

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI ALAT PENGENDALI SUHU AIR BERBASIS MIKROKONTROLER

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF WATER TEMPERATURE CONTROLLER BASED ON MICROCONTROLLER

Muhamad Iqbal¹, Porman Pangaribuan, S.T., M.T.², Agung Surya Wibowo, S.T., M.T.³

^{1,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Abstrak

Seiring berkembangnya dunia teknologi dan kontrol, tingkat kestabilan sebuah sistem menjadi salah satu faktor yang sangat penting baik dalam dunia industri maupun rumah tangga. Alat pengontrol suhu air adalah alat yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam dunia industri. Untuk itu dalam penelitian tugas akhir ini, penulis membuat sebuah alat pengontrol suhu air yang dikendalikan menggunakan sebuah mikrokontroler sehingga dapat menghasilkan suhu air sesuai dengan apa yang diinginkan pengguna. Untuk membuat sistem pengendali suhu air, sistem ini harus mampu mendeteksi suhu air di dalam tangki yang pada penelitian ini digunakan sebuah sensor. Nilai suhu yang diinginkan pengguna diinputkan melalui sebuah interface melalui komputer. Pada alat juga dipasang sebuah LCD dan lima buah push button yang bisa digunakan untuk memberikan input nilai parameter Kp, Ki, Kd serta menampilkan nilai PWM dan set point. Selain itu, pada sistem ini juga diimplementasikan metode kontrol PI untuk mengoptimalkan kinerja alat. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pada alat, nilai parameter Kp dan Ki yang menghasilkan respon yang baik adalah Kp = 17.91 dan Ki = 0.02333 dengan rise time = 287 detik, settling time = 921 detik, dan overshoot = 3,789%.

Kata kunci : Arduino Uno , Elemen Pemanas, Kontrol PI , Interface

Abstract

As the development of the world and control technology, the stability of a system becomes a very important factor both in industry and households. Water temperature controller is a tool that we often find in everyday life as well as in industrial world. Therefore in this thesis, author makes a water temperature controller that controlled by a microcontroller so it can produce the water temperature according to what the user wants. To make a water temperature controller system, the system must be able to detect the water temperature that in this thesis used a sensor. The value of the desired temperature inputted by the user via interface through a computer. Push buttons and LCD also installed to this tool that can be used to provide the PID parameters value and displays the PWM value and set point value. The PI control method also implemented to this system to make this system works optimally. Based on the test results and analysis of the tool, the parameter values Kp and Ki that are appropriate for the system to work optimally is Kp = 17.79 and Ki = 0.02333 with rise time = 287 seconds, settling time = 921 seconds, and overshoot = 3.789%.

Keywords: Arduino Uno , Water Heater, PI Control , Interface

1. Pendahuluan

Alat pengendali suhu air adalah alat yang banyak digunakan di dunia industri maupun rumah tangga. Namun, masih banyak alat yang hanya mengandalkan tombol on/off sebagai pengendalinya. Alat yang hanya menggunakan tombol on/off sebagai pengendali biasanya hanya mengatur suhu berdasarkan waktu, setelah selang beberapa waktu, maka mesin akan mati. Beberapa permasalahan alat pengendali suhu air juga terdapat pada tingkat kepresisian suhu yang dihasilkan. Terkadang suhu yang dikeluarkan melebihi atau bahkan kurang dari suhu yang diinginkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat sebuah alat pengendali suhu air berbasis mikrokontroler yang keluaran suhunya dapat diatur oleh pengguna serta mengoptimalkan kinerja alat dengan mengimplementasikan kontrol PI pada alat pemanas suhu air ini.

2. Material dan Metodologi

2.1 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler yang berbasis ATmega 328P. Mempunyai 14 digital input/output (6 diantaranya bisa digunakan sebagai output PWM) yang terdiri dari 6 analog input, 16 MHz osilator kristal, penghubung USB, power jack, ICSP header, dan tombol reset. Arduino uno memiliki semua yang dibutuhkan untuk menunjang sebuah mikrokontroler. Contoh, untuk mengaktifkan arduino, cukup menghubungkan arduino ke komputer dengan kabel USB atau memberikan tegangan AC ke DC menggunakan adaptor atau baterai[3].



