

DESAIN KENDALI PEMANAS MENGGUNAKAN ALGORITMA PID PADA PLC OMRON

CONTROL DESIGN OF HEATER WITH PID ALGORITHM FOR OMRON PLC

¹Muhammad Alfin Imanputera ²Dr. Muhammad Ary Murti, S.T., M.T ³Junartha Halomoan, S.T., M.T

1, 2, 3 Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹muhammadalfin@student.telkomuniversity.ac.id,

²arymurti@telkomuniversity.ac.id,

³junartha@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pemanasan merupakan salah satu proses yang dilakukan dalam industri pembuatan makanan. Proses pemanasan dilakukan dengan memberi energi panas pada makanan dalam suatu ruangan pemanas, contohnya dengan menggunakan *oven* atau *microwave*. Energi panas dihasilkan dari gas *LPG (Liquid Petroleum Gas)* dimana *valve* pada kompor dikendalikan menyesuaikan temperatur yang diinginkan oleh pengguna. Dua buah variabel yang dikendalikan yaitu temperatur ruang pemanas dan waktu.

Penulis merancang desain kendali pemanas menggunakan *PLC OMRON CP1H* dengan metode kontrol *PID*. Dalam menentukan parameter *PID*, Penulis menggunakan metode *Auto-tuning* untuk diimplementasikan pada *ladder diagram*. Performasi dari kendali *PID* juga diamati oleh Penulis pada tugas akhir ini.

Pada pengujian didapatkan hasil percobaan berupa nilai penurunan persentase lewatan maksimum (*%Mp*) antara parameter *PID* yang berasal dari inisiasi referensi dan hasil proses *Auto-tuning*.

Kata kunci: *Oven, PLC OMRON CP1H, PID, Auto-Tuning, temperatur, waktu*

Abstract

Warming is one of the process in the food-making industry. Warming process is executed by given the heat energy to dough in a heating room, like using an oven or microwave. Heat energy is generated from LPG gas (Liquid Petroleum Gas) where the valve at the stove is controlled to adapt the temperature that adjust by the user. Two variables that controlled, there are the heating room temperature and the time process.

The Author was design the control system used by the OMRON CP1H PLC with PID control method. To deciding the value of PID Parameter, the Author used the Auto-tuning method to be implemented in ladder diagram program. Performations of PID control also was observed by the author in this final project.

From the experiment, was obtained the degression of Maximum Overshoot Percentage (%Mp) between the PID parameter from reference initiation and the value from the Auto-tuning process..

Keywords: *Oven, OMRON CP1H PLC, PID, Auto-Tuning, temperature, time*

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi pada masa kini menjadi hal yang tidak dapat dihindari oleh seluruh manusia. Teknologi semakin berkembang mengikuti kebutuhan manusia yang seiring bertambah juga. Teknologi akan memudahkan manusia, dalam melakukan aktifitas, terutama dalam melakukan pekerjaan. Penerapan otomatisasi dalam teknologi menjadi hal yang diperlukan dalam dunia industri. Dengan adanya otomatisasi, pekerjaan manusia akan terbantu oleh suatu alat yang ikut bekerjasama dan memudahkan pekerjaan. Sebuah sistem otomatisasi menyimpan perintah sesuai dengan yang diprogram oleh manusia.

Salah satu proses dalam dunia industri ialah proses pemanasan. Contohnya industri makanan seperti pabrik kue, yang menggunakan proses pemanasan pada adonannya agar kue dapat menjadi matang. Tentu peranan otomatisasi akan membantu dalam menjaga proses pemanasan agar temperatur dalam ruang pemanas dapat tetap terjaga, sehingga akan dihasilkan produk yang memiliki standar yang sama.

Untuk menanggapi hal tersebut, dibutuhkan sebuah desain kendali alat pemanas yang berbasis teknologi otomasi. Dimana temperatur pada ruang pemanas, serta waktu pada proses pemanasan dapat dikendalikan dan dapat dipantau oleh pengguna dalam memanaskan kue.

Pada penelitian kali ini, penulis bermaksud mengimplementasikan desain sebuah kendali pemanas yang digunakan untuk keperluan industri, terutama industri kue. Dimana temperatur pada ruang pemanas, serta waktu yang digunakan untuk memanaskan kue, dapat dikendalikan oleh pengguna via data memory pada program.

Dalam merealisasikan desain kendali pemanas tersebut, penulis akan merancang suatu desain kendali dengan algoritma *PID* dalam bahasa pemrograman *ladder diagram* untuk mengendalikan temperatur pada alat pemanas tersebut.

