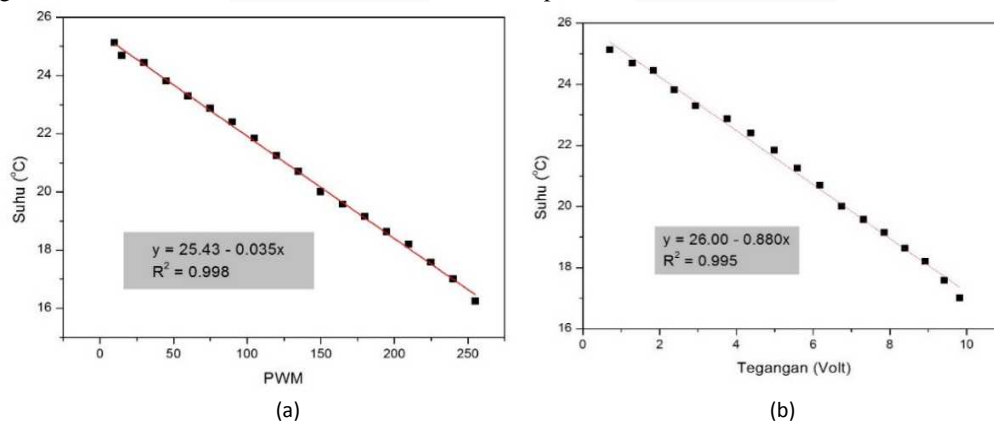
3.1 Pengujian rangkaian driver PWM



Gambar 4 Grafik hasil karakterisasi driver PWM terhadap (a) Tegangan (b) Arus.

Pengujian dilakukan pada ketiga keluaran driver PWM yang akan digunakan untuk mengontrol termoelektrik. Karena driver PWM yang digunakan adalah *driver current source* maka untuk mengetahui keluaran driver PWM baik tegangan maupun arus maka pada driver PWM diberikan hambatan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengukuran. Hambatan yang digunakan adalah hambatan yang mendekati nilai hambatan termoelektrik. Pada gambar 4.a nilai V_1 , V_2 dan V_3 adalah tegangan dari keluaran driver PWM sedangkan pada gambar 5.b nilai I_1 , I_2 dan I_3 adalah arus dari keluaran driver PWM. Persamaan garis I_1 ditunjukkan pada gambar 5.b yaitu $y = -0,218 + 0,022x$ dan persamaan garis I_2 dan I_3 yaitu $y = 0,368 + 0,020x$.

Dari hasil pengujian pada gambar 4 dapat diketahui bahwa semakin besar nilai PWM maka tegangan dan arus semakin besar. Dari grafik dapat diketahui setiap kenaikan tegangan dan arus terhadap nilai PWM adalah linear. Setelah mengetahui nilai tegangan dan arus terhadap PWM selanjutnya dapat melakukan pengujian PWM menggunakan termoelektrik secara manual sebelum menerapkan kontrol PID.

