

PENGONTROLAN SUHU PADA ALAT PENUANG KOPI OTOMATIS BERBASIS PLC MENGUNAKAN KONTROLER PID

Oleh:

Wahyu Priyo Kustamanto NIM. 0810630022

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang

Pembimbing :

Ir. Retnowati, MT., dan Trinurwati, ST., MT.

Abstrak

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang sistem kontrol sangat bermanfaat dalam mempermudah kerja dan aktifitas manusia. Salah satu alat atau hasil dari perkembangan teknologi ini adalah penuang kopi otomatis. Mengingat fungsi dan peran penting penuang kopi otomatis, diperlukan studi analisis sistem kontrol yang digunakan pada penuang kopi otomatis sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal. Salah satu sistem kontrol yang dapat digunakan pada penuang kopi otomatis adalah kontroler PID berbasis Programmable Logic Controller (PLC) . Salah satu keuntungan sistem kontrol PID adalah karena mampu memberikan performa yang baik walaupun memiliki algoritma yang relatif lebih mudah dan sederhana. Jumlah I/O yang digunakan pada sistem ini yaitu 3 input dan 5 output. Input sistem terhubung dengan sensor LED dan photodiode, sensor level cairan, dan sensor suhu LM35. Output sistem terhubung dengan aktuator yang berupa motor DC buka-tutup valve, motor DC penggerak katub naik-turun, motor DC penggerak konveyor, dan heater. Hasil pengujian alat menunjukkan beberapa poin, yaitu waktu pengisian kopi untuk satu kali proses pengisian mengalami perubahan waktu yang semakin lama. nilai error pengujian ketepatan pengisian volume kopi ke dalam gelas memiliki error rata-rata sebesar 0,006%, Nilai error pengujian ketepatan posisi gelas memiliki error rata-rata sebesar 0,004% dan hasil pengujian pengendalian suhu dalam tangki menunjukkan panjang waktu penetapan (ts) dimulai pada kondisi suhu awal 55,2°C (detik ke-0) hingga kondisi suhu mencapai nilai 80,4°C (detik ke-250), panjang waktu naik (tr) dimulai pada kondisi suhu 58,4°C (detik ke-35) hingga kondisi suhu mencapai 77,8°C (detik ke-220). Sistem dapat dikatakan baik karena bekerja sesuai keadaan yang diinginkan. Sistem bekerja sesuai spesifikasi yang diinginkan yaitu pada level cairan pada set point 200 ml untuk gelas dan setpoint 80°C untuk suhu dalam tangki penampungan.

Kata kunci: Kopi, suhu, otomatis, kontroler PID

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mengalami peningkatan yang sangat pesat. dan keadaan seperti ini telah berimbas di semua bidang kehidupan manusia. Salah satu bidang yang terkena imbas dari keadaan ini adalah bidang kuliner. Semakin besarnya pangsa pasar dalam bidang kuliner, menuntut pelayanan yang cepat namun tidak mengurangi kualitas atau hasil yang diharapkan, sehingga dibutuhkan pemikiran-pemikiran yang inovatif dengan menggunakan peralatan yang ada untuk sebuah aplikasi tertentu yang bermanfaat bagi kehidupan bermasyarakat. Begitu pula dengan bidang elektronika, perkembangan teknologi pada khususnya elektronika menuntut otomatisasi dalam segala hal yang dapat meringankan pekerjaan manusia dan menjadikan segalanya serba instan, praktis dan ekonomis. Berdasarkan beberapa alasan tersebut di atas, maka penyusun mencoba untuk merancang

sebuah alat untuk menuangkan cairan, dalam hal ini adalah minuman kopi yang dapat bekerja secara otomatis tanpa memerlukan petugas atau operator yang bertugas untuk menuangkan dan mengambilkan air minum yang disediakan. Dalam alat tersebut dilengkapi dengan berbagai macam sensor yang dapat mendeteksi *level* ketinggian dari kopi dan posisi dari gelas yang akan diisi dengan kopi, serta pendeteksi suhu kopi agar selalu dapat terjaga kualitasnya. Sehingga dengan adanya alat ini dapat mempermudah dan mempercepat kerja dari para pemilik kedai kopi.

