

Perancangan Sistem Kontrol Unit *Water Chiller* Laboratorium Teknik Kondisi Lingkungan

Adityo Pranowo, Wisnu Hendradjit, Sutanto Hadisupadmo

Program Studi Teknik Fisika – Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha No 10 Bandung

Abstrak

Unit *water chiller* di Laboratorium Teknik Kondisi Lingkungan Teknik Fisika ITB masih dioperasikan secara manual. Diperlukan sebuah kontroler agar pengoperasian unit *water chiller* dan pengumpulan data kondisi operasinya dapat berjalan konsisten tanpa terpengaruh faktor operator. Dalam penelitian ini, aksi kontrol yang dilakukan pengontrol berupa kontrol *on-off* dengan dua buah *switch point* yang bernilai $\pm 1^\circ\text{C}$ dari *set point*. *Set point* suhu dapat diatur pada rentang $0-40^\circ\text{C}$. Pengontrol mampu merekam data melalui komunikasi serial mikrokontroler dengan komputer. Termistor tipe *screw threaded* memiliki standar deviasi maksimum sebesar 0,22 pada pembacaan suhu $5,5^\circ\text{C}$ dan nilai *settling time* sebesar 65 detik. Termistor tipe *epoxy insulated* memiliki standar deviasi maksimum sebesar 0,33 pada pembacaan suhu $25,1^\circ\text{C}$ dan nilai *settling time* sebesar 7 detik. Dari hasil pengujian, kontroler mampu bekerja sesuai rancangan dengan rata-rata standar deviasi suhu air dingin keluaran evaporator sebesar 0,6.

Kata kunci: Water chiller, kontroler on-off, Arduino Uno, termistor NTC, set point suhu, chilled water supply.

1 Pendahuluan

Laboratorium Teknik Kondisi Lingkungan (TKL) Teknik Fisika ITB memiliki satu unit *water chiller* di yang masih dioperasikan secara manual. Pengumpulan data pada unit *water chiller* ini juga masih dilakukan secara manual. Pengoperasian unit *water chiller* secara manual menimbulkan permasalahan pada pengumpulan dan pengolahan data kondisi operasi. Pengumpulan data secara manual akan mengakibatkan perekaman data secara acak. Ketelitian pembacaan dan perekaman data menjadi tergantung pada ketelitian operator. Ketidaksiapan operator dalam menghadapi dan mengawasi variasi dan fluktuasi kondisi operasi dapat mengakibatkan tindakan operasi yang tertunda.

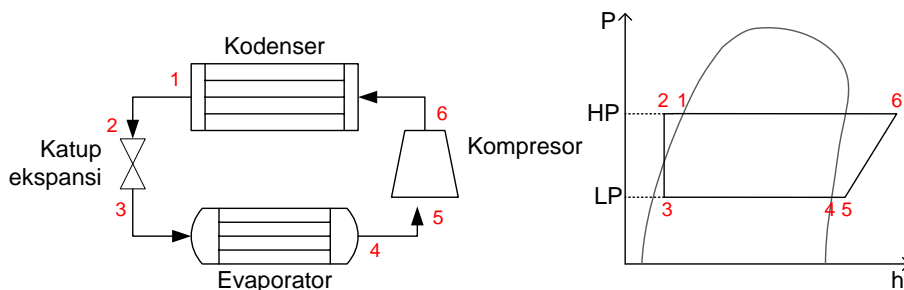
Penelitian ini bertujuan untuk mengadakan suatu sistem kontroler pada unit *water chiller* Laboratorium Teknik Kondisi Lingkungan yang dilengkapi dengan sensor pengukur yang memiliki ketelitian mencukupi. Kontroler diharapkan dapat mengumpulkan (mengukur, merekam, menampilkan) data operasi, dapat diprogram untuk berfungsi menyesuaikan kondisi operasi sistem dengan variasi dan fluktuasi kebutuhan dan beban.

Pada penelitian ini, suhu yang dikontrol hanya suhu air dingin keluaran evaporator (*chilled water supply*) dengan menggunakan sensor suhu termistor NTC 10 k Ω . Perhitungan pada suhu oleh termistor menggunakan persamaan Stenhardt-Hart dengan nilai konstanta A, B, dan C ditentukan oleh percobaan. Pada penelitian ini sensor dikalibrasi pada rentang $0-40^\circ\text{C}$. Dengan menggunakan perangkat mikrokontroler Arduino Uno, suhu air keluaran evaporator dikontrol dengan mengatur coupling kompresor sebagai aktuatur. Mikrokontroler juga dirancang untuk dapat melakukan pengumpulan data pada saat proses berlangsung. Alur penelitian ini meliputi perancangan dan pembuatan perangkat lunak, kalibrasi sensor, uji coba, pengambilan dan pengolahan data, dan analisis.