Gambar 1. Arduino Uno

2.2 Sensor Suhu DS18B20

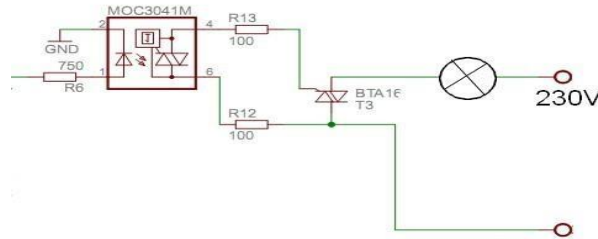
Sensor DS18B20 adalah sebuah sensor suhu yang memiliki kemampuan tahan air atau waterproof. Sensor ini memiliki output data digital, sehingga panjangnya kabel yang digunakan oleh sensor tidak akan terlalu mempengaruhi degradasi data[4]. Untuk pembacaan suhu, sensor ini menggunakan protokol one wire communication sehingga hanya membutuhkan satu pin I/O saja untuk bisa bekerja pada microcontroller. Sensor DS18B20 memiliki kemampuan untuk mengukur suhu pada kisaran -55°C sampai dengan 125°C dan bekerja akurat dengan kesalahan $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada kisaran suhu -10°C sampai 85°C .



Gambar 2. Sensor Suhu DS18B20

2.3 Solid State Relay

Solid state relay (SSR) adalah sebuah saklar elektronik yang tidak memiliki bagian yang bergerak, contohnya opto-coupler SSR, transformer-coupled SSR, dan hybrid SSR. Solid state relay ini dilengkapi dengan isolator berupa komponen MOC yang berfungsi memisahkan bagian input dan bagian saklar. Dengan solid state relay kita dapat menghindari terjadinya percikan api seperti yang terjadi pada relay konvensional[5]. Solid state relay menggunakan kontaktor berupa komponen aktif seperti TRIAC, sehingga SSR dapat dikendalikan dengan tegangan rendah dan dapat digunakan untuk mengendalikan tegangan AC dengan voltase besar[6].



Gambar 3. Rangkaian Opto-triac SSR

2.4 Elemen Pemanas

Elemen pemanas adalah sebuah komponen yang mengubah energi listrik menjadi energi panas. Komponen ini terbuat dari sebuah resistor listrik yang bekerja sesuai prinsip pemanasan Joule, yaitu arus listrik yang melewati hambatan dapat mengubah energi listrik menjadi energi panas[7]. Elemen pemanas ini biasanya terbuat dari kawat berbahan nichrome (80% nikel dan 20% krom). Nichrome merupakan bahan yang ideal karena memiliki resistansi yang relatif tinggi. Elemen pemanas pada gambar 4 adalah elemen pemanas yang memindahkan energi panas dengan cara konduktif. Komponen ini bekerja menggunakan tegangan AC 220V.



Gambar 4. Elemen Pemanas Air

2.5 Sistem Termal

Sistem termal adalah sebuah sistem yang dapat memindahkan energi panas dari satu zat ke zat yang lain. Sistem termal dapat dianalisis dalam bentuk resistansi dan kapasitansi[1]. Energi panas dapat berpindah dari satu zat ke zat yang lain dengan tiga cara yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Kebanyakan sistem kendali yang mengendalikan perpindahan energi panas hanya melibatkan cara konduksi dan konveksi dalam prosesnya. Untuk perpindahan energi panas dengan cara konduksi dan konveksi dapat digunakan persamaan berikut :

$$q=K \Delta\theta \quad (2.1)$$

Keterangan :

q = laju aliran panas (kcal/sec)

K = koefisien (kcal/sec °C)

$\Delta\theta$ = perbedaan suhu (°C)

Sedangkan untuk nilai koefisien K diperoleh dengan persamaan :

$$K= kA/\Delta X, \text{ untuk proses konduksi} \quad (2.2)$$

$$= HA, \text{ untuk proses konveksi} \quad (2.3)$$

Keterangan :

k = konduktivitas termal (kcal/m sec °C)

A = luas area yang dialiri panas (m²)

Δx = ketebalan konduktor (m)

H = koefisien konveksi (kcal/m² sec °C)

2.6 Kontrol PI

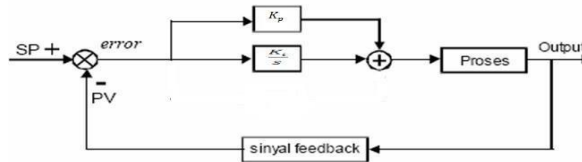
Proses pengendalian memiliki kontribusi yang besar dalam menentukan perilaku sistem. Salah satu tugas komponen kendali adalah mengurangi terjadinya error serta mempercepat respon sistem terhadap sebuah perintah. PI merupakan salah satu metode kontrol yang terdiri dari kontrol proportional, dan integral. Kontrol PI juga merupakan metode kontrol klasik yang masih banyak digunakan hingga saat ini[9].

