

PEMANTAUAN PERUBAHAN SUHU TERHADAP PENGONTROLAN PADA HEAT EXCHANGER DENGAN SENSOR PT100 BERBASIS

Andriani Parastiwi, Yufinda Rahmatika Pratama¹⁾,

Syaiful Ulil Amri

Politeknik Negeri Malang

¹⁾yufindarahmatika@gmail.com

Abstrak

Heat exchanger berfungsi mentransfer energi panas antara 2 *fluida*, atau antar partikel padat dengan *fluida* yang memiliki beda suhu dan terjadi kontak panas secara kontinyu. Pada penelitian ini, *input Heat Exchanger* adalah udara dengan tekanan bervariasi yang dipanaskan dan dikontrol sehingga *output Heat Exchanger* adalah udara panas dengan suhu dijaga 200°C. Pemantauan perubahan suhu *heat exchanger* berfungsi untuk memantau hasil pengaturan suhu sehingga output tetap pada seting suhu tertentu dan memantau perubahan suhu terhadap waktu pada proses konversi panas pada *Heat Exchanger* yang dihasilkan. Sensor suhu yang digunakan adalah PT100 dengan *Raspberry Pi 3* sebagai mikrokontrolernya dan pengontrolan suhu yang digunakan adalah kontrol dengan kontrol PID. Kontrol PID bertujuan untuk menstabilkan suhu output *Heat Exchanger* 200°C dengan tekanan udara input berbeda dengan cara mengatur bukaan motor servo yang terpasang di pemanas pada *heat exchanger*. Tekanan udara input 3 bar mencapai suhu 200°C di menit ke 8 lebih cepat daripada tekanan udara input 5 bar yang mencapai suhu 200°C pada menit ke 9,5 menit. Dengan berbasis internet, maka pemantauan perubahan suhu dapat dipakai untuk integrasi dalam sistem yang lebih luas dalam plant industri.

Kata-kata Kunci: *Heat Exchanger*, Internet, Pemantauan, Sensor PT100, Suhu.

Abstract

The heat exchanger functions to transfer heat energy between 2 fluids, or between solid particles with fluid that has a temperature difference and continuous heat contact occurs. In this study, the Heat Exchanger input is air with a pressure of 3 bars which is heated and controlled so that the Heat Exchanger output is hot air with a temperature maintained at 200 ° C pressurized by 3 bars. Temperature change monitoring The heat exchanger is used to monitor the results of temperature regulation so that the output stays at a certain temperature setting and monitors temperature changes to the time in the heat conversion process at the Heat Exchanger produced. The temperature sensor used is PT100 with Raspberry Pi 3 as the microcontroller and the temperature control used is a control with PID control. The PID control aims to stabilize the temperature of the Heat Exchanger 200°C output with a different input air pressure. The 3 bar input air pressure reaches a temperature of 200°C in 8 minutes faster than the 5 bar input air pressure reaches a temperature of 200°C in 9,5 minutes. With internet based, monitoring temperature changes can be used for integration in a wider system in industrial plants.

Keywords: Heat Exchanger, Internet, Monitoring, Sensor PT100, Temperature.

1. PENDAHULUAN

Kebanyakan Industri di Indonesia memilih menggunakan *heat exchanger* karena memiliki fungsi yang sangat luas. Tidak hanya sebagai alat sterilisasi, *heat exchanger* juga dapat berfungsi sebagai alat kristalisasi, pasteurisasi, alat pendingin, dan lain sebagainya. Pentingnya peranan *heat exchanger* dalam industri menjadikan *heat exchanger* sebagai sistem yang harus selalu dipantau agar sistem bekerja dengan maksimal. Pada penelitian ini, *input heat exchanger* adalah udara dari kompresor yang akan dipanaskan dengan kompor gas dan diharapkan suhu yang dihasilkan stabil pada 200°C dengan bertekanan antar 3bar sampai 5 bar. Sensor Suhu yang digunakan adalah PT100 dan *Raspberry Pi 3* sebagai mikrokontroler untuk memproses semua data pada sistem. Kontrol PID dipilih untuk menstabilkan suhu output *heat exchanger* meskipun tekanan udara input berbeda-beda. Penggunaan kontrol dan monitor jarak jauh dapat digunakan apabila perangkat terhubung dengan internet.