Teknologi kontrol PID dikenal sebagai kontroler berumpan balik yang paling sering digunakan dalam dunia industri. Karena terbukti dapat memberikan performa kontrol yang baik meski mempunyai algoritma sederhana yang mudah dipahami. Sementara itu di dunia industri juga dikenal dengan *Programmable Logic controller* (PLC) yang merupakan perangkat kontrol yang sering digunakan dalam proses yang sesuai dengan urutan waktu. Bisa

melakukan aksi kontrol PID merupakan salah satu proses yang berurutan waktu. PLC yang dilengkapi modul tambahan dengan unit khusus seperti *analog input/output* unit akan sangat memudahkan dalam pengontrolan. PLC mempunyai beberapa kelebihan, antara lain : mudah diprogram, program dapat diubah, sederhana dalam *wiring*, lebih kuat terhadap perubahan lingkungan, dan mudah dalam masalah *troubleshooting*

Berdasarkan pada penelitian sebelumnya yang mencoba untuk memecahkan masalah di atas yaitu dengan menggunakan kontroler *ON-OFF*. Namun masih ada beberapa kelemahan yaitu respon kontroler untuk mencapai suhu yang diinginkan lambat, dan *driver* yang dipakai mudah panas. Maka dari itu untuk memecahkan permasalahan tersebut, sistem akan dimodifikasi dan menggunakan kontroler PID yang berbasis PLC.

PLC yang saat ini dipakai sebagai standar dalam dunia industri terkadang tidak dimanfaatkan secara maksimal sebagai unit kontrol. Hal inilah yang melandasi pemikiran untuk membuat suatu alat yang keseluruhan prosesnya di kontrol oleh satu kontroler yaitu PLC.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang mekanika dan elektronika dari alat penuang kopi otomatis dan menerapkan kontroler PID pada *ladder* diagram agar dapat mengontrol suhu pada sistem penuang kopi otomatis ?
2. Bagaimana merancang pemrograman PLC XBM-DN16S dengan *software* XG5000 sebagai kontroler pada sistem penuang kopi otomatis agar dapat didapatkan hasil berupa *time settling* (T_s), *rise time* (T_r), *maximum overshoot* (M_p) dan *error steady state* ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menekankan pada objek pembahasan yang ada maka penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Tangki dan konveyor yang dibuat merupakan sebuah model atau *prototype*, yang dirancang sesuai aslinya dengan skala 1 : 2.
2. Pembahasan ditekankan pada proses pengendalian suhu kopi, kinerja *driver* dan rangkaian elektronika tidak dibahas mendalam.
3. PLC yang dipakai adalah tipe XBM-DN16S dengan *software* XG5000.
4. Untuk proses berjalannya konveyor dan perhitungan rangkaian elektronika tidak dibahas secara mendalam.

1.4 Tujuan

Menciptakan sistem yang dapat mempermudah dan mempercepat kerja dari para pemilik kedai kopi yang masih menuang kopi dengan cara manual agar dapat dikerjakan secara otomatis.

II. METODOLOGI

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan metode untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Penentuan spesifikasi alat.
2. Perealisasian alat.
3. Pengujian alat.
4. Pengambilan kesimpulan.

III. PERANCANGAN SISTEM

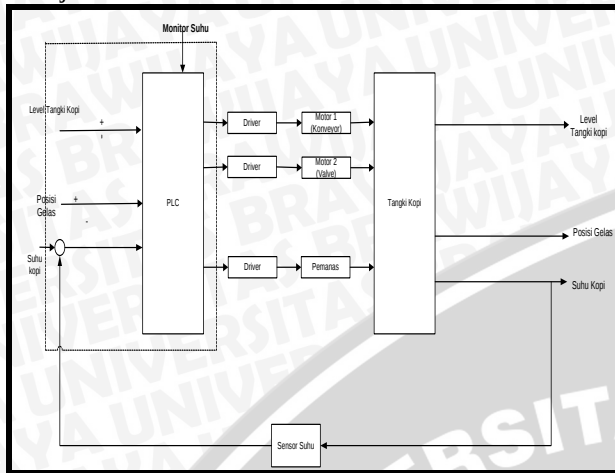
3.1 Tinjauan Umum

Bab ini menjelaskan mengenai spesifikasi alat, perancangan perangkat keras dari alat pengendalian suhu tangki pembuatan kopi, yang meliputi diagram blok sistem, cara kerja sistem, *flowchart* atau diagram alir kerja sistem, gambar rancangan alat, dan tabel input dan output PLC. Selain perancangan perangkat keras akan dijelaskan juga mengenai perancangan perangkat lunak.

Perancangan sistem penuang kopi otomatis dirancang dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Dimensi konveyor, panjang 100 cm x lebar 15 cm x tinggi 5 cm
2. Dimensi tangki air, berbentuk tabung dengan jari-jari 12,5 cm dan tinggi 30 cm
3. Mengkondisikan suhu tangki penampungan kopi pada *set point* 80°C
4. Menggunakan gelas dengan volume 200 ml
5. Menggunakan PLC XBM-DN16S sebagai pengontrol utama
6. Menggunakan sensor suhu LM35 sebagai pendeteksi suhu dalam tangki penampungan kopi
7. Menggunakan LM311 sebagai komparator untuk sensor *level* (menggunakan batang konduktor) dan sensor posisi (menggunakan inframerah)
8. *Software* yang digunakan sebagai pemrograman *ladder* adalah XG5000.
9. Tampilan untuk monitoring menggunakan aplikasi XG5000 yaitu *trend* monitoring dan PID monitoring.
10. Aktuator berupa *heater* 40W – 220V.