Pada dasarnya metode kontrol PI berasal dari kontrol PID dengan tidak menambahkan kontrol derivative untuk mengurangi penyebaran dari pengukuran noise penguat acak melalui kontroler, sehingga membatasi variasi sinyal kontrol. Berikut ini ada persamaan penjumlahan dari parameter kontrol PI :

$$u=P+I \tag{2.4}$$

Keterangan :

- u = input kepada aktuator
- P = hasil dari konstanta $K_p \cdot \text{error}$
- I = nilai integral hasil $K_i \cdot \text{error}$



Gambar 5. Diagram Blok Kontrol PI

2.7 Self-Regulating Process

Self-regulating process adalah sebuah sistem yang dalam proses nya tidak memiliki sifat integral. Dengan kata lain, jika sistem diberikan input berupa sinyal pulsa atau sinyal jump, maka grafik respon sistem akan naik dan setelah itu grafik akan kembali turun ke nilai awal. Hal ini dikarenakan adanya self-regulating pada proses tersebut.

Pada dasarnya model self-regulating process dapat didekati oleh sebuah model matematis FOPDT (First Order Plus Dead Time) yang dicirikan oleh tiga parameter yang menggambarkan dinamika proses yaitu dead time (θ s), process time constant (τ s), dan process gain (K)[8].

A. Process Gain (K)

Parameter K adalah perubahan nilai steady state pada output dibagi dengan perubahan sinyal input.

$$K= \Delta y/\Delta u \tag{2.5}$$

B. Process Time Constant (τ)

Parameter τ_s menunjukkan seberapa cepat respon perubahan pada output saat nilai input berubah. Untuk menentukan parameter τ_s , dapat dilihat pada waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai titik 63.2% dari total perubahan output.

$$\tau= 63\% \Delta y \tag{2.6}$$

C. Dead Time (θ)

Dead time adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk merespon perubahan yang terjadi pada input.

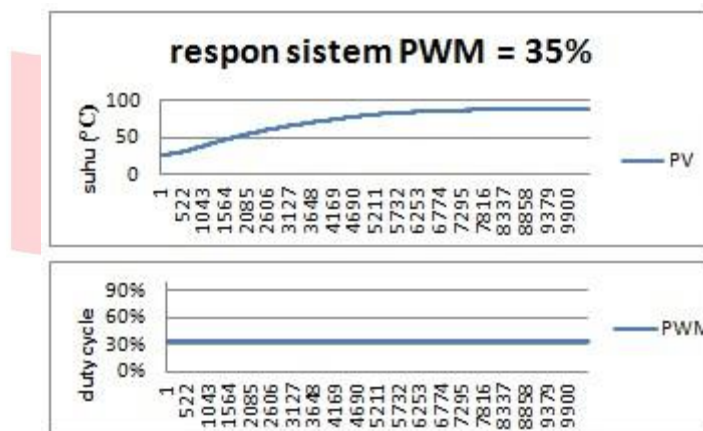
3. Pembahasan

3.1 Model Matematis FOPDT

Fungsi alih sistem dengan self-regulating process dapat didekati oleh model matematis FOPDT. Secara umum model matematis FOPDT adalah :

$$H(s) = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-\theta s} \tag{3.1}$$

Percobaan secara open-loop (*bump test*) pada sistem dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter FOPDT.



Gambar 6. Grafik Suhu Air Uji *Open-loop*

Dari hasil percobaan yang bisa dilihat pada gambar 5 dapat ditentukan parameter parameter FOPDT :

A. Process Gain (K)

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (3.2)$$

$$= \frac{60.5}{89}$$

$$= 0.679 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{V}}$$

B. Process Time Constant (τ s)

$$\tau = 63.2\% \Delta y \quad (3.3)$$

$$= 63.2\% (60.5^{\circ}\text{C})$$

$$= 38.23^{\circ}\text{C}$$

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 38.6°C adalah 990 detik.