Diharapkan, pemantauan jarak jauh tersebut dapat menghubungkan sistem di Industri secara luas.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pemantauan Suhu dengan Sensor Suhu PT100

Suhu adalah besaran fisika yang menyatakan derajat panas. Pemantauan Suhu pada Heat Exchanger bertujuan untuk mencegah kerusakan pada alat-alat yang digunakan, pengontrolan jalannya proses, dan mendapatkan mutu produk atau kondisi operasi yang sesuai dengan keinginan. Sensor suhu adalah suatu komponen yang dapat mengubah besaran panas menjadi besaran listrik sehingga dapat mendeteksi gejala perubahan suhu pada obyek tertentu. Pada penelitian ini, sensor suhu yang digunakan adalah PT100 yang tergolong jenis sensor suhu RTD. Resistansi nominal sensor RTD adalah besarnya resistansi sensor pada saat memiliki suhu 0°C. Meskipun hampir semua nilai resistansi dapat dicapai untuk resistansi nominal, tetapi yang paling umum adalah platinum 100 Ω atau disingkat PT100. Pada suhu 0°C nilai resistansi yang terbaca pada RTD adalah 100 Ω. Antara nilai resistansi dan suhu adalah linier. Model matematis dari linieritas resistansi dan suhu dapat dilihat pada persamaan di bawah ini

$$R_t = R_0(1 + \alpha\Delta t)$$

Dimana,

R_0 = tahanan konduktor pada *temperature* awal

R_t = tahanan konduktor pada *temperature* maksimal

α = koefisien *temperature* tahanan

Δt = selisih antara *temperature* kerja dengan *temperature* awal.

2.2 Heat Exchanger

Heat exchanger adalah suatu alat yang biasa digunakan di industri untuk mentransfer energi panas diantara 2 *fluida* atau diantara suatu permukaan padat dan suatu cairan atau diantara

sesuatu yang padat dengan suatu cairan tertentu, dimana kedua atau lebih *fluida* tersebut mempunyai perbedaan suhu dan terjadi suatu kontak panas [1]. *Shell and Tube Heat Exchanger* dapat digunakan pada laju aliran *fluida* yang relatif besar, biasanya banyak digunakan di industri. Pada *heat exchanger* ini, salah satu *fluida* akan mengalir di dalam pipa-pipa sedangkan *fluida* yang lainnya dialirkan melalui *shell* melintasi luar pipa. Bagian-bagian yang harus terdapat pada *heat exchanger* yaitu *tubes*, *shell*, *noozles*, dan *baffles*. *Shells* adalah salah satu bagian dari *heat exchanger* yang biasa disebut dengan cangkang sebagai lapisan luar tempat *tubes* berada. Didalam *shells* ini terdapat aliran *fluida* yang memiliki beda *temperature* dengan *fluida* pada *tubes*. *Baffles* berfungsi untuk menjamin *fluida* mengalir melalui *shell* dan melintas *tubes*, sehingga perpindahan panas yang terjadi akan lebih tinggi [2].

2.3 Internet

Internet di masa kini bagaikan sudah menjelma menjadi kebutuhan primer yang setara dengan makanan, pakaian, dan tempat tinggal. Internet membuka cakrawala manusia, sebagai sarana yang mampu memberitahu manusia tentang berbagai hal yang ada di kota lain, negara lain, bahkan benua lain. Interconnection network atau internet adalah sistem global dari seluruh jaringan komputer yang saling terhubung satu dengan lainnya. Kata internet berasal dari bahasa latin "inter" yang berarti "antara". Internet merupakan jaringan yang terdiri dari milyaran komputer yang ada di seluruh dunia. Internet melibatkan berbagai jenis komputer serta topology jaringan yang berbeda. Dalam mengatur integrasi dan komunikasi jaringan, digunakan standar protokol internet yaitu TCP/IP. TCP bertugas untuk memastikan bahwa semua hubungan bekerja dengan baik, sedangkan IP bertugas untuk mentransmisikan paket data dari satu komputer ke komputer lainnya.

