

## KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allâh Subhanahu Wa Taâla, Rabb alam semesta. Dialah Allâh, Tuhan Yang Maha Satu, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Dialah Sebaik baik Penolong dan Sebaik baik Pelindung. Shalawat dan salâm kepada Nabi Muhammad Rasulullâh Shallallâhu Alaihi Wa Salâm, Sang pembawa kabar gembira dan sebaik baik suri tauladan bagi yang mengharap Rahmat dan Hidayah-Nya.

Sungguh hanya melalui Pertolongan dan Perlindungan Allâh SWT semata sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Dengan seizin Allâh SWT, di kesempatan yang baik ini saya ingin menghaturkan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar besarnya atas bantuan sehingga terselesainya skripsi ini kepada:

1. Keluarga tercinta,  
Ayahanda Suyono. dan Ibunda Mujiasih yang selalu memberikan kasih sayang dan doanya yang tiada akhir dan selalu memberikan semangat saat pulang ke rumah.
2. Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan Bapak Muhammad Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ir. Purwanto, MT. dan Ir. Bambang Siswoyo, MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak waktu, keikhlasan, dan kesabaran dalam membimbing.
4. Ibu Rini Nur Hasanah, Dr., ST , M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik.
5. Bapak Daim dan Ifa selaku orang yang telah banyak sekali membantu memudahkan dalam pengerjaan skripsi ini.
6. Keluarga besar lembaga HME, khususnya untuk teman seperjuangan EME 02/13. Jody, Arif, Mifta, Okta, Renaldi, Lalu Irjan, Darmo. Terima kasih telah

berbagi kebahagiaan, pelajaran hidup, serta canda dan tawa yang tidak akan pernah terlupakan.

7. Keluarga besar Laboratorium Sistem Kontrol TEUB, Ketua Laboratorium Sistem Kontrol Bu Erny, serta tak lupa Laboran Lab. Kontrol Mbak Eka terima kasih telah memberikan banyak pengetahuan dalam belajar dan berkreasi.
8. Keluarga besar angkatan 2008, Fariz, Umar, Rio, Jody, Mifta, Nyorendra, Ade, Pribadhi, Saprol, Renaldi, Wiyogo, Agus, Aji, Liki, Okta, Dodied, Anas, Arnas, Jefri, Angga dan juga untuk Arif yang telah banyak memberikan masukan yang berguna untuk saya. Serta teman-teman 2008 yang lain. Kesuksesesannya kalian yang diiringi penuh canda telah memberiku motivasi untuk tetap menggapai cita-citaku.
9. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Sekiranya Allâh SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, kami menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Allâhumma Amîn.