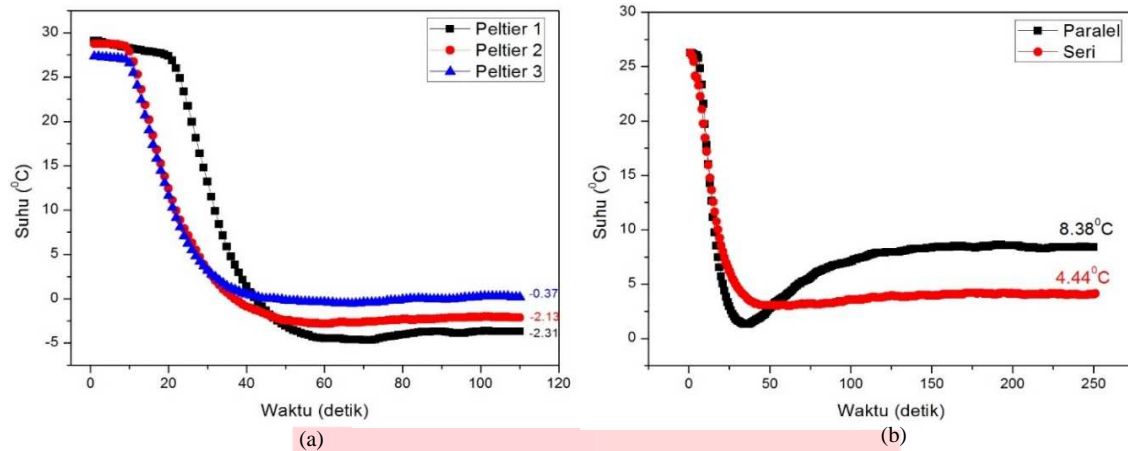


Gambar 5 Hasil karakterisasi (a) driver PWM terhadap suhu. (b) suhu terhadap tegangan.

Hasil pengujian gambar 5.a diketahui bahwa semakin besar nilai pwm maka suhu pada kotak pendingin semakin cepat mencapai suhu rendah. Dari hasil pengujian sebuah modul termoelektrik dengan dan tanpa driver PWM diperoleh nilai suhu yang sama sebesar $\pm 16^\circ\text{C}$, jika diberi tegangan 12V/30A. Sehingga dapat di simpulkan bahwa rangkaian driver pwm berfungsi dengan baik dan dapat digunakan untuk mengontrol Termoelektrik.

Gambar 5.b merupakan grafik suhu terhadap tegangan dari pengujian rangkaian driver PWM dan dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa perubahan tegangan linear terhadap suhu dimana semakin besar tegangan maka semakin rendah suhu yang dihasilkan. Suhu terendah yang di peroleh sebesar $16,2^\circ\text{C}$ dari hasil pengujian satu modul menggunakan rangkaian driver PWM.

3.2 Pengujian Termoelektrik



Gambar 6 Hasil pengujian elemen Peltier (a).Modul tunggal. (b).Kombinasi Seri dan Paralel.