2.4 Studi Yang Pernah Dilakukan

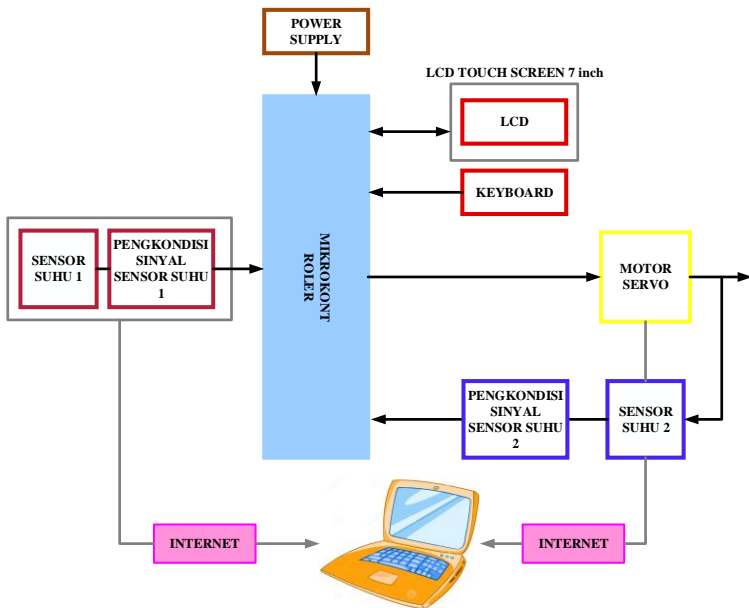
Untuk memberikan landasan yang kuat terhadap penelitian ini, maka terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang sedang dan telah dilakukan oleh peneliti sebagai berikut:

- a. Heroe Poernomo membuat alat *monitoring* mesin penukar panas (*heat exchanger*) untuk menganalisis unjuk kerja dan karakteristiknya. Pengambilan data dan pengolahan data suhu dari *Heat Exchanger* biasanya dilakukan secara manual yang akan berpengaruh pada ketepatan hasil perhitungan dan analisis unjuk kerja dari sistem penukar panas tersebut. Dari hasil percobaan didapatkan hasil pengukuran dengan alat *monitoring* ini cukup akurat mendekati sama dengan alat indikator mesin dengan selisih sekitar 0.3°C [3].
- b. Ekadewi meneliti tentang pengaruh jarak penggunaan *baffles* pada *heat exchanger*. Menurutnya, *Heat exchanger* yang dioperasikan tanpa *baffle* ternyata memiliki efektifitas terendah. Semakin kecil jarak antar *baffle* yang dipasang membuat efektifitas meningkat namun kemudian menurun. Hal ini menunjukkan adanya nilai optimum pula untuk jarak *baffle* yang dipasang dalam suatu *heat exchanger* [4].
- c. Handoyo meneliti pengaruh penggunaan *Baffle* atau penyangga pada *Shell and Tube Heat Exchanger*. Untuk membuat perpindahan panas lebih baik dan untuk menyangga *tube* yang ada di dalam *shell*, maka sering dipasang *baffle*. Dari hasil penelitian didapat bahwa efektifitas meningkat dan penurunan tekanan dengan dipasangnya *baffle Shell-and-Tube Heat Exchanger* [2].
- d. Rusdhianto Effendi meneliti pada proses perpindahan panas terdapat *delay time* sehingga dibutuhkan suatu kontroler agar diperoleh *temperature fluida* sesuai dengan kriteria yang diinginkan, diharapkan tidak terdapat energi yang terbuang, serta pemanfaatan sumber energi yang tersedia benar-benar dapat lebih efisien. *Model Predictive Control* (MPC) telah berhasil diaplikasikan karena kemampuannya untuk mengatasi berbagai masalah multivariabel kontrol seperti interaksi, waktu tunda dan batasan. MPC dapat menghasilkan respon yang stabil tanpa adanya overshoot serta mampu mencapai *setpoint*

yang diinginkan yaitu 70°C , pada beban tetap (nominal) ataupun beban bervariasi sekitar 20 % dari beban nominal dengan waktu *steady state* 35s [6].

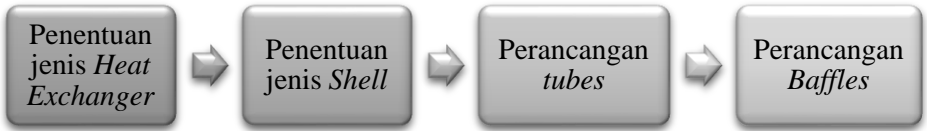
3. METODE

Untuk menyelesaikan penelitian ini, ada beberapa tahap yang harus dilakukan antara lain: desain Heat Exchanger, merancang pengkondisi sinyal PT100, pengujian pengkondisi sinyal PT100, dan merancang serta menguji pemantauan jarak jauh berbasis Internet. Sistem keseluruhan yang akan dibuat ditunjukkan pada Gambar 1.