Desain kendali pemanas ini akan dilakukan dengan menerapkan otomatisasi pada sistem penggunaannya. Hal ini mengingat masih ada kekurangan pada sistem konvensional pada oven. Kekurangan tersebut ialah, masih rentannya sistem konvensional terhadap kesalahan yang diakibatkan oleh keterlibatan manusia dalam dalam pengumpulan dan pengolahan data[1].

2. Tinjauan Pustaka

Penulis telah melakukan pengamatan terhadap pemanas konvensional yang bekerja secara manual dalam melakukan proses pemanasan. Dimana, alat pemanas konvensional pun, ternyata masih banyak diterapkan di industri-industri makanan, terutama home industry. Proses pemanasan dilakukan dengan mengatur pengapian dengan gas *LPG*, dimana pengguna menentukan setpoint temperatur dan waktu secara manual, kestabilan antar parameter yang belum tercipta dengan baik, serta tidak dalam sistem yang saling interkoneksi. Parameter yang perlu diimplementasikan dalam merancang suatu sistem kendali pemanas ialah temperatur dan waktu[1].

Pada tugas akhir ini, penulis melakukan perancangan dengan menrapakan sistem kendali berbasis otomatisasi. Tentunya, sistem otomatisasi memiliki kemurahan dalam penggunaan dan berbagai keuntungan[2], dibandingkan proses pemanasan dengan sistem konvensional. Pada tugas akhir ini, Penulis melakukan suatu perancangan sistem berbasis otomatisasi.



Gambar 1 Pemanas Konvensional Pada Perusahaan Kue

2.1. PLC Omron CP1H



Gambar 2 PLC Omron CP1H-XA40DT1-D

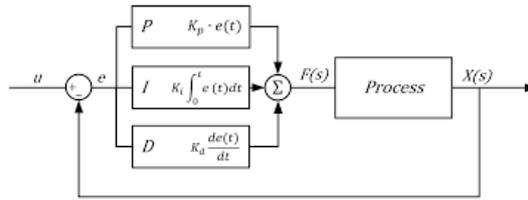
PLC (Programmable Logic Controller) adalah sebuah *microprocessor* yang didalamnya terdapat controller yang dapat diprogram untuk memberikan instruksi, dan menjalankan berbagai fungsi seperti logika, perhitungan, dan aritmatika dalam mengedalikan suatu proses dan mesin. Secara garis besar, *PLC* memiliki beberapa bagian diantaranya, Central Processing Unit, Power Supply Unit, Input/Output Interface Section, Communications Interface, dan Programming Device.[3]

PLC merupakan suatu controller yang banyak digunakan pada dunia industri masa kini. Dalam merancang desain sistem kendali pemanas yang telah dibuat pada tugas akhir ini, Penulis menggunakan *PLC* Omron CP1H CPU tipe CP1H-XA40DT1-D. *PLC* jenis ini menggunakan catu daya berupa arus searah atau DC serta memiliki 24 port DC input dan 16 port output relay[4].

Dalam melakukan suatu *wiring PLC* CP1H-XA40DT1-D, Penulis menggunakan metode *sourcing* pada output-outputnya. *Sourcing* merupakan metode menyambungkan *port COM* (Common) dengan tegangan sebesar +24V.

2.2. Kontrol PID

Untuk merancang suatu sistem kendali agar didapat suatu hasil dengan kestabilan yang baik, maka dalam proyek tugas akhir ini, Penulis memilih untuk menggunakan metode PID. Metode kontrol PID telah mengoperasikan sebagian besar sistem kontrol di dunia. Pada sektor industri 95% pengendali adalah tipe PID karena sifatnya sederhana, penerapan dan penggunaan yang mudah ditawarkan oleh kontroler PID[5].



Gambar 3 Diagram Blok Kontrol PID

Selain keberhasilan PID yang banyak diterapkan di dunia industri, PID memiliki hasil yang baik serta struktur algoritma PID yang sederhana, memiliki kekokohan, serta luasnya penerapan untuk digunakan[5]. PID memiliki tiga tipe kontrol, diantaranya kontrol *Proportional*, kontrol Integrator, dan kontrol Derivative.