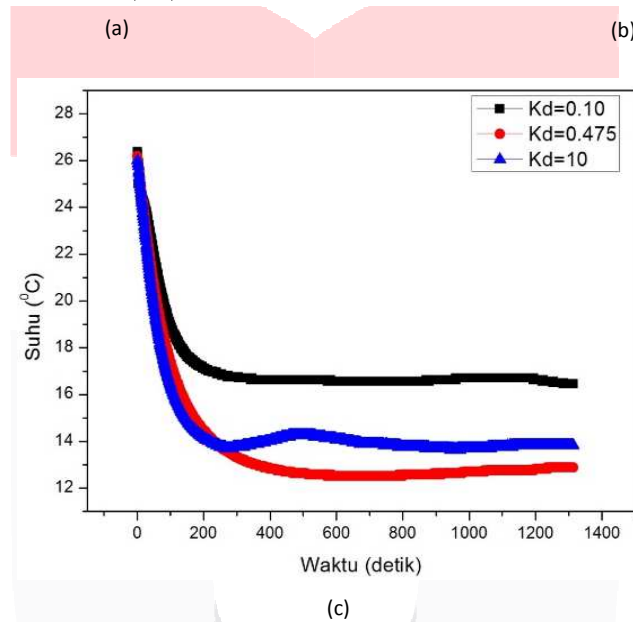
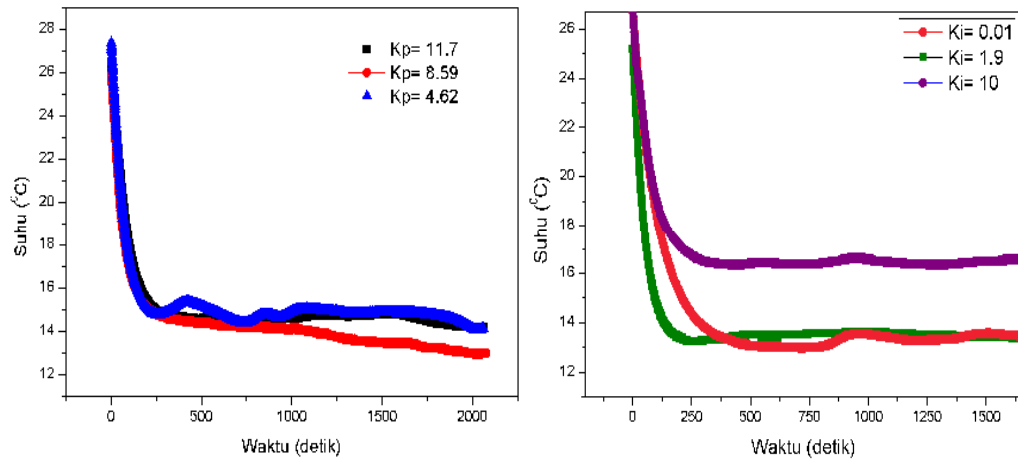
Pengujian elemen Peltier dilakukan dengan memberikan tegangan sebesar 12V. Hasil pengujian, tiga buah elemen Peltier dalam eksperimen suhu dapat mencapai 0°C dalam waktu sekitar 60 detik. Seperti ditunjukkan pada gambar 6.a Proses penurunan suhu dari ketiga elemen Peltier tidak sama, elemen Peltier 2 dan 3 memiliki proses penurunan suhu yang lebih cepat dibandingkan elemen Peltier 1 namun tidak dapat memastikan bisa mencapai suhu yang lebih rendah sedangkan elemen Peltier 1 mengalami proses penurunan suhu yang lebih lambat namun bisa mencapai suhu lebih rendah dari kedua termoelektrik lainnya. Dari hasil pengujian pada gambar 6 memiliki karakteristik keadaan tunak yang hampir sama sehingga ketiga elemen Peltier tersebut dapat disimpulkan ketiga termoelektrik berfungsi dengan baik.

Pada gambar 6.b hasil pengujian rangkaian paralel dapat mencapai suhu terendah yaitu 1.3°C namun hanya dapat bertahan selama empat detik dan stabil pada suhu 8.3°C sedangkan pengujian rangkaian seri dapat mencapai suhu terendah 3.0°C dan stabil pada suhu 4.4°C. hal yang menyebabkan suhu pada pengujian rangkaian paralel dapat mencapai suhu lebih rendah karena tegangan yang mengalir adalah sama dan arus yang mengalir pada rangkaian paralel merupakan total arus dari kedua elemen Peltier sehingga dapat bekerja maksimum dan tidak dapat mempertahankan suhu 1.3°C karena pada sisi panas elemen Peltier tidak mampu membuang kalor secara maksimal sehingga panas yang berasal dari sisi panas berpindah ke sisi dingin. Sedangkan hal yang menyebabkan rangkaian elemen Peltier yang dirangkai seri jauh lebih stabil karena arus yang mengalir adalah sama dan tegangan pada rangkaian paralel adalah total dari tegangan dari kedua dimana untuk memaksimalkan kinerja elemen Peltier yang dibutuhkan adalah arus yang lebih besar. Karena rangkaian paralel belum maksimal pembuangan kalor pada sisi panas maka pengontrolan PID hanya dapat dilakukan pada rangkaian seri.

3.3 Hasil Pengujian Sistem Terkendali

Berdasarkan hasil pengujian manual kotak pendingin diperoleh suhu minimum 11°C dan untuk mengetahui respon dari pengujian sistem terkendali, pada setiap pengujian variasi konstanta PID diberikan set point yang sama 11°C. Untuk memperoleh respon sistem sesuai dengan yang diinginkan maka setelah menerapkan nilai konstanta PID dari hasil tuning, selanjutnya yaitu dengan mengubah-ubah nilai konstanta PID.