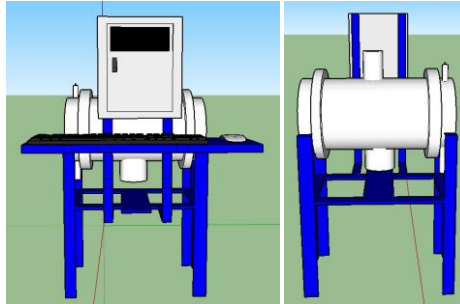
Gambar 1. Blok Diagram Sistem

3.1 Desain Heat Exchanger



Gambar 2. Alur Perancangan *Heat Exchanger*

Berdasarkan Gambar 2, alur perancangan mekanik *Heat Exchanger* dibagi menjadi 4 bagian. Hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan jenis dari *heat exchanger*. Tipe *heat exchanger* yang paling cocok digunakan yaitu *heat exchanger shell and tube*. Maksimal *pressure heat exchanger shell and tube* yaitu 8000 psi atau setara 551 bar dengan maksimal *temperature* sampai dengan 1000 °F atau setara dengan 537,778 °C. Jenis *shell* yang akan digunakan yaitu *split flow*. Bahan yang digunakan pada *shell heat exchanger* adalah pipa besi dengan diameter luar 27 cm dan ketebalan 8 mm Kemudian, langkah selanjutnya adalah merancang bentuk *tubes* yang akan digunakan. Jenis *tube* yang digunakan adalah *U-tube* yang mengacu pada penelitian R. Selbas. Penelitian tersebut membuktikan bahwa *tube* dengan bentuk *U-tube* adalah yang paling efektif [5]. Jenis *U-tube* ini juga yang paling sering digunakan pada *heat exchanger*. Bahan untuk *tube heat exchanger* yaitu pipa dengan diameter lincch berjumlah 8 yang dipasang dengan bentuk *square pitch*. Perancangan selanjutnya adalah perancangan *Baffles* berfungsi untuk menjamin *fluida* mengalir melalui *shells* dan melintasi *tubes* (tabung), sehingga perpindahan panas yang terjadi akan lebih tinggi. Karena jenis *heat exchanger* yang akan dibuat adalah *parallel split flow heat exchanger*, *baffles* akan terpasang pada bagian tengah dari *shell heat exchanger*. Bahan *baffles* menggunakan plat besi dengan tebal 8 mm.. Perancangan mekanik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perancangan Desain Mekanik Heat Exchanger

3.2 Pengkondisi Sinyal

Sensor Suhu yang digunakan pada penelitian ini PT100. Sensor Sensor Suhu PT100 terbuat dari logam platinum. Disebut PT100 karena sensor dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 Ω . Jadi, Sensor Suhu PT100 adalah variabel resistor yang nilai resistansinya berubah sesuai dengan kenaikan suhu. Dari *datasheet*, diketahui 2 karakteristik PT100 yaitu persamaan perubahan nilai resistansi terhadap perubahan nilai suhu yang ditunjukkan pada rumus berikut:

$$R_{PT} = 100 + (0,385 * suhu)$$

Besaran nilai resistansi sensor suhu PT100 yang digunakan dapat tidak dapat terbaca langsung oleh mikrokontroler. Diperlukan rangkaian jembatan *wheatstone* yang berfungsi untuk mengukur nilai resistansi dari PT100 dan menghasilkan tegangan *output* dari PT100. Untuk mengukur nilai resistansi PT100 ketika suhu 0° C sebagai R4 dengan menyetimbangkan jembatan *wheatstone* dengan rumus sebagai berikut:

$$R_{PT} = \frac{R2}{R3} x R1$$
$$R_{PT} = \frac{100}{100} x 100$$

$$R_{PT} = 100$$

Dimana,

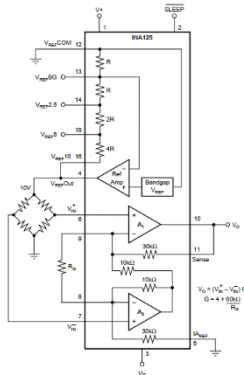
R_{PT} = Resistansi PT100 ketika suhu 0° C