Perancangan blok diagram sistem seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1



Gambar 3. 1. Blok Diagram Sistem Pengisian Kopi
Sumber : Perancangan

3.2 Perancangan Sistem Kerja

Untuk lebih memudahkan dalam perencanaan, maka perlu dijabarkan deskripsi kerja sistem secara keseluruhan. Sensor level 1 cairan diletakkan pada tangki penampungan untuk membaca ketinggian air pada batas bawah (2,5 cm).

Suhu di dalam tangki penampungan kopi dikondisikan untuk mencapai *set point* sesuai dengan program yang telah dibuat, memanfaatkan *heater* sebagai aktuatornya. *Heater* dikondisikan untuk menghasilkan panas yang berfungsi menaikkan suhu di dalam tangki penampungan. Sensor suhu akan memberikan sinyal yang diterima oleh modul input analog pada PLC yang telah terdapat program kontrol PID untuk menjaga agar suhu dalam tangki tetap pada *set point*.

Sensor pendeteksi gelas (berupa sinar LED dan *photodiode*) diletakkan pada samping konveyor untuk pendeteksi adanya gelas di atas konveyor, apabila sensor LED mendeteksi adanya gelas, maka konveyor secara otomatis akan berhenti dan *valve* pada tangki utama akan terbuka untuk mengalirkan kopi ke dalam gelas selama jangka waktu yang telah ditentukan. *Output* sensor berfungsi sebagai pembangkit / pengendali saklar magnetik pada *relay* dihubungkan dengan modul input PLC. *Output* sensor akan memberikan perubahan kondisi logika dari 1 ke 0 selama sistem bekerja.

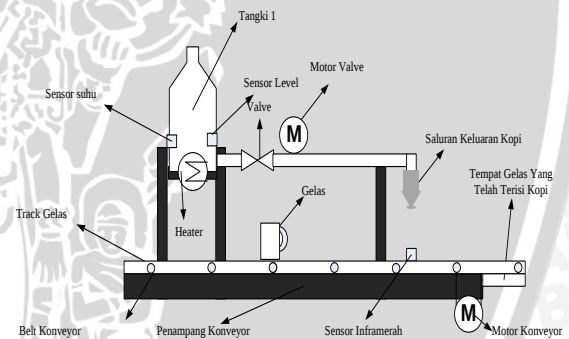
Katup dikondisikan untuk mengatur jumlah air yang masuk ke dalam gelas. Motor DC 1 dikondisikan untuk penggerak konveyor. Motor DC 2 dikondisikan untuk pembuka keran pada katup (*valve*)

dan Motor DC3 dikondisikan untuk penggerak katup saluran pengisian gelas. Setelah proses pengisian kopi telah selesai, motor DC3 akan menutup keran katup sampai menyentuh *limit switch* batas kanan dan Motor DC2 menaikkan saluran pengisian kopi. Ketika tangki dalam kondisi minimum, proses akan berhenti.

3.3 Perancangan Penuang Kopi Otomatis

Konveyor digunakan sebagai penggerak gelas, mempunyai ukuran panjang 100 cm x lebar 15 cm x tinggi 5 cm yang terbuat dari bahan kain oscar yang di bawahnya diberikan penampang dan digerakkan oleh motor 24V DC.

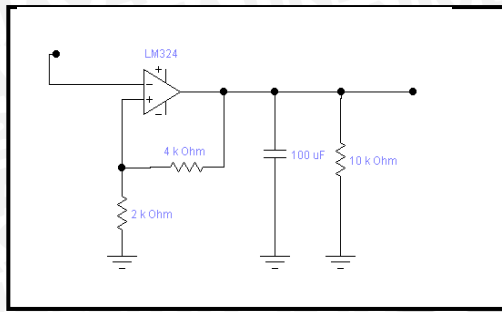
Pada konveyor terdapat sensor LED yang berfungsi untuk mendeteksi adanya gelas minuman yang bergerak di atas konveyor, pada saat gelas menyentuh sinar LED, maka konveyor akan berhenti dan katup penuang kopi bergerak turun untuk menuangkan kopi ke dalam gelas. Sensor sinar LED diletakkan pada jarak 30 cm dari ujung konveyor. Penempatan sensor sinar LED disesuaikan dengan posisi katup saluran pengisian gelas yang harus berada tepat di atas mulut gelas. Bentuk miniatur konveyor seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.2