C. Dead Time (θ s)

$$\theta = 49 \text{ detik}$$

- Sehingga didapat model matematis FOPDT :

$$H(s) = \frac{0.679}{990s + 1} e^{-49s} \quad (3.4)$$

3.2 Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Pengujian ini dilakukan untuk menguji tingkat akurasi pengukuran suhu pada tangki air oleh sensor DS18B20. Pengujian ini dilakukan dengan cara memanaskan tangki air sampai dengan suhu tertentu. Lalu sensor DS18B20 akan mengukur suhu air pada tangki dan dibandingkan dengan suhu yang terukur pada thermometer.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan lima suhu air yang berbeda. Hasil pengujian kemudian akan dibandingkan antara hasil pengukuran thermometer dan sensor DS18B20.

| No. | Thermometer | DS18B20 | Selisih |
|-----|-------------|---------|---------|
| 1. | 12.1° | 12.88° | 0.78 |
| 2.. | 24.8° | 25.25° | 0.45 |
| 3. | 35.5° | 35.1° | 0.4 |
| 4. | 36.5° | 36.44° | 0.06 |
| 5. | 37.8° | 37° | 0.8 |
| 6. | 39.2° | 38.63° | 0.57 |
| 7. | 41.8° | 40.88° | 0.92 |
| 8. | 80.6° | 80.25° | 0.35 |
| 9. | 93.6° | 93.31° | 0.29 |

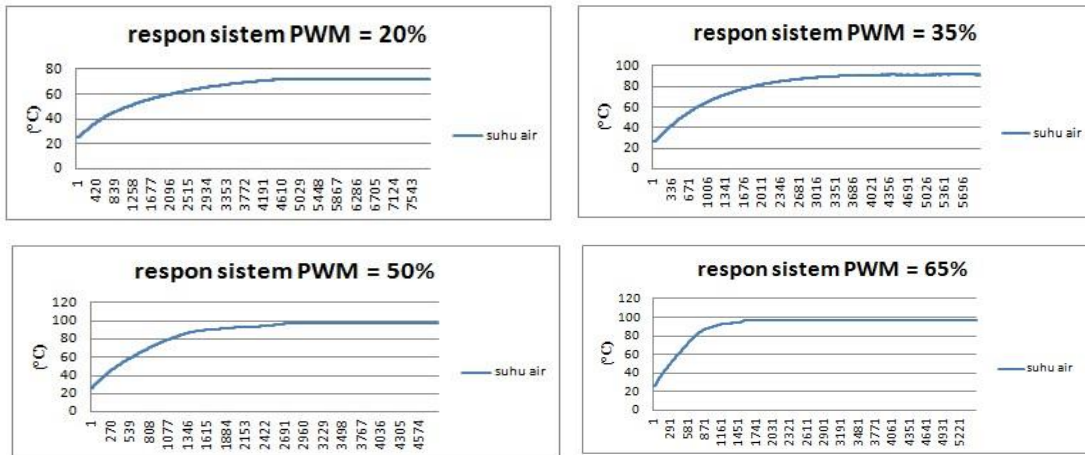
Tabel 1 Perbandingan Pengukuran DS18B20 dan Thermometer

3.3 Pengujian Elemen Pemanas Air

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis sifat dari elemen pemanas yang digunakan. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan nilai PWM dan tegangan AC pada elemen pemanas air. Setelah elemen pemanas memanaskan air, selanjutnya suhu air akan dibaca oleh sensor untuk mengetahui kinerja elemen pemanas saat diberi input berupa sinyal PWM maupun tegangan AC.

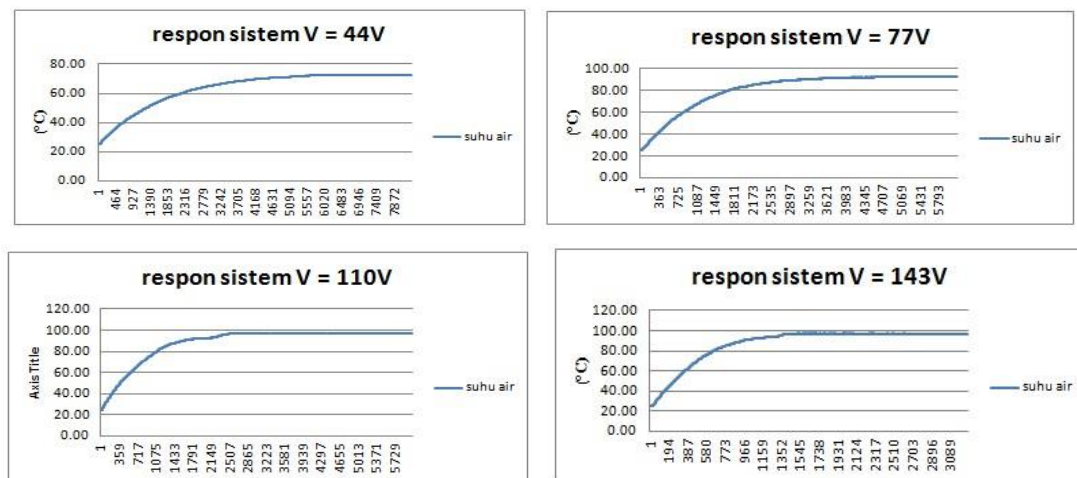
Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan dua nilai yang berbeda untuk input berupa sinyal PWM yaitu 25% dan 35%. Sedangkan untuk input berupa tegangan AC menggunakan dua nilai tegangan yang berbeda yaitu 55VAC dan 110VAC. Elemen pemanas akan diuji sampai suhu air mencapai kondisi steady state.