R1 = Resistor sebesar 100 Ω

R2 = Resistor sebesar 100 Ω

R3 = Resistor sebesar 100 Ω

Akan tetapi, tegangan yang dihasilkan dari jembatan *wheatstone* tidak dapat terbaca oleh mikrokontroler karena terlalu kecil. Untuk itu, diperlukan amplifier sebagai pengkondisi sinyal dan penguat sinyal agar sesuai dengan *range* input mikrokontroler. *Amplifier* yang digunakan adalah IC INA125 yang seperti Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Ina125

Dari datasheet INA125, untuk menghitung nilai penguat yang dibutuhkan menggunakan rumus persamaan:

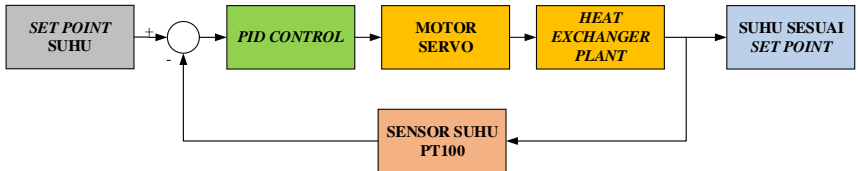
$$Gain = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$$

Dimana,

Gain = nilai penguatan

R_G = nilai resistansi *multiturn*

3.3 Kontrol PID

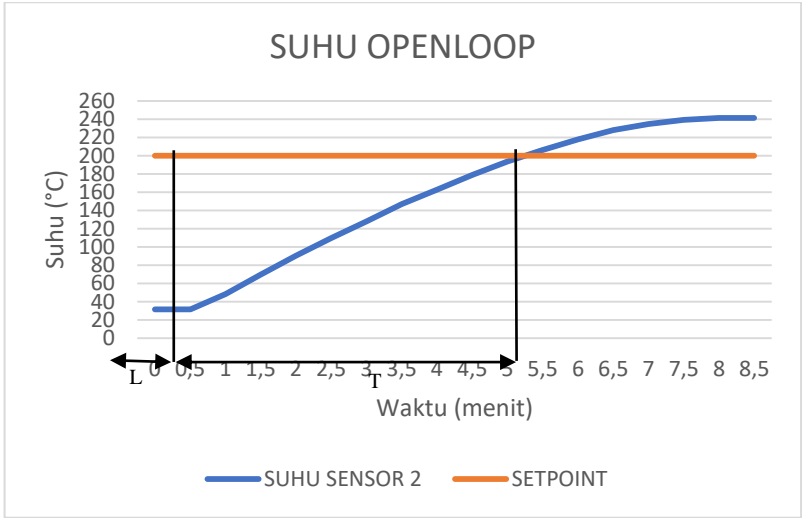


Gambar 5. Diagram Blok Kontrol PID

Pada perancangan dan pembuatan kontrol algoritma PID yang akan diproses menggunakan rumus dibutuhkan umpan balik berupa pembacaan suhu yang diperoleh dari sensor suhu PT100. Diagram blok kontrol PID diunjukkan oleh Gambar 5. Dari Gambar 5 dapat dijelaskan bahwa:

- Mikrokontroler digunakan sebagai otak dari sistem. Mikrokontroler berfungsi untuk pengolahan data. Suhu sistem bekerja dengan *setpoint* 200 ° C.
- Suhu dari sensor PT100 kurang dari *setpoint*, maka motor servo berputar untuk membesarkan nyala api kompor gas.
- Suhu dari sensor PT100 lebih dari *setpoint*, maka motor servo berputar untuk mengecilkan nyala api kompor gas.

Untuk mencari kurva respon, motor servo harus dalam keadaan bukaan motor servo 180° yang merupakan bukaan maksimal dari valve kompor. Gambar kurva reaksi yang dihasilkan oleh kompor yang digerakkan oleh motor servo