Gambar 3. 2. Model Miniatur Alat Pengisian Kopi
Sumber : Perancang

3.4 Pengkondisi Sinyal Untuk LM35

Sensor suhu yang digunakan dalam perancangan adalah LM35 yang berfungsi sebagai *transducer* yang akan mengubah besaran suhu menjadi besaran elektrik berupa tegangan. Sensor digunakan untuk mendeteksi suhu saat proses pemanasan. Dikarenakan kenaikan tegangan keluaran sensor LM35 per 1 °C adalah 10 mV, maka dari itu tegangan keluaran dari LM35 harus dikuatkan dengan menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal agar bisa terbaca oleh modul input analog PLC yang memiliki *range 0 – 10V*. Dan penguatan yang diberikan yaitu penguatan tegangan sebesar 3 kali. Dan rangkaian pengkondisi sinyalnya digambarkan pada gambar 3.3 seperti di bawah ini.

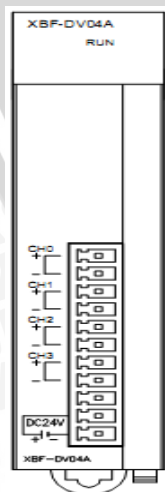


Gambar 3.3 Rangkaian Pengkondisi Sinyal LM35
Sumber: Perancangan

3.5 Perancangan Sistem Keluaran Tegangan Modul Analog XBF-DV04A

Sinyal *digital* merupakan sinyal diskrit yang hanya memiliki dua keadaan yaitu 0 dan 1. *Main unit* PLC mempunyai *input* dan *output digital*, sehingga data yang masuk dan keluar dari PLC haruslah berupa data *digital*. Dengan demikian dibutuhkan suatu perangkat tambahan sebagai pengondisi sinyal apabila data yang diolah berupa sinyal *analog*. Pada PLC XBM mempunyai *unit* modul tambahan yang berupa modul *analog* sebagai *unit* yang berfungsi mengubah keluaran *digital* dari *main unit* menjadi keluaran tegangan yang bisa disesuaikan besarnya.

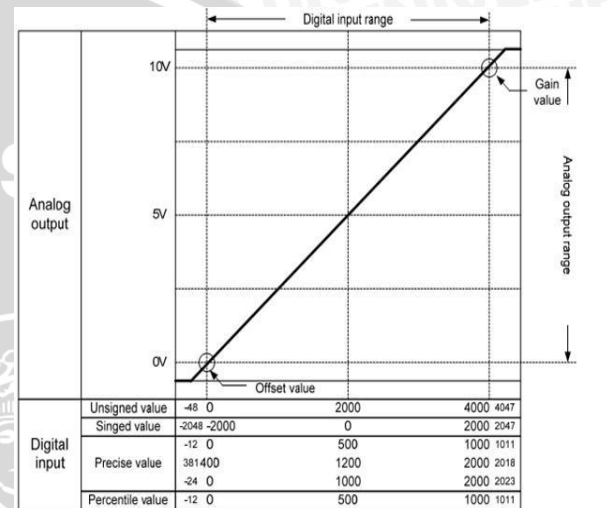
Modul *analog* ini tidak membutuhkan perangkat komunikasi tambahan yang terhubung pada *mai nunit*, melainkan langsung dapat dihubungkan karena telah tersedia soket penghubung pada *main unit* PLC. Gambar 3.4. menunjukkan bentuk fisik modul *analog* XBF-DV04A.



Gambar 3.4 Modul Analog XBF-AD04A
Sumber: XG5000 User Manual

Pada modul ini dibatasi hanya dapat mengatur keluaran sebanyak 4 *channel*. Dimulai dari *channer* 0 sampai *channel* 3 dan membutuhkan catu daya tambahan sebesar 24V DC.

Modul *analog* ini hanya mempunyai fungsi mengeluarkan tegangan dengan nilai tertentu sebagaimana telah diatur oleh keluaran *digital main unit*. Gambar 3.5. menunjukkan karakteristik perubahan pada *input/ output* modul.