Malang, Februari 2013

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| <b>KATA PENGANTAR..</b>                                       | <b>i</b>   |
| <b>DAFTAR ISI..</b>                                           | <b>iii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR ..</b>                                       | <b>vii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL ..</b>                                        | <b>ix</b>  |
| <b>ABSTRAK ..</b>                                             | <b>x</b>   |
| <b>BAB I ..</b>                                               | <b>1</b>   |
| <b>PENDAHULUAN ..</b>                                         | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar Belakang .....                                      | 1          |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                     | 2          |
| 1.3 Batasan Masalah .....                                     | 3          |
| 1.4 Tujuan .....                                              | 3          |
| 1.5 Sistematika Pembahasan .....                              | 3          |
| <b>BAB II ..</b>                                              | <b>5</b>   |
| <b>TINJAUAN PUSTAKA ..</b>                                    | <b>5</b>   |
| 2.1 Pengovenan .....                                          | 5          |
| 2.1.1 Perpindahan Panas Radiasi .....                         | 5          |
| 2.1.2 Konsep Perpindahan Panas .....                          | 6          |
| 2.1.3 Kondisi Awal dari Analisis Transien .....               | 6          |
| 2.1.4 Menentukan Fungsi Temperatur dan Waktu .....            | 6          |
| 2.2 Kontroler .....                                           | 7          |
| 2.3 Kontroler PID (Proporsional Integral Diferensial) .....   | 7          |
| 2.3.1 Kontroler Proporsional .....                            | 7          |
| 2.3.2 Kontroler Integral .....                                | 8          |
| 2.3.3 Kontroler Diferensial .....                             | 9          |
| 2.3.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) ..... | 10         |
| 2.3.5 Metode Tuning PID .....                                 | 12         |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 2.4 Sistem <i>cascade</i> .....                             | 15 |
| 2.5 PLC.....                                                | 15 |
| 2.4.1 Prinsip Kerja PLC.....                                | 16 |
| 2.4.2 Perangkat Keras PLC.....                              | 17 |
| 2.4.2.1 <i>Central Processing Unit</i> (CPU).....           | 17 |
| 2.4.2.2 Unit Catu Daya.....                                 | 18 |
| 2.4.2.3 Unit Pemograman.....                                | 18 |
| 2.4.2.4 Unit Memori.....                                    | 19 |
| 2.4.2.5 Unit Input.....                                     | 19 |
| 2.4.2.6 Unit Output.....                                    | 20 |
| 2.4.3 Pemrograman PLC.....                                  | 21 |
| 2.4.3.1 Dasar - Dasar Pemograman.....                       | 21 |
| 2.4.3.2 Konsep Pembuatan Program dengan Diagram Tangga..... | 22 |
| 2.4.3.3 Menggambar Ladder Diagram.....                      | 23 |
| 2.4.3.4 Penggunaan Pada Software CX-One.....                | 23 |
| 2.4.3.5 Instruksi Dasar.....                                | 24 |
| 2.4.4 Konfigurasi Konektor RS-232C.....                     | 24 |
| 2.5 HMI ( <i>Human Machine Interface</i> ).....             | 25 |
| 2.5.1 Fungsi HMI ( <i>Human Machine Interface</i> ).....    | 25 |
| 2.6 Sensor Suhu PT100 ( <i>Thermocouple</i> ).....          | 26 |
| 2.7 Sensor <i>Brightness Meter</i> .....                    | 27 |
| 2.7.1 Cara Kerja Sensor <i>Brightness Meter</i> .....       | 27 |
| <b>BAB III</b> .....                                        | 28 |
| <b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....                          | 28 |
| 3.1 Studi Literatur.....                                    | 28 |
| 3.2 Spesifikasi Alat.....                                   | 28 |
| 3.3 Perancangan dan Realisasi Pembuatan Alat.....           | 29 |

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.1 Perancangan Perangkat Keras dan Realisasi Tiap Blok .....             | 29        |
| 3.3.2 Perancangan dan Perhitungan Komponen yang akan digunakan .....        | 29        |
| 3.4 Pengujian Alat.....                                                     | 30        |
| 3.5 Pengambilan Kesimpulan.....                                             | 30        |
| <b>BAB IV.....</b>                                                          | <b>31</b> |
| <b>PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....</b>                                  | <b>31</b> |
| 4.1 Spesifikasi Sistem .....                                                | 31        |
| 4.2 Perancangan Sistem .....                                                | 32        |
| 4.3 Perancangan Perangkat Keras .....                                       | 32        |
| 4.3.1 Perancangan Mekanik Miniatur Ruang Pengovenan.....                    | 33        |
| 4.3.2 Perancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor PT100 .....           | 33        |
| 4.3.3 Perancangan Sistem Keluaran Tegangan Modul <i>Analog CX-One</i> ..... | 34        |
| 4.4 Perancangan Perangkat Lunak .....                                       | 36        |
| 4.4.1 Perancangan Komunikasi Data.....                                      | 36        |
| 4.4.2 Perancangan Kontroler PID secara Cascade.....                         | 37        |
| <b>BAB V.....</b>                                                           | <b>42</b> |
| <b>PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM.....</b>                                   | <b>42</b> |
| 5.1 Pengujian Sensor Suhu.....                                              | 42        |
| 5.1.1 Peralatan Pengujian.....                                              | 42        |
| 5.1.2 Prosedur Pengujian.....                                               | 43        |
| 5.1.3 Hasil pengujian .....                                                 | 43        |
| 5.2 Pengujian Pengkondisi Sinyal.....                                       | 45        |
| 5.2.1 Peralatan Pengujian.....                                              | 45        |
| 5.2.2 Prosedur Pengujian .....                                              | 45        |
| 5.2.3 Hasil Pengujian.....                                                  | 45        |
| 5.3 Pengujian Sensor <i>Brightness Meter</i> .....                          | 47        |
| 5.3.1 Hasil Pengujian Sensor <i>Brightness Meter</i> .....                  | 47        |
| 5.4 Pengujian <i>Operation Cycle Time</i> .....                             | 48        |
| 5.5 Pengujian <i>Auto-Tuning</i> Kontroler PID .....                        | 48        |