Gambar 6. Kurva Respon Dengan Suhu Maksimal

Dari Gambar 6 diketahui bahwa respon plan berupa kurva S, sehingga dalam perancangan ini digunakan metode Ziegler Nichols 1. Langkah selanjutnya yaitu mencari nilai L dan T dari grafik kurva respon, maka didapatkan nilai L = 31,5 dan T = 283,5. Setelah mendapatkan nilai L dan T maka selanjutnya dilakukan perhitungan seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 K_p &= 1,2 \times T/L \\
 &= 1,2 \times 283,5/31,5 = 10,8 \\
 T_i &= 2 \times L \\
 &= 2 \times 31,5 = 63 \\
 T_d &= 0,5 \times L \\
 &= 0,5 \times 31,5 = 15,75
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai Kp, Ti dan Td maka nilai Kp, Ki dan Kd dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Kp = Kp$$

$$= 10,8$$

$$Ki = Kp/Ti$$

$$= 10,8/63$$

$$= 0,17$$

$$Kd = Kp \times Td$$

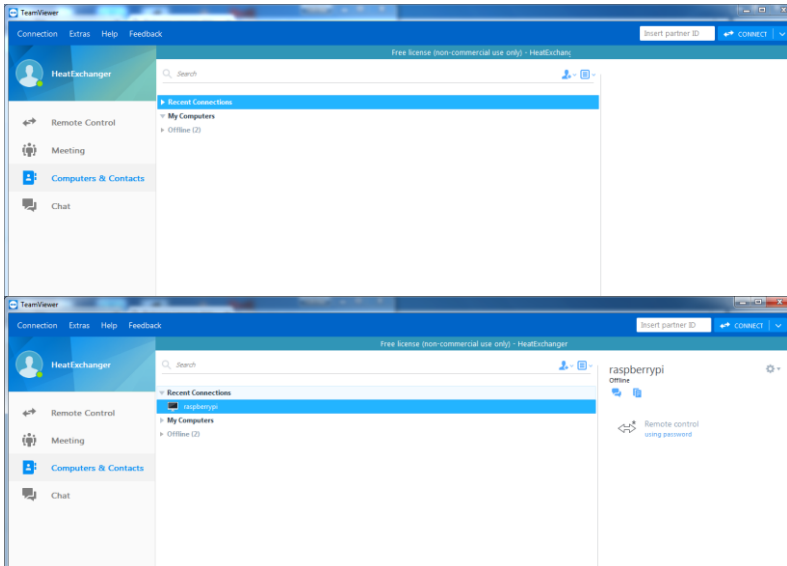
$$= 10,8 \times 15,75$$

$$= 170,1$$

Dari perhitungan dan respon dari *plant* diatas maka didapatkan nilai $Kp = 10,8$, $Ki = 0,17$ dan $Kd = 170,1$

3.4 Pemantauan Suhu Berbasis Internet

Internet adalah sebuah konsep dimana suatu objek memiliki kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi manusia ke manusia. Pada penelitian ini, pemantauan suhu berbasis internet menggunakan *software Team Viewer* yang mana *software* ini harus diinstall di *Raspberry Pi 3* sebagai mikrokontrolernya dan di PC yang akan digunakan untuk memonitor. Langkah pertama yang harus dilakukan setelah menginstall *Team Viewer* yaitu membuat akun *Team Viewer*. Setelah itu, *login* akun *Team Viewer* di *Raspberry Pi 3*, PC, dan *smartphone* yang nantinya akan disambungkan dengan *Raspberry Pi 3*.



Gambar 7. Tampilan Team Viewer Di PC Setelah Login

Setelah login, pilih folder *computer* dan pilih *raspberrypi*. Kemudian, untuk *controlling* dan *monitoring*, pilih tanda anak panah bolak balik dan *Raspberry Pi 3* dan pilih *Remote Control* (*using password*) seperti pada Gambar 7.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Pengkondisi Sinyal PT100

Pengujian pengkondisi sinyal sensor suhu PT100 berfungsi untuk mengetahui kemampuan sensor suhu PT100 terhadap perubahan suhu. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan sensor suhu PT100 rangkaian jembatan *wheatstone*, rangkaian penguat sinyal INA12,5 serta rangkaian ADC MCP3008. Pengujian dilakukan dengan membandingkan suhu termometer dan mengukur tegangan output yang dihasilkan oleh sensor suhu PT100 yang diukur pada pin Vout rangkaian pengkondisi sinyal dengan Vout dari hasil perhitungan.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Pengujian Pt100 1