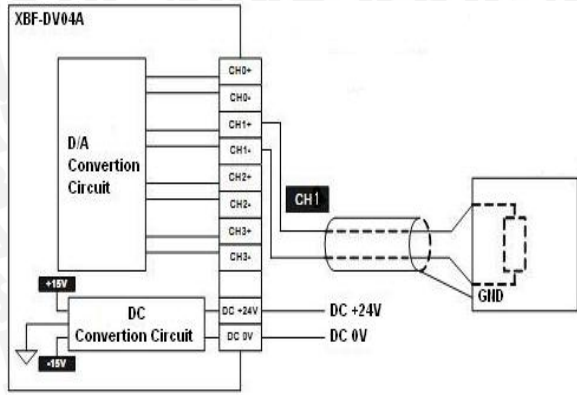


Gambar 3.5 Karakteristik Perubahan I/O Modul Analog

Sumber: XG5000 User Manual

Modul *analog* ini mempunyai keluaran tegangan dengan *range* 0~10V. Dan *range* tegangan tersebut sebanding dengan masukan *digital* yang mempunyai *range* 0~4000 pada *unsigned value*, 2000~2000 pada *signed value* dan 0~1000 pada *percentile value* yang dikeluarkan oleh *main unit* PLC. Grafik pada Gambar 3.5 menunjukkan perubahan yang sebanding antara *digital input* dengan *analog output*. Dengan demikian semakin besar nilai *digital* yang diberikan maka semakin besar juga nilai tegangan yang dikeluarkan oleh modul *analog*.

Pengawatan atau *wiring* yang digunakan untuk mengatur *heater* akan sesuai dengan yang ditunjukkan dalam Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pengawatan Antara Modul Analog dengan Driver Pemanas

Sumber: Perancangan

Karena pada alat ini hanya mengatur suhu pada heater maka yang akan digunakan adalah channel 1.

3.6 Perancangan Komunikasi Data

Komunikasi data yang dilakukan antara PLC dengan komputer sebagai unit pemrograman adalah dengan menggunakan kabel RS-232C. Untuk memudahkan dalam pengerjaan dan monitoring program menggunakan laptop, maka digunakan konverter USB to serial port.

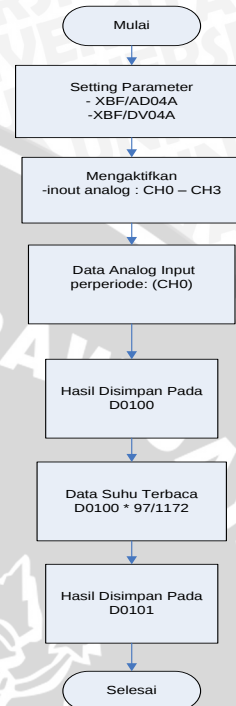
Tabel 3.1. Menampilkan Susunan Konfigurasi untuk Kabel Komunikasi.

DB9 Serial Port		PS2 Connector		Deskripsi
PIN	Nama	PIN	Nama	
2	RxD	2	-	Penerima Data dari PLC
3	TxD	6	-	Pengirim Data menuju PLC
5	GND	3	GND	Kabel ground

3.7 Perancangan Program Pembacaan Tegangan Keluaran dari Pengondisi Sinyal

Untuk pemrograman ladder diagram digunakan software XG5000. PLC XBM-DN16S ini dapat digunakan sebagai pembacaan keluaran dari pengondisi sinyal. Akan tetapi, pembacaan yang disebut *Analog to Digital Converter*, ini termasuk

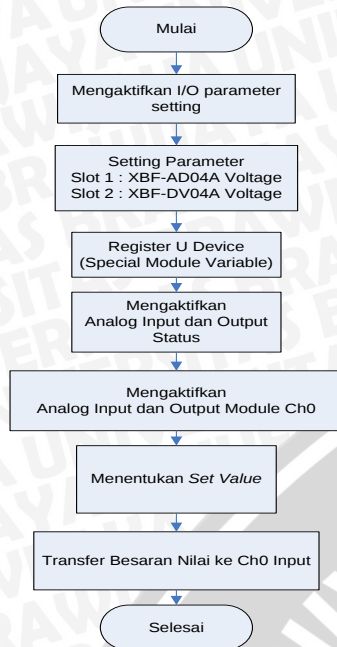
dalam kategori *special module*. Sehingga perlu adanya setting parameter terlebih dahulu agar input analog PLC dapat digunakan sebagai pembaca tegangan analog.



Gambar 3.8. Flowchart Program Pembacaan Tegangan Analog

3.8 Perancangan Program Pemanas

Program yang dirancang untuk pemanas akan berfungsi sebagai pengatur suhu air pada tangki. Modul analog akan mengirimkan tegangan kepada pemanas yang akan disesuaikan dengan kebutuhan panas yang diinginkan. Jumlah pulsa yang masuk akan dihitung oleh program PID yang akan menentukan besar tegangan yang diberikan pada pemanas. Dan *flowchart* program pemanas ditunjukkan pada gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.9.Flowchart Program Pemanas

3.9 Perancangan Kontroler PID

Konsep dasar dari kontrol PID adalah sebagai berikut. Pertama, mendeteksi PV (nilai proses) melalui sensor dan menjumlahkannya dengan SV (nilai yang diinginkan). Dengan demikian kontroler dapat menentukan respon yang diberikan untuk mempertahankan temperatur pemanas. Kemudian kontroler mengeluarkan nilai MV (nilai manipulasi) agar PV harus sama dengan SV.