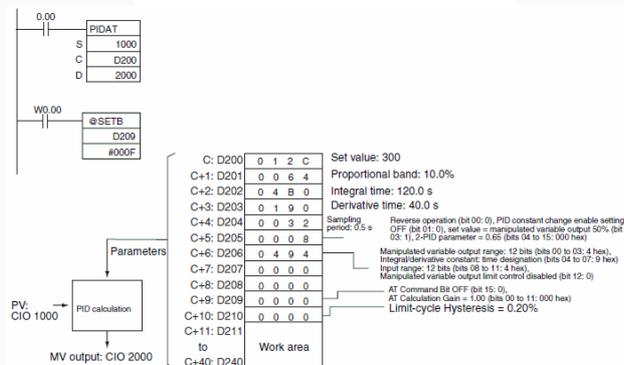
PID dikenal untuk meningkatkan respon dinamis serta mengurangi atau menghilangkan *error steady state*. Pengontrol derivatif berfungsi untuk meningkatkan respon transient. Kontroler integral berfungsi untuk mengurangi *error steady state*[5].

Sehingga dalam PID untuk memperoleh kestabilan pada sistem yang akan dibuat, perlu adanya *tuning* terhadap parameter PID. *Tuning* yaitu proses untuk menyepadankan nilai parameter PID. Pada proyek tugas akhir ini, *tuning* pada parameter PID dilakukan untuk mendapatkan nilai konstanta yang diperlukan untuk diimplementasikan pada program yang dibuat dalam *ladder diagram*.

Tuning pada parameter PID merupakan hal yang penting karena parameter pada PID akan memberikan pengaruh yang baik pada stabilitas dan kinerja sistem kontrol [5]. Proses *tuning* pada parameter PID dilakukan oleh Penulis untuk diimplementasikan pada program PID menggunakan *ladder diagram*.

2.3. Metode Auto-Tuning PIDAT

Masing-masing produsen PLC memiliki mekanisme tersendiri dalam melakukan pengimplemtasian parameter PID terhadap program yang akan dibuat. Pada PLC Omron yang menggunakan *CX-Programmer* sebagai software untuk membuat *ladder diagram*, terdapat *instruction* PIDAT (191). Dengan *instruction* PIDAT, maka proses *tuning* pada parameter PID dapat dilakukan ketika membuat program *ladder diagram* pada PLC menggunakan *CX-Programmer*[6].



Gambar 4 PIDAT (191) Instruction[6]

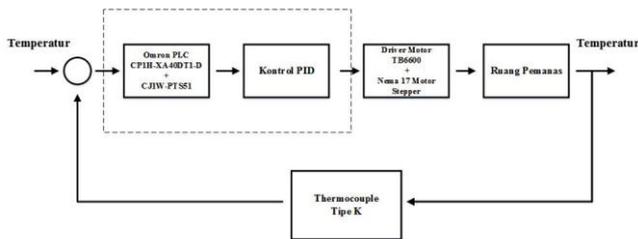
Instruksi *PIDAT* (191) pada ladder diagram digunakan untuk mengeksekusi parameter PID pada ladder diagram. Konstanta dari nilai perhitungan pada parameter PID yang dibuat dalam sistem, akan dimasukkan ke dalam *Data Memory* pada *CX-Programmer*. Sehingga parameter yang dimasukkan oleh Penulis akan dieksekusi oleh instruksi *PIDAT*. Instruksi akan mengesekusi proses *Auto-Tuning* ketika bit 09 dalam memori D209 diaktifkan. Sehingga pengimplemetasian *tuning* PID pada program *ladder diagram* pun dapat dilakukan diawal pemrograman[6].

3. Perancangan Sistem

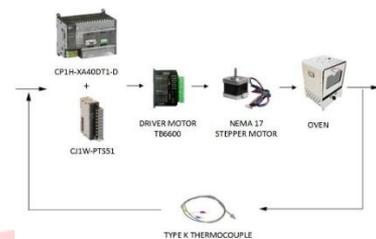
3.1. Diagram Blok

Perancangan sebuah sistem kendali pemanas ini oleh Penulis seperti digambarkan dalam diagram blok pada Gambar 5, dimana PLC sebagai kontroler. Sistem kendali ini dapat digambarkan pada Gambar 6.

Pada perancangan desain kendali pemanas ini, Penulis merancang diagram blok sistem seperti pada Gambar 5. *Setpoint* dari proses pemanasan ditentukan oleh pengguna dengan memasukkan angka pada *data memory* program di *CX-Programmer*, serta peranan PLC akan bertindak sebagai otak pemrosesan kerja dari sistem yang bekerja. Dalam



Gambar 5 Diagram Blok Fungsi Sistem Kendali Pemanas



Gambar 6 Diagram Blok Fungsi Sistem Kendali Pemanas

hal ini, penulis melakukan ekspansi pada *PLC* Main Unit CP1H-XA40DT1-D dengan *PLC* Special Unit I/O (Temperature Control Unit) CJ1W-PTS51.