2 Teori Dasar

2.1 Siklus refrigerasi kompresi uap dan unit *water chiller* Laboratorium TKL

Refrigerasi adalah proses pembuangan kalor sehingga terbentuk sebuah lingkungan yang bersuhu lebih rendah dari lingkungan alami di sekitarnya, dan mempertahankan suhu rendah tersebut. Sistem refrigerasi kompresi uap menggunakan sebuah fluida kerja yang disebut refrigeran, yang mengalami perubahan fasa selama proses refrigerasi berlangsung. Terdapat empat proses dalam sebuah siklus refrigerasi kompresi uap, yaitu kompresi, kondensasi, *throttling*, dan evaporasi. Sistem refrigerasi kompresi uap adalah sebuah siklus termodinamik yang tertutup [1].



Gambar 1. Siklus refrigerasi kompresi uap. 1→2 adalah proses subcooling, 2→3 proses throttling, 3→4 proses evaporasi refrigeran, 4→5 proses superheating, 5→6 proses kompresi, 6→1 proses kondensasi refrigeran.

Unit *water chiller* Laboratorium TKL digunakan sebagai alat peraga untuk mempelajari siklus refrigerasi kompresi uap mekanikal. Unit *water chiller* Laboratorium TKL menghasilkan air dingin yang ditampung di dalam sebuah bak air. Beban refrigerasi bagi unit tersebut disimulasikan menggunakan sebuah pemanas air elektrik yang dicelupkan ke dalam bak sehingga terjadi perbedaan antara suhu air dingin keluaran evaporator (*chilled water supply*) dengan suhu air dingin masukan evaporator (*return chilled water*). Suhu air dingin sebaiknya dijaga agar tidak lebih rendah dari 10°C untuk memastikan tidak terjadi pembekuan air dingin di evaporator. Kalor dari kondenser unit *water chiller* Laboratorium TKL dibuang melalui air pendingin yang disirkulasikan melewati *cooling tower* [2].

2.2 Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino Uno adalah mikrokontroler berbasis prosesor ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin digital yang dapat dijadikan pin masukan atau keluaran dengan enam pin diantaranya dapat digunakan sebagai *pulse width modulator* (PWM), enam pin masukan analog sepuluh bit, sebuah Kristal osilator 16 MHz, sebuah konektor USB, sebuah *power jack*, sebuah *header ICSP*, dan sebuah tombol reset. Untuk menyalakan Arduino Uno diperlukan catu daya dari kabel USB atau kabel *adapter* AC ke DC [3].

2.3 Termistor

Termistor adalah sensor suhu dengan komponen sensor berupa semikonduktor. Perubahan suhu akan mengakibatkan perubahan resistansi pada komponen semikonduktor. Perubahan resistansi pada semikonduktor tidak linear terhadap perubahan suhu. Apabila termistor dihubungkan pada sistem yang dapat melakukan komputasi data, suhu dapat dihitung dengan persamaan Steinhart-Hart seperti berikut [4]:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C(\ln(R))^3 \quad (1)$$

dengan

T adalah suhu terukur, dalam K

R adalah resistansi termistor, dalam ohm

A , B dan C adalah konstanta-konstanta persamaan Steinhart-Hart.

Termistor yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis 10000Ω *negative temperature coefficient* (NTC). Terdapat dua macam termistor yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *screw threaded thermistor* (selanjutnya disebut Termistor A) dan *mini epoxy insulated leads thermistor* (selanjutnya disebut Termistor B0-B7). Penelitian ini memanfaatkan HCF4051BE sebagai *multiplexer 8 channel* yang dihubungkan dengan termistor B0-B7 untuk keperluan *data logging* suhu komponen-komponen refrigerasi.

2.4 Kontrol on-off

Kontrol *on-off* adalah metode kontrol yang paling sederhana. Pada kontrol *on-off*, kontroler berfungsi sebagai saklar yang diaktifkan oleh sinyal galat sehingga menghasilkan aksi kontrol diskontinu berupa sinyal *step*. Sehingga nilai besaran kontrol pada metode kontrol *on-off* akan berosilasi di sekitar nilai *set point*. Osilasi pada nilai besaran kontrol mengakibatkan berkurangnya ketepatan sistem. Pada metode kontrol dengan dua *switch point*, titik perubahan sinyal kontrol dari *on* ke *off* berbeda dengan titik perubahan sinyal kontrol dari *off* ke *on*. Hal ini dilakukan agar perubahan *state switch* tidak terjadi terlalu sering agar *switch* lebih tahan lama, meskipun mengurangi ketepatan sistem [5].