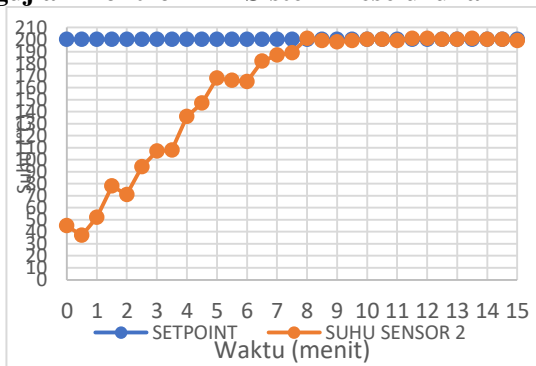
Suhu (°)	Hasil Perhitungan (V)	Hasil Pengujian (V)	Error (%)
80	1,278	1,27	0,01
70	1,138	1,13	0,64
60	0,992	0,99	0,37
50	0,841	0,84	0,77
40	0,685	0,68	0,18
30	0,523	0,52	0,32

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pengujian Pt100 2

Suhu (°)	Hasil Perhitungan (V)	Hasil Pengujian (V)	Error (%)
80	1,227	1,22	0,08
70	1,092	1,09	0,25
60	0,952	0,94	0,35
50	0,807	0,80	0,56
40	0,657	0,65	0,09
30	0,502	0,49	1,15

Dari tabel hasil pengujian 2 sensor suhu PT100 dengan menggunakan rangkaian penguat dapat dilihat bahwa terdapat selisih kecil antara Vout dari rangkaian pengkondisi sinyal dengan Vout hasil perhitungan sekitar 0,01% sampai dengan 1,34%. Error tersebut masih dalam batas toleransi sehingga tidak merubah pembacaan sensor suhu PT100.

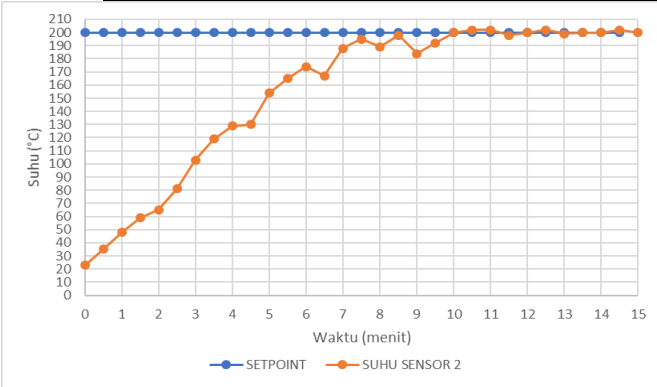
4.2 Pengujian Kontrol PID Sistem Keseluruhan



Gambar 8. Hasil Pengujian Sistem Setpoint 200°C Dan Tekanan Input 3 Bar

Tabel 3. Respon Sistem Hasil Pengujian Sistem Setpoint 200°C Dan Tekanan Input 3 Bar

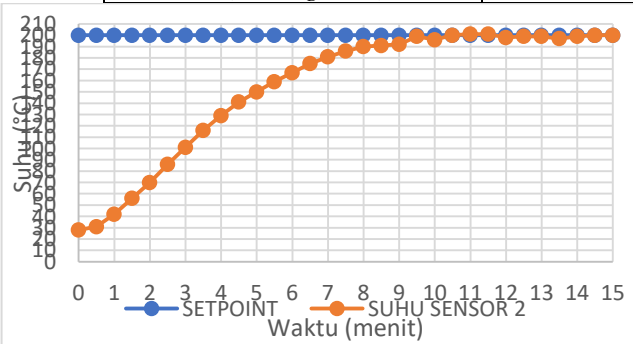
Performa Respon Kurva	Hasil
td (<i>time delay</i>)	240 s / 4 m
tr (<i>rise time</i>)	480 s / 8 m
ts (<i>settling time</i>)	480 s / 8 m



Gambar 9. Hasil Pengujian Sistem Setpoint 200°C Dan Tekanan Input 4 Bar

Tabel 3. Respon Sistem Hasil Pengujian Sistem Setpoint 200°C Dan Tekanan Input 4 Bar

Performa Respon Kurva	Hasil
td (<i>time delay</i>)	300 s / 5 m
tr (<i>rise time</i>)	600 s / 10 m
ts (<i>settling time</i>)	420 s / 7 m