|                                      |                                                                     |    |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 5.5.1                                | Peralatan Pengujian.....                                            | 48 |
| 5.5.2                                | Prosedur Pengujian .....                                            | 49 |
| 5.5.3                                | Tuning Parameter Kontrol PID dengan metode <i>Auto-Tuning</i> ..... | 49 |
| 5.5.4                                | Hasil Parameter Kp, Ki dan Kd .....                                 | 51 |
| 5.6                                  | Pengujian Keseluruhan Sistem.....                                   | 52 |
| 5.6.1                                | Peralatan pengujian.....                                            | 52 |
| 5.6.2                                | Prosedur pengujian .....                                            | 52 |
| 5.6.3                                | Hasil Pengujian .....                                               | 52 |
| <b>BAB VI</b>                        | .....                                                               | 57 |
| <b>PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM</b> | .....                                                               | 57 |
| 6.1                                  | Kesimpulan .....                                                    | 57 |
| 6.2                                  | Saran.....                                                          | 57 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>                | .....                                                               | 59 |



## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 Diagram Blok Kontroler Proporsional .....                                         | 8  |
| Gambar 2. 2 Diagram Blok Kontroler Integral .....                                             | 9  |
| Gambar 2. 3 Diagram Blok Kontroler Diferensial.....                                           | 10 |
| Gambar 2. 4 Diagram Blok Kontroler PID .....                                                  | 11 |
| Gambar 2. 5 Fungsi Waktu antara Sinyal Keluaran dan Sinyal Masukan Kontroler PID .....        | 12 |
| Gambar 2. 6 Kurva Respon <i>Unit Step</i> yang Menunjukkan 25% <i>Maximum Overshoot</i> ..... | 13 |
| Gambar 2. 7 Respons <i>Plant</i> Terhadap Masukan Berupa <i>Unit Step</i> .....               | 13 |
| Gambar 2. 8 Respons <i>Plant</i> berbentuk S .....                                            | 13 |
| Gambar 2. 9 Sistem <i>Loop</i> Tertutup dengan Kontroler Proporsional .....                   | 15 |
| Gambar 2. 10 Osilasi Berkesinambungan dengan periode <i>Pcr</i> .....                         | 15 |
| Gambar 2. 11 Fungsi PLC.....                                                                  | 16 |
| Gambar 2. 12 Arsitektur PLC .....                                                             | 16 |
| Gambar 2. 13 Diagram Blok Prinsip Kerja PLC .....                                             | 17 |
| Gambar 2. 14 Digital <i>input</i> PLC .....                                                   | 20 |
| Gambar 2.15 Tampilan dasar Program CX-One.....                                                | 23 |
| Gambar 2.16 Konfigurasi konektor RS-232C.....                                                 | 24 |
| Gambar 2.17 Display dari Program HMI.....                                                     | 25 |
| Gambar 2.18 Sensor PT100 ( <i>Thermocouple</i> ).....                                         | 26 |
| Gambar 2.19 Gambar Rangkaian Sensor PT100.....                                                | 27 |
| Gambar 2.20 Sensor <i>Brightness Meter</i> .....                                              | 27 |
| Gambar 4.1 Blok diagram sistem.....                                                           | 32 |
| Gambar 4.2 Perancangan Mekanik Miniatur ruang Pengovenan.....                                 | 33 |
| Gambar 4.3 Hasil perancangan Mekanik ruang Pengovenan.....                                    | 33 |
| Gambar 4.4 Rangkaian Pengkondisi Sinyal pada Sensor PT100.....                                | 34 |