Hasil penalaan PID dilakukan berdasarkan hasil pengujian driver PWM menggunakan nilai PWM 45,120 dan 225 dan diperoleh nilai Kd pada PWM 45 dan 120 memiliki nilai Ki dan Kd yang sama dan hasil penalaan PWM 225 berbeda dengan hasil penalaan dengan PWM yang lain, agar lebih mudah mengetahui pengaruh dari nilai konstanta PID yang telah diperoleh terhadap perubahan suhu pada kotak pendingin maka nilai Ki dan Kd diberikan nilai konstan (Ki=1.9 dan Kd=0.475).



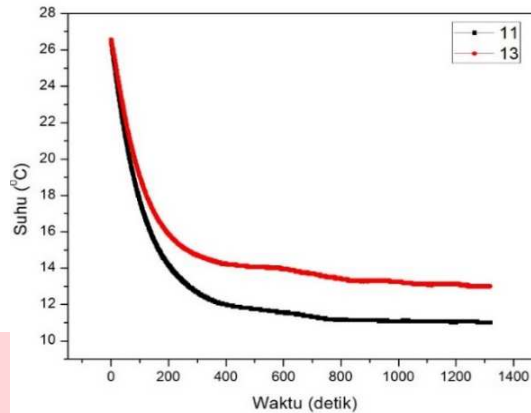
Gambar 7 Grafik Pengendalian Temperatur variasi nilai. (a). K_p (b). K_i (c). K_d

Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 7.a pemberian nilai K_p yang besar akan mempercepat *rise time*/respon naiknya dan pemberian nilai K_p yang kecil akan mengoreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon yang lambat. Dari ketiga hasil pengujian suhu stabil dicapai dalam waktu yang lama dikarenakan sistem kontrol akan berusaha melawan gangguan/beban untuk mencapai suhu referensi secepat mungkin dan setelah itu sistem akan memperbaiki error. Dari ketiga hasil pengujian nilai K_p sistem stabil dengan suhu yang tercapai mendekati nilai set point dengan pengaturan nilai $K_p = 8,59$.

Hasil pengujian variasi nilai K_i pada gambar 7.b kontrol K_i memerlukan waktu tertentu, maka perubahan yang terjadi haruslah relatif lambat untuk mencegah terjadinya osilasi. Saat pemberian nilai K_i yang terlalu kecil kontrol K_i tidak bekerja secara optimal sehingga pada gambar 7.b pemberian nilai K_i kecil masih terjadi osilasi dan nilai K_i yang terlalu besar mengakibatkan kecepatan respon berkurang sehingga tidak dapat mencapai set point. Nilai pengaturan K_i yang paling baik diperoleh pada nilai $K_i = 1.9$.

Hasil pengujian dengan variasi K_d diketahui bahwa pemberian nilai K_d yang terlalu kecil mengakibatkan sistem memiliki kecepatan respon yang lebih cepat dan kestabilan yang lebih baik dimana tidak terjadi osilasi namun memiliki kesalahan keadaan tunak yang besar. Karena K_d memberi respon yang lebih baik terhadap perubahan proses yang terjadi secara cepat/berubah terhadap waktu maka saat pemberian nilai K_d yang terlalu besar tanpa diimbangi dengan memberikan nilai K_p maka seperti yang ditunjukkan pada grafik pada gambar 7.c sistem merespon lebih cepat namun pada saat menuju keadaan stabil dimana sinyal kesalahan mulai konstan, pengaturan nilai K_d hanya mempercepat respon awal suatu sistem sehingga pada grafik $K_d = 10$ terjadi lonjakan dan pengaturan nilai K_d tidak

memperkecil kesalahan keadaan tunaknya. Hasil pengujian variasi Kd diperoleh nilai parameter yang paling baik dengan nilai $K_d=0.475$.