PLC CJ1W-PTS51 akan mengirimkan nilai yang terbaca oleh *Thermocouple* pada *PLC* CP1H-XA40DT1-D, maka unit CP1H-XA40DT1-D akan membandingkan nilai input dan nilai dari *feedback* sehingga terjadi adanya nilai *error* yang masuk pada kontroler apakah temperatur pada ruang pemanasan telah tercapai dengan nilai *setpoint* dari proses pemanasan.

Proses pembacaan nilai temperatur pada ruangan pemanasan akan dilakukan oleh *Thermocouple* yaitu sensor yang berfungsi untuk mendeteksi temperatur pada ruang pemanasan hingga pada temperatur 400 °C. Selanjutnya *Thermocouple* akan memberikan data temperatur pada *PLC*.

Nilai temperatur yang diterima oleh *PLC* akan memberikan instruksi pada aktuator sistem yaitu *motor stepper* yang terhubung oleh sebuah poros pada kompor gas pada sistem pemanasan, sehingga apabila nilai temperatur dan waktu pemanasan yang ditentukan oleh pengguna belum tercapai, maka *PLC* akan terus memberi perintah untuk terus melakukan penyesuaian posisi *valve* pada poros kompor gas, terhadap nilai temperatur yang sedang terjadi pada ruang pemanas.

Ketika proses pemanasan pada ruang pemanas telah selesai, ditandai dengan telah tercapainya temperatur dan waktu yang telah ditentukan oleh pengguna. Maka, sistem pada ruang pemanas, akan menghentikan seluruh proses pemanasan pada objek, ditandainya dengan posisi poros kompor yang kembali ke posisi awal.

3.2. Spesifikasi Sistem

Pada proyek tugas akhir yang akan saya buat ini, Penulis akan menentukan spesifikasi sistem yang akan dirancang diantaranya:

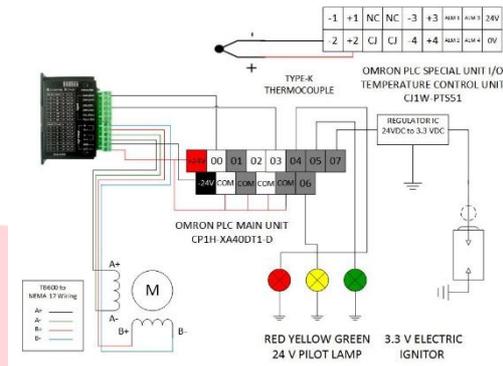
- Pengguna dapat memasukan nilai input dari *setpoint* dan *timer* dari proses pemanasan, juga melakukan monitoring terhadap nilai temperatur yang terbaca pada *data memory CX-Programmer*.
- Proses pemanasan ditandai dengan terbukanya *valve* gas oleh poros yang dibantu berputar oleh *motor stepper* yang terhubung dengan *gear*.
- Adanya *pushbutton* "START" untuk memulai proses pemanasan, serta *pushbutton* "STOP" untuk menghentikan proses pemanasan.
- Adanya indikator berupa *pilot lamp* yang berfungsi untuk menandakan keadaan *standby*, proses sedang bekerja, dan proses telah berakhir.

3.3. Perancangan Perangkat Keras

Pada proyek tugas akhir ini, Penulis akan mengkombinasikan fungsi perangkat keras yang diperlukan untuk merancang desain kendali pemanas yang diperlukan sebagai berikut, serta diagram blok fungsi hardware seperti Gambar 6. Penulis juga melakukan perancangan pada perangkat keras seperti berikut:

3.3.1. Addressing dan Wiring I/O

Addressing pada input dan output yaitu tahap melakukan insiasi alamat pada komponen-komponen terhadap port I/O pada *PLC*. Pengalamatan pada komponen-komponen ini akan berguna untuk melakukan *wiring* dan tata letak komponen pada port I/O, serta akan memudahkan pembuatan program *ladder diagram*. Penulis akan melakukan pengalamatan dan *wiring* pada seluruh komponen seperti tabel dibawah sebagai berikut:



Gambar 7 Wiring I/O

Alamat	Input
CIO 0.00	Push Button Start
CIO 0.01	Push Button Stop
CIO 2002.00	Type K - Thermocouple