Pada saat ini, 3 jenis operasi, seperti Proporsional, Integral, Diferensial dijalankan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Aksi kontrolnya dinyatakan sebagai:

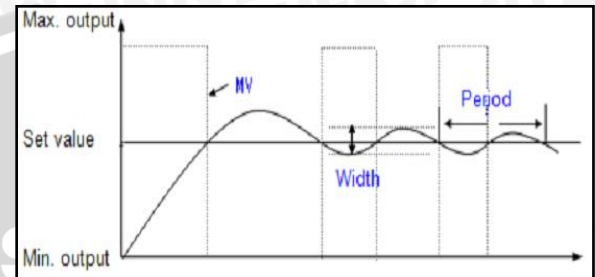
$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \dots \dots \dots (3-1)$$

Kinerja kontroler PID sangat bergantung dengan koefisien PID. Jadi *auto-tuning* yang menentukan koefisien PID secara otomatis sangat berguna dalam membantu menyelesaikan masalah ini. Metode dalam menetapkan koefisien PID disini akan menggunakan *Relay Auto-tuning*.

Relay Auto-Tuning

Disini menggunakan *critical osilation* yang mana menggunakan lebar dari periode osilasi untuk

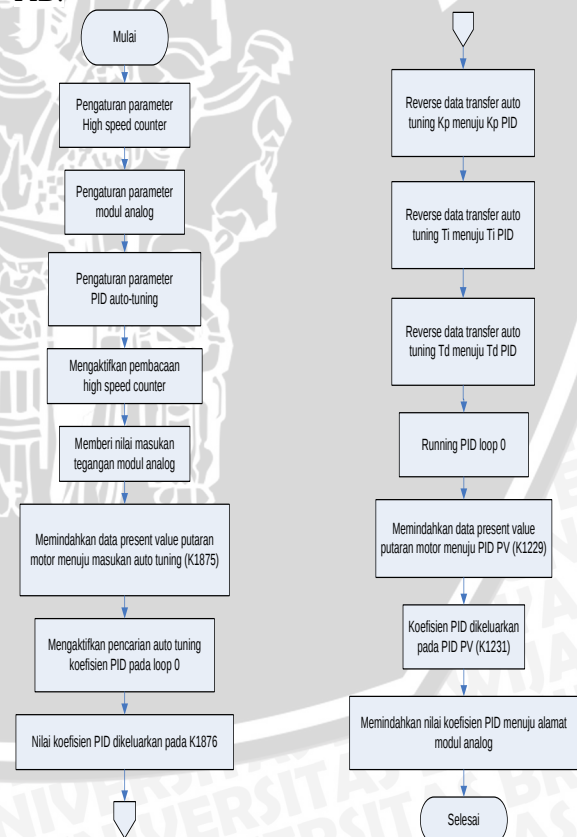
menentukan koefisien PID. Ini berlaku pada maksimum *output* dan minimum *output* untuk sistem kontrol pada *auto-tuning*. Kemudian, minimum osilasi dengan periode dan lebar yang stabil akan terjadi di sekitar nilai yang diinginkan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10.RelayAuto-Tuning

Setting Parameter PID Auto-Tuning

Setting parameter diperlukan untuk mengaktifkan, nilai-nilai yang ada dimasukkan ke dalam pemrograman. Gambar 3.11 merupakan *flowchart* pengaturan masukan nilai pada kontroler PID.



Gambar 3.11.Flowchart Pengaturan Parameter PID

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

4.1 Pengujian Sensor LM35

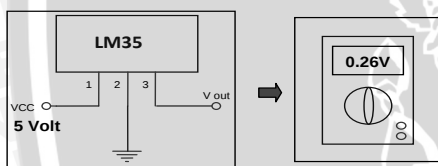
Peralatan pengujian :

- Catu daya 5V DC
- Sensor suhu LM35
- Thermometer analog untuk ruangan
- Multimeter digital
- Pemanas (40W ~ 220V)

Prosedur pengujian

- Menyusun rangkaian pengujian sensor suhu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.
- Memastikan rangkaian sudah tersusun dengan benar sebelum terhubung ke catu daya.
- Menghubungkan catu daya ke rangkaian pengujian.
- Mengukur tegangan keluaran sensor dengan menggunakan multimeter.
- Memasukkan hasil pengukuran kedalam tabel 4.1.

Dan blok diagram pengujian sensor suhu digambarkan pada gambar 4.1 seperti dibawah ini.