3 Perancangan Pengontrol

Rancangan kontroler ini menggunakan dua buah Arduino Uno yang dirangkai untuk berkomunikasi secara serial. Mikrokontroler 1 menerima sinyal masukan dari perangkat antarmuka dengan operator melalui empat buah *push-button*. Mikrokontroler 2 menjalankan aksi tertentu sesuai dengan perintah yang dikirim dari Mikrokontroler 1 dan input *toggle*. Mikrokontroler 2 berfungsi sebagai penerima masukan dari sensor, pengatur keluaran *relay* dan LCD, pemroses data, dan pengirim data ke komputer melalui komunikasi serial dengan kabel USB.

Kontroler mengendalikan kerja aktuator berupa pompa air dingin dan pompa air pendingin, kipas *cooling tower*, motor elektrik dan *coupling* kompresor. Parameter *set point* suhu dan *timer* ditetapkan oleh operator. Pengendalian aktuator meliputi urutan dan jeda waktu penyalaan dan pemadaman aktuator. Untuk menjaga suhu air dingin sesuai dengan *set point* yang ditentukan, kontroler menyala-matikan *coupling* kompresor. *Coupling* kompresor diatur agar menyala hingga suhu air dingin lebih rendah 1°C dari *set point* dan akan

kembali menyala apabila suhu air dingin lebih tinggi 1 °C dari *set point* dan *coupling* kompresor telah mati selama 5 menit.

4 Hasil Percobaan dan Analisis

4.1 Penghitungan konstanta Steinhart-Hart

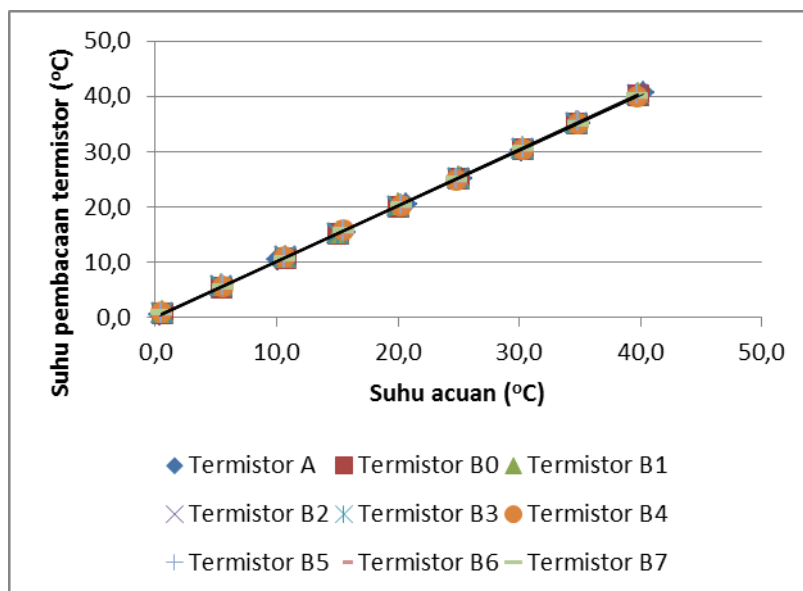
Pengujian dilakukan dengan menghitung resistansi termistor pada suhu 0°C, 20°C dan 40°C. Kemudian kumpulan data resistansi dan suhu dihitung dengan persamaan (1) sehingga didapatkan nilai-nilai konstanta Steinhart-Hart seperti yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta Steinhart-Hart hasil penghitungan

Konstanta	Termistor A	Termistor B
A	$5,3852 \times 10^{-4}$	$6,5154 \times 10^{-4}$
B	$3,2809 \times 10^{-4}$	$2,9246 \times 10^{-4}$
C	$-2,4931 \times 10^{-7}$	$5,3539 \times 10^{-9}$

4.2 Pengujian karakteristik sensor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik statik respon waktu dari Sembilan buah sensor yang digunakan. Gambar 2 memperlihatkan rata-rata pembacaan suhu dan regresi linearnya dari setiap termistor. Tabel 2 memperlihatkan data respon waktu setiap termistor.