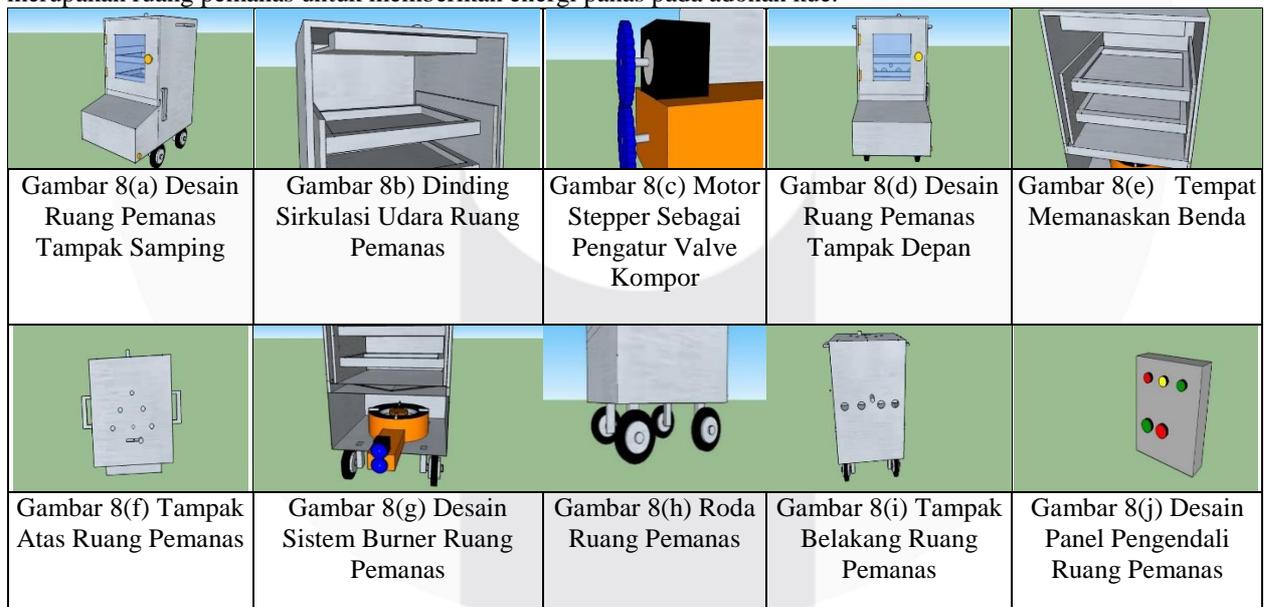
Tabel 1 Pengalamatan Input

Alamat	Output
CIO 100.00	Pulse Output (Motor Forward)
CIO 100.03	Pulse Output (Motor Reverse)
CIO 100.04	Red Pilot Lamp
CIO 100.05	Green Pilot Lamp
CIO 100.06	Yellow Pilot Lamp
CIO 100.07	3.3 VDC Electric Ignitor