Gambar 4.1 Blok Diagram Pengujian Sensor Suhu
Sumber: Perancangan

Tabel 4.1 Tabel Perubahan Nilai Kalibrasi Tegangan terhadap Suhu (°C)

No.	Suhu (°C)	V _{out} sensor (mV)		
		Perhitungan	Pengukuran	Kesalahan (%)
1	24	240	238	0,83
2	28	280	282	0,71
3	32	320	317	0,94
4	36	360	357	0,83
5	40	400	402	0,50
6	44	440	437	0,68
7	48	480	476	0,83
8	52	520	516	0,77
9	56	560	556	0,71

10	60	600	596	0,67
11	64	640	636	0,63
12	68	680	675	0,74
13	72	720	717	0,42
14	76	760	764	0,53
15	80	800	803	0,38
16	84	840	835	0,60
17	89	890	896	0,67
18	93	930	924	0,65
19	97	970	975	0,52
Kesalahan rata-rata (%)				0,91

Dari tabel diatas, dapat diubah menjadi grafik seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik Perubahan Nilai Kalibrasi Tegangan terhadap Suhu (°C)

Tabel 4.2 Tabel Keluaran LM35 Setelah Dikuatkan

No	Suhu (°C)	Vout pengondisi sinyal (mV)			Data PLC
		Perhitungan	Pengukuran	Kesalahan (%)	
1	24	1428	1429	0.07	572
2	28	1548	1552	0.26	621
3	32	1668	1670	0.12	668
4	60	1788	1791	0.17	717
5	64	1908	1912	0.21	765
6	68	2025	2029	0.20	812
7	72	2151	2155	0.19	862

8	76	2292	2295	0.13	918
9	80	2409	2412	0.12	965
10	84	2505	2509	0.16	1004
11	89	2688	2692	0.15	1077
12	93	2772	2776	0.14	1111
13	97	2925	2928	0.17	1172
Kesalahan rata-rata (%)				0.26	

Dari tabel diatas, dapat diubah menjadi grafik seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik Keluaran LM35 Setelah Dikuatkan.

4.2 Pengujian Auto-Tuning Kontroler PID

Peralatan yang dibutuhkan antara lain:

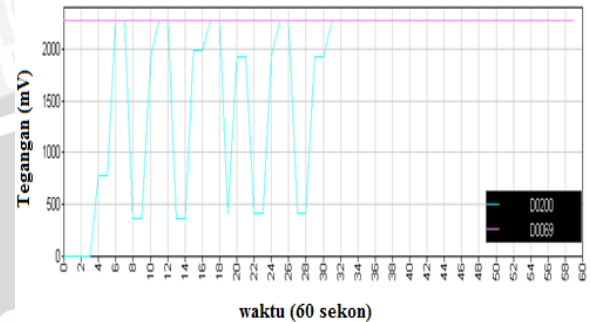
1. Pemanas
2. Sensor LM35
3. Komputer
4. Sistem pengontrol PLC XBM DN-16S, XBF-DV04A dan XBF-AD04A
5. Software XG5000

Prosedur pengujiannya adalah:

1. Membuat program perangkat lunak untuk pengaturan pemanas
2. Mengaktifkan program *auto-tuning*
3. Monitoring grafik respon sistem

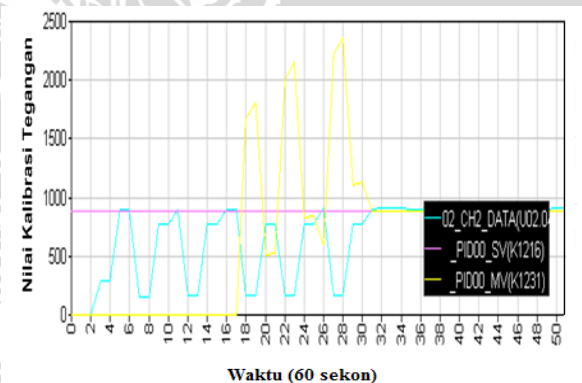
Auto-tuning ini digunakan untuk mencari parameter awal dari keluaran pemanas dengan menggunakan lebar dari periode osilasi. Dengan demikian, saat modus *running* posisi awal maka respon pemanasan membentuk keluaran osilasi terlebih dahulu. Nilai *set value* yang diberikan adalah 2412 mV. Nilai *set value* ini adalah data keluaran

LM35 setelah dikuatkan sebesar 3 kali oleh rangkaian pengondisi sinyal. Dan gambar 4.3 adalah gambar grafik perbandingan antara tegangan pengkondisi sinyal LM35 terhadap waktu saat *auto-tuning*



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Antara Tegangan Pengkondisi Sinyal LM35 Terhadap Waktu Saat *Auto-Tuning*

Dan Saat pemanas dijalankan, tegangan pemanas mengalami osilasi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3 garis biru muda. Setelah parameter PID ditemukan, selanjutnya pemanas dikontrol untuk mengikuti *set value*. PLC mengeluarkan sinyal control yang membuat *error steady state* sebesar 0,005%