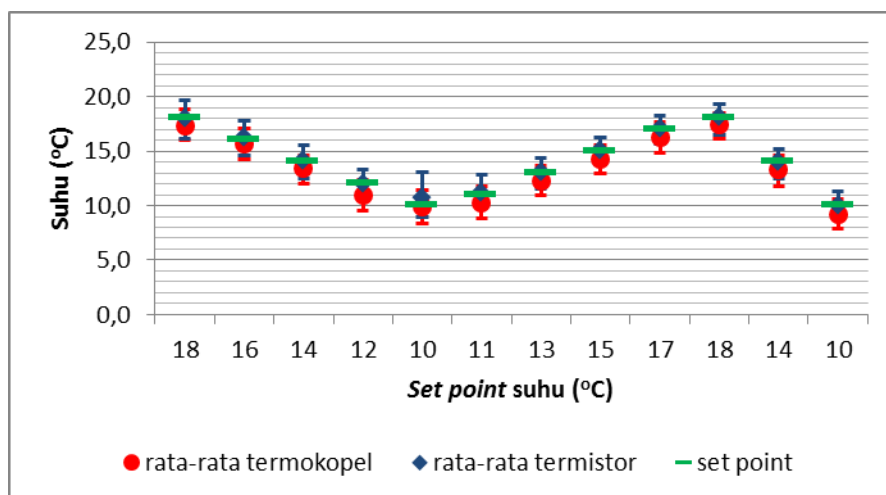
Gambar 2. Grafik pembacaan suhu termistor terhadap acuan.

Tabel 2. Respon waktu termistor.

Parameter	Termistor								
	A	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Konstanta waktu	25s	3s	3s	4s	4s	3s	3s	3s	4s
T95%	65s	6s	6s	7s	6s	7s	6s	5s	6s

4.3 Pengujian kinerja kontroler

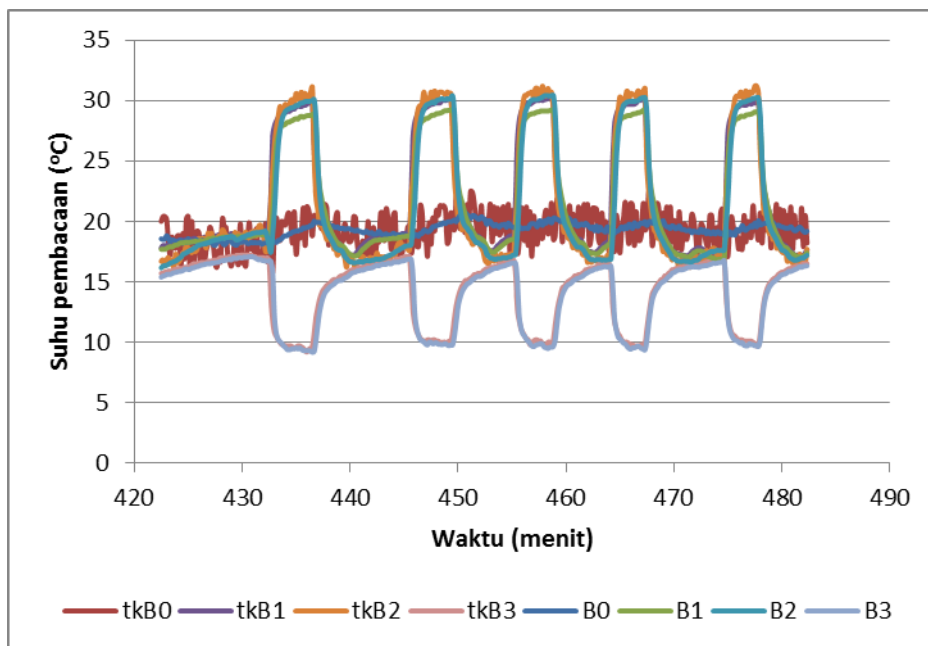
Pengujian ini dibagi menjadi pengujian kestabilan kontroler dan pengujian keterulangan data. Pengujian kinerja kontroler dilakukan dengan mengoperasikan unit *water chiller* Laboratorium TKL yang telah dipasang kontroler selama 12 jam. *Set point* suhu air dingin diubah setiap 1 jam. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3. Pengujian keterulangan data bertujuan mengetahui keterulangan data kondisi suhu air dingin yang didapat pada suatu *set point* setelah mencapai keadaan tunak. *Set point* yang diuji keterulangannya adalah 14°C. Tabel 3 memperlihatkan hasil pengujian keterulangan data kontroler. Hasil perekaman data oleh Termistor B dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