- Pada pengujian dengan menggunakan nilai PWM = 25% dan 35% didapatkan grafik hasil pembacaan PLX-DAQ sebagai berikut :



Gambar 7 Grafik Suhu Air dengan Input PWM

- Pada pengujian dengan menggunakan tegangan AC = 44V, 77V, 110V, dan 143V didapatkan grafik hasil pembacaan PLX-DAQ sebagai berikut:



Gambar 8 Grafik Suhu Air dengan Input Tegangan AC

- Hasil pengujian dibandingkan antara input menggunakan PWM dan input menggunakan tegangan AC.

| No. | PWM | V | Suhu Maksimal Air | |
|-----|-----|------|-------------------|------|
| | | | PWM | V |
| 1 | 20% | 44V | 72°C | 72°C |
| 2 | 35% | 77V | 88°C | 92°C |
| 3 | 50% | 110V | 97°C | 97°C |
| 4 | 65% | 143V | 97°C | 97°C |

Tabel 2 Perbandingan Suhu Maksimal Antara Input PWM dan Tegangan

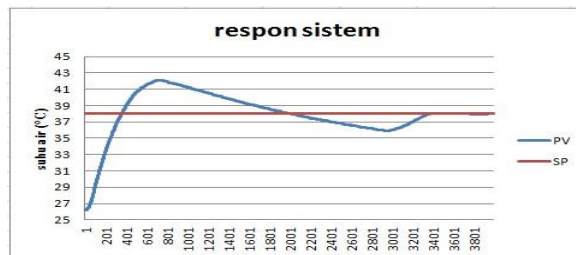
Berdasarkan tabel hasil pengujian pada tabel 4.2, dapat diamati bahwa titik didih air berada di 97°C. Hasil pengujian antara input menggunakan PWM dan input menggunakan tegangan AC memiliki suhu maksimal yang tidak jauh berbeda.

3.4 Pengujian Kontrol PI Untuk Pengontrolan Suhu Air

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter Kp dan Ki yang tepat agar sistem dapat bekerja secara optimal. Pertama-tama pengujian ini dilakukan dengan mencari nilai referensi Kp dan Ki menggunakan MATLAB berdasarkan plant sistem. Setelah mendapatkan nilai referensi Kp dan Ki, selanjutnya respon dari alat akan diamati untuk dibandingkan dengan respon sistem hasil dari simulasi pada MATLAB.

Pada pengujian ini digunakan empat nilai sample parameter-parameter PI lalu dibandingkan setiap respon sistem yang dihasilkan untuk dicari nilai parameter yang paling sesuai agar sistem bekerja secara optimal. Suhu awal air pada pengujian ini adalah $\pm 25^{\circ}\text{C}$ sampai dengan 26°C . Set point pada pengujian ini adalah 38°C .

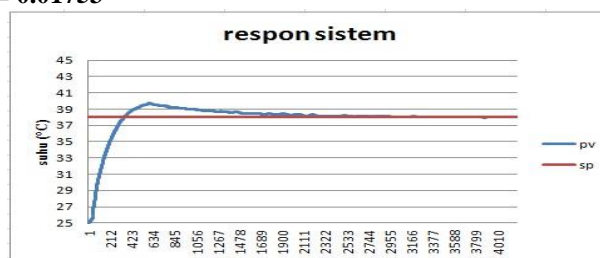
A. $K_p = 7.713$ dan $K_i = 0.3$



Gambar 9 Grafik Suhu Air dengan $K_p = 7.713$, $K_i = 0.3$, $SP = 38$

Berdasarkan grafik hasil pengujian pada gambar 8, dapat diamati rise time = 359 detik, settling time = 3237 detik, dan overshoot = 10.868%.