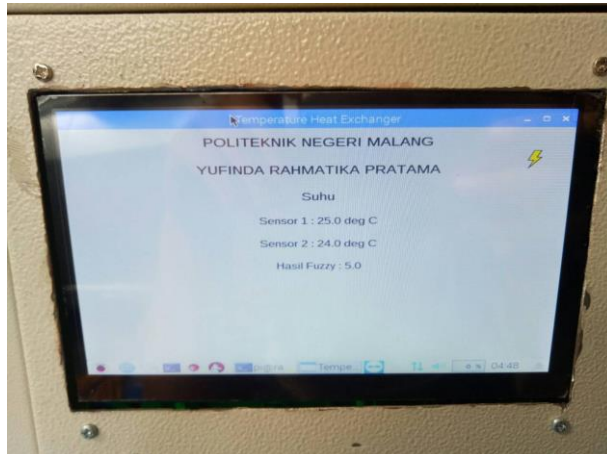
Gambar 10. Hasil Pengujian Sistem Setpoint 200°C Dan Tekanan Input 5 Bar

Tabel 3. Respon Sistem Hasil Pengujian Sistem Setpoint 200°C Dan Tekanan Input 5 Bar

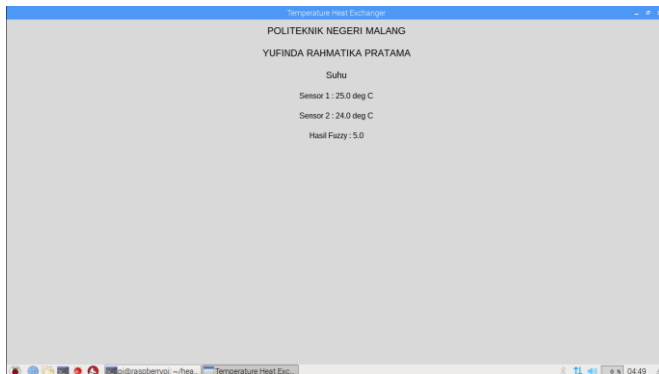
Performa Respon Kurva	Hasil
td (<i>time delay</i>)	270 s / 4,5 m
tr (<i>rise time</i>)	590 s / 9,5 m
ts (<i>settling time</i>)	480 s / 8 m

4.3 Pengujian Pemantauan Suhu berbasis Internet

Pengujian *Internet Gateway* dilakukan untuk mengetahui apakah *Internet Gateway* dapat bekerja untuk mengontrol dan memonitor *Raspberry Pi 3*. Setelah melakukan *step-step* awal hasil yang didapatkan adalah seperti Gambar 11 dan 12.



Gambar 11. Display Pada LCD Touchscreen 7 Inch



Gambar 12. Display pada PC

5. PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- 1) Kontrol PID berfungsi menstabilkan suhu *output Heat Exchanger* 200°C dengan mengontrol putaran motor servo yang terpasang pada kompor gas.
- 2) Suhu *output Heat Exchanger* dapat mencapai 200°C dengan tekanan 3 bar dalam waktu 8 menit, dengan tekanan input 4 bar dalam waktu 10 menit dan dengan tekanan input 5 bar dalam waktu 11 menit.
- 3) Pemantauan Suhu pada Heat Exchanger berbasis Internet dilakukan agar sistem dapat dimonitor dan digunakan untuk integrasi dalam sistem yang lebih luas di Industri.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haryadi. 2012. *Perpindahan Panas*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- [2] Handoyo, E. 2001. *Pengaruh Penggunaan Baffle pada Shell-and-Tube Heat Exchanger*. <http://jurnalmesin.petra.ac.id/index.php/mes/article/view/15934/15926> diakses tanggal 15 Desember 2017.
- [3] Poernomo, H. 2013. Pembuatan Alat Monitoring Mesin Penukar Panas (Heat Exchanger) untuk Menganalisis Unjuk Kerja dan Karakteristiknya. *KAPAL, Vol 10 No 3*.

- [4] Ekadewi, A. H. (2001). Pengaruh Penggunaan Baffle pada Shell and Tube Heat Exchanger. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra, ISSN-1410-9867, 3*.
- [5] Selbaş, R., Kızılkın, Ö., & Reppich, M. (2006). A new design approach for shell-and-tube heat exchangers using genetic algorithms from economic point of view. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 45(4), 268-275*.
- [6] Ekasari, F., Effendi, R., & Iskandar, E. (2014). Pengendali Temperatur Fluida pada Heat Exchanger Dengan Menggunakan Algoritma Model Predictive Control (MPC). *Jurnal Teknik Pomits, Vol. 3 No.1, ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)*