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.5 Modul <i>Analog CX-One</i> .....                                                                                                | 35 |
| Gambar 4.6 Karakteristik Perubahan I/O Modul <i>Analog</i> .....                                                                           | 35 |
| Gambar 4.7 (a) DB9 <i>Serial Port</i> dan (b) PS2 <i>Connector</i> .....                                                                   | 36 |
| Gambar 4.8 Relay <i>Auto-Tuning</i> .....                                                                                                  | 38 |
| Gambar 4.9 Tampilan Pengaturan Parameter PID.....                                                                                          | 39 |
| Gambar 4.10 <i>Flowchart</i> Pengaturan Parameter dan Set Value kontroler PID.....                                                         | 40 |
| Gambar 5.1 Blok Diagram Pengujian Sensor Suhu.....                                                                                         | 43 |
| Gambar 5.2 Grafik Perbandingan antara Suhu dengan <i>Vout</i> pada Sensor Suhu <i>Loop 1</i> dan <i>Loop 2</i> secara <i>cascade</i> ..... | 44 |
| Gambar 5.3 Grafik Perbandingan antara Suhu dengan <i>Vout</i> pada Pengkondisi Sinyal.....                                                 | 46 |
| Gambar 5.4 Grafik Perbandingan antara Tegangan Pengkondisi Sinyal PT100 terhadap Waktu saat <i>Auto-Tuning</i> .....                       | 49 |
| Gambar 5.5 Grafik Nilai Tegangan Keluaran Kalibrasi PT100 terhadap Waktu saat Modus <i>Auto-Tuning</i> .....                               | 50 |
| Gambar 5.6 Gambar Grafik saat proses <i>Auto-Tuning</i> .....                                                                              | 51 |
| Gambar 5.7 Suhu terhadap Waktu Pemanasan.....                                                                                              | 53 |
| Gambar 5.8 Data Terbaca di PLC terhadap Waktu Pemanasan.....                                                                               | 54 |
| Gambar 5.9 Suhu terhadap Waktu Pendinginan.....                                                                                            | 55 |
| Gambar 5.10 Data Terbaca di PLC terhadap Waktu Pendinginan.....                                                                            | 55 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Waktu dan Temperatur.....                                                                              | 7  |
| Tabel 2.2 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols berdasarkan Respon <i>Unit Step</i> .....                              | 14 |
| Tabel 2.3 Aturan Dasar Ziegler-Nichols berdasarkan <i>Critical Gain Kcr</i> dan <i>Critical Period Pcr</i> ..... | 15 |
| Tabel 4.1 Menampilkan Susunan Konfigurasi untuk Kabel Komunikasi.....                                            | 37 |
| Tabel 4.2 Tabel Tuning Metode Ziegler-Nichols.....                                                               | 38 |
| Tabel 4.3 Parameter Kontroler PID pada <i>software</i> CX-One.....                                               | 40 |
| Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor Suhu pada <i>Loop 1, Loop 2</i> secara <i>cascade</i> .....                     | 43 |
| Tabel 5.2 Hasil Pengujian Pengkondisi Sinyal.....                                                                | 45 |
| Tabel 5.3 Hasil Pengujian Sensor <i>Brightness Meter</i> .....                                                   | 47 |
| Tabel 5.4 Hasil Pengujian Suhu terhadap waktu saat Pemanasan.....                                                | 53 |
| Tabel 5.5 Hasil Pengujian Suhu terhadap waktu saat Pendinginan.....                                              | 54 |

## ABSTRAK

**Dimas Okta Ardiansyah**, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2013, *Miniatur Alat Pengendali Suhu Ruang Pengovenan Body Mobil Menggunakan Kontroler PID Berbasis PLC Dengan Sistem Cascade*, Dosen Pembimbing: Purwanto Ir., MT., dan Bambang Siswoyo Ir., MT.

Pada perkembangan industri dibidang automotif dibutuhkan perangkat yang dapat bekerja secara otomatis sebagai pendukung proses produksi secara efisien baik dari waktu dan pekerja. Salah satunya adalah dalam bidang industri pengovenan body mobil. Waktu pengovenan dan sirkulasi udara dapat diatur lebih efisien dan menghasilkan pengovenan yang baik.

Skripsi ini menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC). Sensor suhu yang digunakan adalah sensor suhu PT100 yang mempunyai batas maksimal suhu yang dapat diukur sebesar 200 °C. Sensor suhu tersebut memiliki tingkat kesalahan rata-rata sebesar 0.5%. Set point yang diinginkan adalah sebesar 80 °C dan suhu awal adalah 26°C. Waktu yang diperlukan sistem untuk memanaskan ruang pengovenan dari suhu awal ruang 26 °C sampai suhu *set value* 80 °C adalah 12 menit. Dan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mendinginkan *suhu set value* sampai suhu awal adalah 11 menit. Sistem kontrol yang digunakan untuk menstabilkan adalah kontroler PID (proporsional, integral dan diferensial) yang dioperasikan secara *cascade*. Salah satu keuntungan sistem kontrol PID menggunakan sistem *cascade* adalah merupakan sebuah sistem yang sederhana sehingga lebih cepat dalam mengambil sebuah keputusan dan mudah dalam analisis. Dengan metode *auto-tuning*, maka pencarian parameter Kp, Ki dan Kd dapat lebih cepat dan tepat.

Kata kunci: Suhu, *Programmable logic controller*, PID, sensor suhu PT100