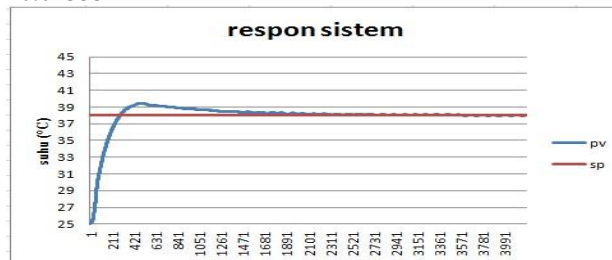
B. $K_p = 14.27$ dan $K_i = 0.01753$



Gambar 10 Grafik Suhu Air dengan $K_p = 14.27$, $K_i = 0.01753$, $SP = 38$

Berdasarkan grafik hasil pengujian pada gambar 9, dapat diamati rise time = 350 detik, settling time = 1186 detik, dan overshoot = 4.446%.

C. $K_p = 17.97$ dan $K_i = 0.02333$

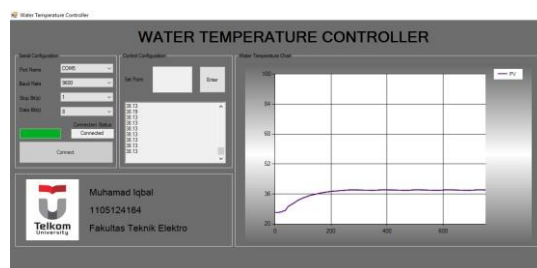


Gambar 11 Grafik Suhu Air dengan $K_p = 17.97$, $K_i = 0.02333$, $SP = 38$

Berdasarkan grafik hasil pengujian pada gambar 10, dapat diamati rise time = 287 detik, settling time = 921 detik, dan overshoot = 3.789%.

3.5 Pengujian User Interface

Pengujian ini dilakukan untuk menguji kehandalan user interface yang dibuat menggunakan software visual studio. Pengujian ini dilakukan saat semua komponen telah terintegrasi. Alat dan user interface lalu dihubungkan dengan menggunakan komunikasi serial. Setelah sistem bekerja dan user interface dapat terhubung secara serial dengan arduino, maka grafik yang telah dirancang akan menampilkan respon dari sistem.



Gambar 12 User interface

Dari hasil pengujian user interface, komunikasi serial antara arduino dan laptop dengan menggunakan software visual studio bekerja dengan baik. Visual studio dapat menampilkan grafik respon sistem secara real-time tanpa delay yang berarti.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang dilakukan pada penelitian tugas akhir kali ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengukuran suhu air menggunakan sensor suhu DS18B20 memiliki selisih yang cukup kecil dibandingkan dengan menggunakan thermometer.
2. Suhu maksimal yang dapat dicapai elemen pemanas air tergantung pada nilai PWM atau besarnya tegangan yang diberikan.
3. Dengan nilai perubahan suhu sebesar 13°C , dipilih nilai $K_p = 17.97$ dan $K_i = 0.02333$ karena memiliki respon sistem seperti yang diharapkan dengan nilai rise time = 287 detik, settling time = 921 detik, serta overshoot = 3.789%.
4. Komunikasi serial antara laptop dan arduino melalui *software* visual studio berjalan dengan lancar dan visual studio mampu menampilkan grafik respon sistem secara *real-time*.

Daftar Pustaka

- [1] Ogata, K. (2002). Modern Control Engineering fourth edition. Prentice Hall Ltd.
- [2] Oktaria, B. W. (2015). Simulasi Sistem Pengendalian Level Air pada Water Surge Tank 1001A SMF Duri PT. Chevron Pacific Indonesia Menggunakan Perangkat Lunak LabVIEW.
- [3] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, diakses pada tanggal 10 November 2016.
- [4]. Akhyar, N. (2015). Rancang Bangun Alat Pengstabil Suhu Minyak Kelapa Sawit Berbasis Mikrokontroler ATmega 8.
- [5] <http://elektronika-dasar.web.id/teori-solid-state-relay/>, dikases pada tanggal 11 November 2016.
- [6] <http://zoniaelektro.net/solid-state-relay/>, diakses pada tanggal 11 November 2016.
- [7] <http://hotwater.techindo.co/pemanasairlistrik.htm>, diakses pada tanggal 11 November 2016.
- [8] Cooper, D. J. (2005). Practical Process Control. Control Station, Inc.
- [9] Åström, K. J. (2002). Control System Design.
- [10] <https://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2/2011-2-00660-%20SK%20Bab%202.pdf>, diakses pada tanggal 12 November 2016.