Gambar 8 Pengujian rangkaian seri dengan kontrol PID.

Hasil pengujian rangkaian seri pada gambar 8 dengan kontrol PID menggunakan dua modul TEC dan arus 2A menghasilkan suhu yang sama dengan kontrol PID yang menggunakan tiga modul tunggal TEC yang masing-masing dialiri arus 6A dengan pemberian *set point* 13°C dan 12°C. Hal ini disebabkan karena jumlah total arus yang mengalir pada rangkaian seri lebih kecil dibandingkan dengan total arus pada tiga modul TEC jumlah panas yang harus didistribusikan oleh sistem ke lingkungan lebih kecil.

4. Kesimpulan dan Saran

Faktor yang mempengaruhi kinerja sistem pendingin termoelektrik yaitu jumlah arus yang masuk ke termoelektrik dan efektivitas heatsink sebagai penukar kalor terutama heatsink di sisi panas termoelektrik. Pemberian arus dan tegangan yang besar namun tidak diimbangi dengan mengoptimalkan pembuangan panas pada sisi panas termoelektrik mempengaruhi kapasitas dingin yang dihasilkan sehingga nilai COP yang dihasilkan bernilai kecil. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh nilai konstanta $K_p=8,59$; $K_i=1,9$ dan $K_d=0,475$ menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols. Hasil pengujian kotak Dengan menggunakan tiga modul tunggal TEC tipe 12706 tanpa kontrol PID suhu dapat tercapai 11 °C dalam waktu 6538 detik dan dengan menggunakan sistem kendali PID menggunakan dua modul tunggal dirangkai secara seri diperoleh rata-rata suhu stabil dalam waktu 2060 detik. Proses pembuangan panas memegang peranan penting. Hal ini terlihat dari hasil pengujian rangkaian paralel yang tidak mampu mempertahankan suhu terendah 1,3°C dan dari pengujian TEC dengan arus tiga kali lebih tinggi tidak dapat menurunkan suhu secara optimal. Hasil penelitian diperoleh rasio nilai COP sebesar 0,21 untuk suhu operasional 11°C dengan suhu lingkungan $\pm 27^\circ\text{C}$ dan menggunakan daya sebesar 360 Watt.

Daftar Pustaka:

- [1] M. Hamid Elsheikh, D. A. Shnawah, M. F. M. Sabri, S. B. M. Said, M. Haji Hassan, M. B. Ali Bashir, and M. Mohamad, "A review on thermoelectric renewable energy: Principle parameters that affect their performance," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 337–355, Feb. 2014.
- [2] "TN-TC01 Optimizing Thermoelectric Temperature Control Systems - tn-tc01.pdf." [Online]. Available: <http://www.teamwavelength.com/downloads/notes/tn-tc01.pdf>. [Accessed: 02-Oct-2015].
- [3] S. A. Tassou, J. S. Lewis, Y. T. Ge, A. Hadawey, and I. Chaer, "A review of emerging technologies for food refrigeration applications," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 30, no. 4, pp. 263–276, 2010.
- [4] D. Zhao and G. Tan, "A review of thermoelectric cooling: Materials, modeling and applications," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 66, no. 1–2, pp. 15–24, May 2014.
- [5] D. Enescu and E. O. Virjoghe, "A review on thermoelectric cooling parameters and performance," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 38, pp. 903–916, Oct. 2014.
- [6] M. K. Rawat, H. Chattopadhyay, and S. Neogi, "A review on developments of thermoelectric refrigeration and air conditioning systems: a novel potential green refrigeration and air conditioning technology," *Volume*, vol. 3, pp. 362–367, 2013.
- [7] "TN-TC01 Optimizing Thermoelectric Temperature Control Systems - tn-tc01.pdf." [Online]. Available: <http://www.teamwavelength.com/downloads/notes/tn-tc01.pdf>. [Accessed: 02-Oct-2015].