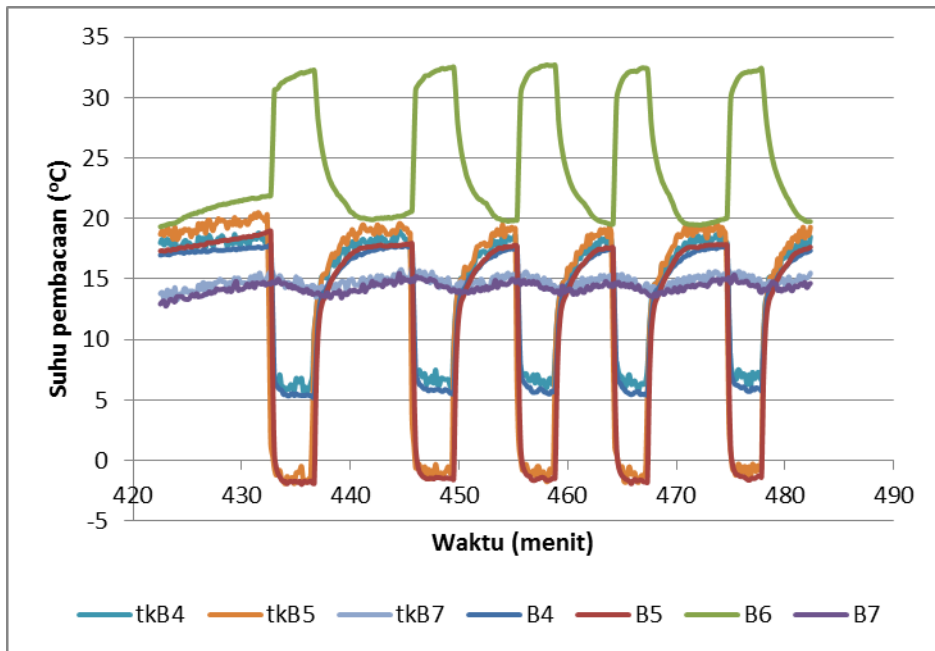


Gambar 3. Grafik sebaran data suhu air dingin pada keadaan tunak.

Tabel 3. Sebaran data pengujian keterulangan data.

Set point (°C)	Termistor A		Termokopel	
	Rata-rata (°C)	Standar deviasi	Rata-rata (°C)	Standar deviasi
14	14,1	0,6	13,3	0,6
10	9,9	0,4	9,1	0,2
14	14,1	0,6	13,3	0,6
18	18,0	0,5	17,3	0,5
14	14,0	0,6	13,3	0,6

**Gambar 4. Grafik perekaman data Termistor B0-B3.**



Gambar 5. Grafik perekaman data Termokopel B4-B7.

5 Kesimpulan

Pada penelitian ini, telah dibuat sistem kontrol pada unit *water chiller* di Laboratorium TKL Teknik Fisika ITB dengan menggunakan sebuah sensor termistor NTC 10k Ω tipe screw threaded thermistor dan delapan buah sensor termistor NTC 10k Ω tipe epoxy insulated thermistor. Setiap termistor memiliki keterulangan pembacaan yang cukup baik dengan standar deviasi maksimum 0,22 pada suhu 5,5°C untuk screw threaded thermistor dan 0,33 pada suhu 25,1°C untuk epoxy insulated thermistor. Termistor tipe screw threaded memiliki nilai settling time 65 detik dan termistor tipe epoxy insulated memiliki nilai settling time 7 detik. Kontroler mampu mengumpulkan data operasi berupa suhu di 9 titik pengukuran. Data operasi dikomunikasikan secara serial dari mikrokontroler Arduino Uno ke komputer dan ditampilkan pada serial monitor Arduino. Data yang ditampilkan harus disalin ke program pengolahan data agar dapat disimpan. Kontroler dapat menyesuaikan kondisi operasi terhadap pengaturan set point suhu air dingin. Set point suhu air dingin dapat diatur pada rentang 0–40°C. Pada keadaan tunak, suhu air dingin keluaran evaporator akan berosilasi pada kisaran suhu $\pm 1^\circ\text{C}$ dari set point dengan rata-rata standar deviasi 0,6

6 Daftar Pustaka

- [1] Kuehn, T.H., Ramsey, J.W., Threlkeld J.L. Thermal Environmental Engineering. Prentice-Hall, 1998.
- [2] “Modul 6 – Refrigerasi pada Water-cooled Water-chiller” modul Praktikum Lab TF 4, Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, 2011.
- [3] ARDUINO, ArduinoBoardUno, Arduino Uno, Agustus 2013, <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>.
- [4] Doebelin, E.O. Measurement Systems Application and Design. McGraw-Hill, 1990.
- [5] Bolton, W. Mechatronics electronic Control Systems in Mechanical Engineering. Longman, pp.222 – 224. 1997.s