Tabel 2 Pengalamatan Output

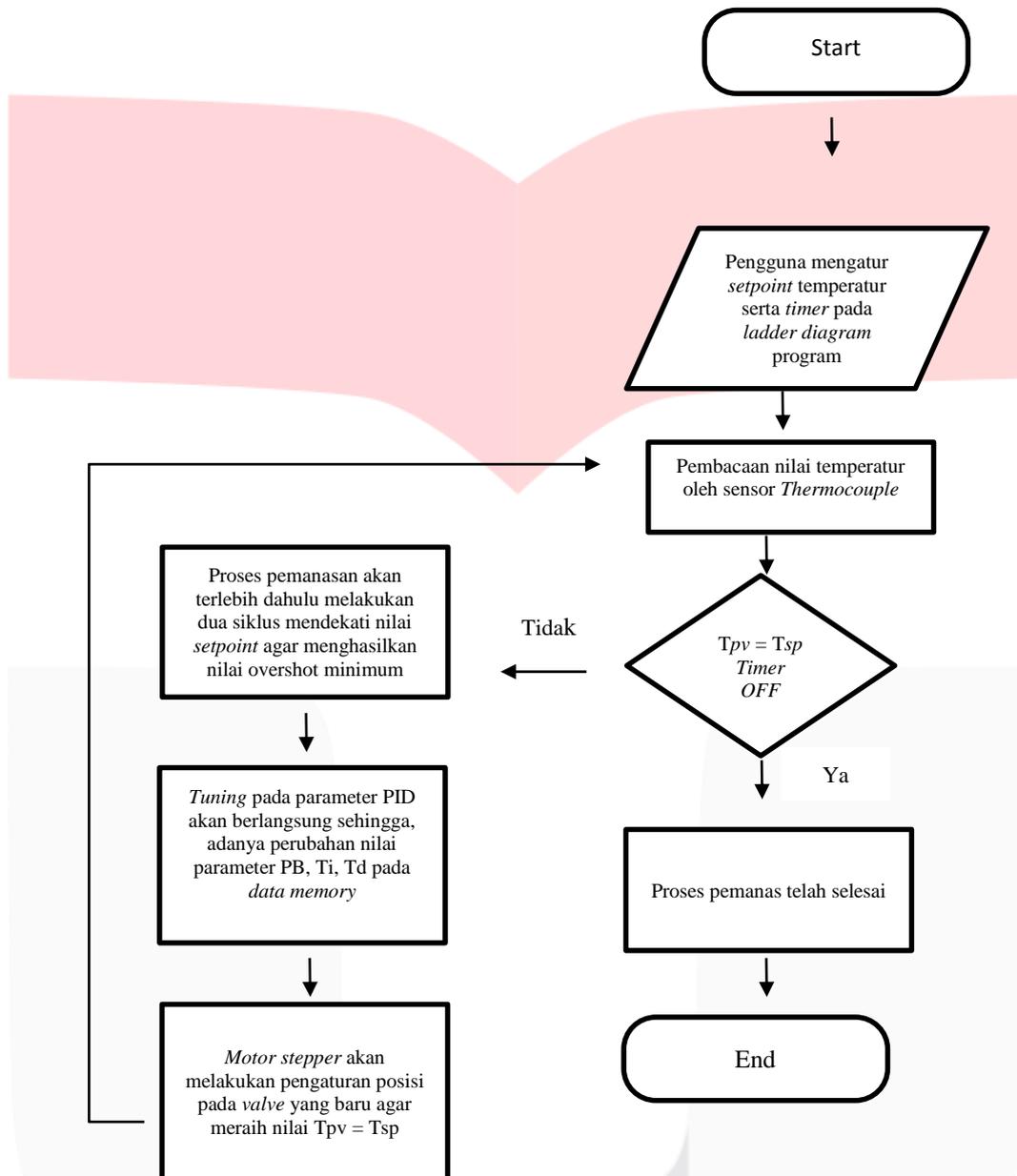
3.3.2. Desain Ruang Pemanas

Dalam merancang desain kendali pemanas yang akan dibuat, Penulis telah merancang desain tiga dimefnsi yang dibuat menggunakan Sketchup Pro 2015. Pada gambar tersebut Penulis merancang desain oven yang didalamnya merupakan ruang pemanas untuk memberikan energi panas pada adonan kue.



Ruang pemanas tersebut memiliki pintu yang berfungsi membuka dan menutup dan terdapat kaca sehingga memudahkan pengguna untuk melihat proses pemanasan yang sedang berlangsung pada dalam ruang pemanas. Serta adanya dinding ruang pemanas yang terbuat dari bahan konduktor panas, sehingga proses konduksi panas yang didapat oleh adonan akan didapat dari dinding ruang pemanas.

3.3.3. Diagram Alir Perangkat Lunak



Gambar 9 Diagram Alir Perangkat Lunak

Pemanasan akan berlangsung selama timer ON atau masih aktif dalam melakukan penghitungan mundur. Apabila timer OFF maka waktu proses pemanasan telah habis atau menandakan proses pemanasan telah selesai. Kontrol PID pun akan terus digunakan selama proses pemanasan berlangsung.

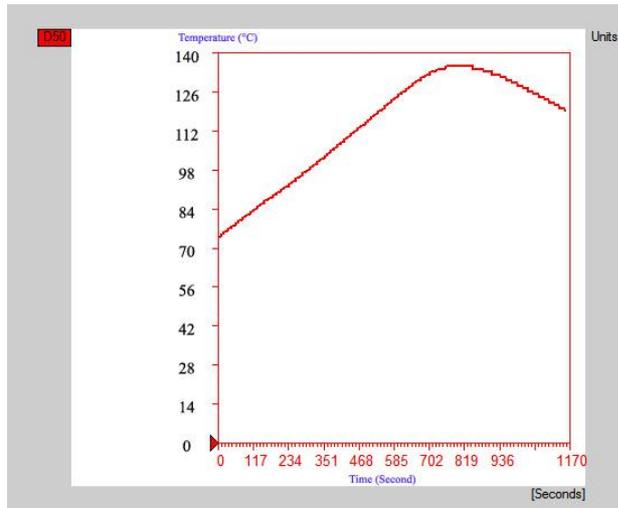
4. Pengolahan Data dan Analisis

Pada pengujian sistem *closed-loop* yang diterapkan dalam desain kendali pemanas, Penulis menggunakan metode kendali PID (Proportional Integral Derivative) dengan tujuan mendapat parameter PID hasil *auto-tuning* untuk mencapai kestabilan dalam merealisasikan sistem kendali yang didapat, menganalisa respon transien sistem orde 2 dari respon waktu, serta mendapat fungsi alih sistem.

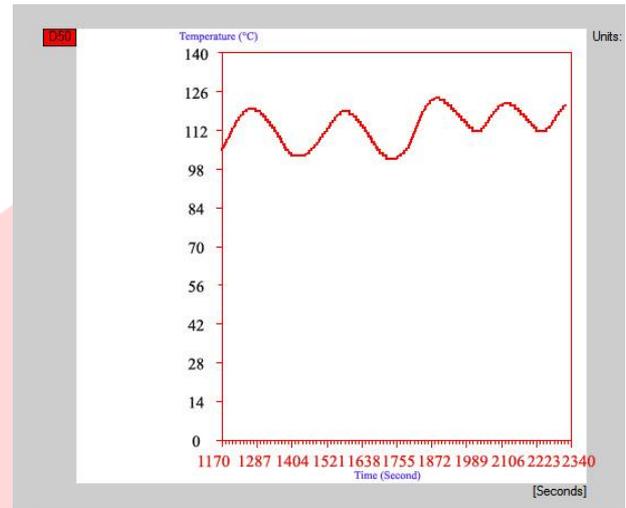
Pada pengujian terhadap sistem kendali PID yang diterapkan pada proyek tugas akhir ini, Penulis akan melakukan pengujian dengan menambahkan input 160°C sebagai setpoint temperatur pada data memory PIDAT D200, dan timer dengan input sebesar 60 menit.

Penulis telah melakukan proses pemanasan pada pengujian pertama menggunakan parameter yang berasal dari inisiasi referensi yang digunakan yaitu dengan menggunakan nilai Proportional Band 10.0%, Time Integral 120.0

s, dan Time Derrivative 40.0 s. Serta adanya nilai overshoot sebesar 12.79%. Lalu dengan melakukan pengujian kedua akan didapat hasil respon waktu seperti berikut:



Gambar 10 Respon Waktu Pada Kenaikan Temperatur Menggunakan *Auto-Tuning* PID



Gambar 11 Respon Waktu Pada Kestabilan Temperatur Menggunakan *Auto-Tuning* PID

Setelah mendapat nilai parameter PID dari hasil *Auto-Tuning*, sehingga Penulis dapat menuliskan persamaan fungsi alih persamaan PID(s) seperti berikut:

$$PID(s) = Kp + \frac{Ki}{s} + Kd.s$$

$$PID(s) = 0.004 + \frac{0.000001}{s} + 0.284s$$

Dari grafik respon waktu kontroler PID seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11, Penulis akan menganalisa nilai respon transien sistem orde 2 tersebut. Parameter yang akan diamati diantaranya, *peak time* (t_p), *settling time* (t_s), *rise time* (t_r), *delay time* (t_d), serta persentase *maximum overshoot* (%Mp). Berdasarkan respon waktu pada Gambar 10 dan Gambar 11, Maka didapat hasil analisa sebagai berikut:

Tabel 3 Tabel Perolehan Nilai Parameter PID

Parameter	Nilai	Nilai (Konstanta)
Proportional	PB = 0.4%	Kp = 0.004
Integral	Ti = 3972 s	Ki = 0.000001
Derrivative	Td = 59.6 s	Kd = 0.284

Tabel 4 Analisa Respon Transien Sistem

No.	Parameter	Hasil
1.	t_p	803.25 s
2.	t_r	660.45 s
3.	t_d	373.575 s
4.	t_s	1273.73 s
5.	%Mp	8.92%

Dengan nilai $t_p = 803.25$ detik, dimana $t_p = \frac{\pi}{\omega_d}$ maka Penulis akan menganalisa nilai frekuensi alamiah tak teredam (ω_d) dari sistem ini. Apabila $\omega_d = \frac{\pi}{t_p}$, maka $\omega_d = 0.0039 \text{ rad/s}$, dan $t_s = \frac{4}{\sigma} = \frac{4}{\omega_n \zeta}$, maka $\zeta = \frac{0.0031}{\omega_n}$

Apabila $\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$ maka Penulis akan melakukan analisa terhadap nilai frekuensi alamiah teredam (ω_d) dengan melakukan perhitungan dengan nilai $\omega_n = 0.005 \text{ rad/s}$ maka rasio redaman sistem bernilai $\zeta = 0.62$. s edangkan $\omega_n^2 = 0.000025 \text{ rad}^2/\text{s}^2$ w. Dengan demikian apabila fungsi alih lup tertutup suatu sistem orde dua memiliki bentuk baku sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

Maka dengan nilai $\zeta = 0.62$, $\omega_n = 0.005 \text{ rad/s}$, $\omega_n^2 = 0.000025 \text{ rad}^2/\text{s}^2$, dapat diketahui persamaan fungsi alih plant sistem pemanas sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$G(s) = \frac{0.000025}{s^2 + 2(0.62)(0.005)s + (0.000025)}$$

$$G(s) = \frac{0.000025}{s^2 + 0.0062s + 0.000025}$$

Dengan mendapatkan persamaan fungsi alih $G(s)$ dalam bentuk sistem orde dua, maka Penulis telah melakukan perhitungan terhadap nilai *error steady-state* dari sistem. Tujuan melakukan analisa terhadap respon *error steady-state* ialah untuk mengetahui besar kesalahan dari nilai yang didapat serta mengetahui ketabihan temperatur ketika berada pada jangkauan nilai *setpoint*. Berikut analisa yang dilakukan oleh Penulis sebagai berikut:

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s \cdot R(s)}{1 + G(s)}$$

Nilai $R(s)$ ialah $\frac{1}{s^2}$, hal ini karena Penulis melakukan pengamatan terhadap sistem orde dua dari respon waktu yang didapatkan, serta melakukan pengamatan terhadap nilai perubahan temperatur, pada output sistem[8]. Berikut analisa *error steady-state* yang dilakukan oleh Penulis:

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s}{1 + \left(\frac{0.000025}{s^2 + 0.0062s + 0.000025} \right)} \cdot \frac{1}{s^2}$$

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s^3 + 0.0062s^2 + 0.000025s}{s^2 + 0.0062s + 0.000025}$$

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{3s^2 + 2(0.0062)s + 0.000025}{2s + 0.0062}$$

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{3(0)^2 + 2(0.0062)(0) + 0.000025}{2(0) + 0.0062}$$

$$e_{ss} = \frac{0.000025}{0.0062}$$

$$e_{ss} = 0.287$$

Sehingga dari hasil pengujian terhadap sistem kendali pemanas dengan *setpoint* sebesar 130°C didapat nilai *error steady-state* sebesar 0.287.

5. Kesimpulan

Desain kendali pemanas telah dirancang untuk keperluan pembuatan kue, dengan adanya ruang pemanas, panel kontrol, sistem pengaturan valve, serta menggunakan bahan bakar gas *LPG*. Algoritma PID diimplementasikan kedalam *PLC* Omron *CP1H* dengan menggunakan instruksi *PIDAT* pada *CX-Programmer*, serta adanya proses *auto-Tuning* yang bekerja otomatis terhadap parameter PID.

Pengaturan katup pengapian pada kompor terdapat pada program dengan keadaan, semakin besar persentase valve pada kompor akan memberikan laju kenaikan temperatur yang lebih cepat dalam kenaikan temperatur menuju *setpoint*.

Performansi nilai dari parameter respon transien antara lain, Persentase Maximum Overshoot sebesar 8.2%, Peak Time sebesar 803.25 detik, Rise Time sebesar 660.45 detik, Delay Time 373.575 detik, Settling Time 1273.73 detik. Serta didapat nilai *error steady-state* sebesar 0.287 pada sistem kendali pemanas yang dirancang oleh Penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. G. Shankar, "Control of boiler operation using PLC - SCADA," *Imecs 2008 Int. Multiconference Eng. Comput. Sci. Vols I Ii*, vol. II, p. 1281–1286, 2008.
- [2] J. Kensby and R. Olsson, "Building Automation Systems Design," *Energy and Enviroment*, p. 3, 2012.
- [3] W. Bolton, *Programmable Logic Controllers*. 2009.
- [4] S. Cp and S. Cp, "Ope R Ation Manual."
- [5] V. Singh and V. K. Garg, "Tuning of PID Controller for Speed Control of DC Motor Using Soft Computing Techniques – A Review," *Adv. Electron. Electr. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 141–148, 2014.
- [6] P. Manual, "CP1H/CP1L CPU Unit."
- [7] M. W. Foley, R. H. Julien, and B. R. Copeland, "A Comparison of PID Controller Tuning Methods," *Can. J. Chem. Eng.*, vol. 83, no. 4, pp. 712–722, 2008.
- [8] S. Liberty, *Modern control engineering*, vol. 17, no. 3. 1972.