Gambar 4.4 Grafik Nilai Tegangan Keluaran Kalibrasi LM35 terhadap Waktu saat Modus *Auto-Tuning*

Dan *set value* yang terbaca di PLC adalah sebesar 965. Pada Gambar 4.4 terdapat 3 buah garis berwarna, yaitu warna merah, biru dan kuning. Garis warna merah menunjukkan nilai *set value*, warna biru adalah keluaran LM35 dan warna kuning merupakan sinyal kontrol PID. Saat program *running*, kontroler PID secara otomatis akan memberi masukan nilai tertentu yang membuat respon keluaran pemanas terlihat mengalami osilasi. Saat itulah modus *auto-tuning* parameter aktif. Dan pada menit ke 31, respon sistem telah mencapai keadaan *steady state*.

Hasil Parameter Kp, Ki dan Kd

Setelah melakukan proses *auto-tuning*, maka program akan mengeluarkan nilai parameter PID yang digunakan untuk mengontrol suhu di dalam tangki. Nilai parameter yang dihasilkan dari *auto-tuning* adalah:

Kp : 3,5951
Ki : 4,6960
Kd : 2,2490

4.3 Pengujian Keseluruhan Sistem

Peralatan yang dibutuhkan antara lain:

1. Pemanas
2. Sensor LM35
3. Komputer
4. Sistem pengontrol PLC XBM DN-16S, XBF-DV04A dan XBF-AD04A
5. *Software* XG5000

Prosedur pengujiannya adalah:

1. Membuat program *ladder* diagram untuk pengaturan pemanas
2. Memasukkan nilai parameter Kp, Ki dan Kd
3. *Downloading* program menuju PLC
4. Mengatur nilai *set value* pada nilai 965
5. Pada pengujian ini dilakukan pengujian pemanas sampai didapatkan output yang *steady state* yaitu 80°C

Hasil Pengujian

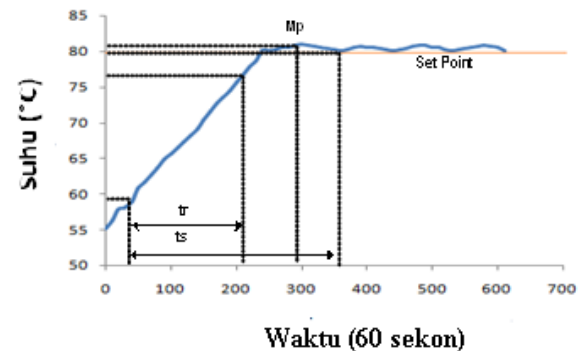
Data hasil pengujian didapatkan dengan mengambil data dari waktu ke waktu yang telah ditentukan. Dan Hasil pengujian sistem pengendalian suhu dalam sistem dapat dilihat dalam tabel 4.3.

Waktu (s)	Suhu (°C)
0	55.2
10	56.3
40	59
70	62.8
80	63.6
100	65.7
130	68.2
160	71.6
210	76.6
230	78.7

240	80
260	80.3
280	80.5
310	80.8
370	80.7
390	80.7
400	80.6
420	80.4
460	80.3
480	80.7
520	80.3
570	80.7
590	80.7
600	80.4
610	80.2

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Sistem Pengendalian Suhu

Data pada tabel diatas dapat digambarkan menjadi bentuk grafik seperti dalam gambar 4.4.



Gambar 4.5 Suhu Didalam Tangki Terhadap Waktu Pemanasan

V. Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. a. Mekanik dari alat penuang kopi otomatis dapat bekerja dengan baik apabila diterapkan pengontrolan suhu secara PID pada alat tersebut.

- b. Pemrograman ladder diagram pada software XG5000 dapat berfungsi dengan baik untuk mengontrol temperatur pada tangki sehingga kontroler PID yang digunakan dapat memberi sinyal kontrol yang sesuai untuk mempertahankan temperatur di dalam tangki.

2. a. Penggunaan kontroler PID dengan modus auto-tuning memberikan nilai parameter yang sesuai dengan sistem pemanas. Dengan parameter PID yang dipakai pemanas ($K_p=3,5951$, $K_i=4,6960$ dan $K_d=2,2490$). Respon yang diberikan oleh pemanas memiliki maximum overshoot yang kecil dan memiliki error steady state sebesar 0,005%
- b. Waktu penetapan (t_s) merupakan panjang waktu yang dibutuhkan oleh respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah di sekitar *set point* (80°C) yang ukurannya ditentukan dengan presentase mutlak dari harga akhir (dalam analisa ini digunakan presentase 2%). Penghitungan panjang waktu penetapan (t_s) dimulai pada kondisi suhu awal 55,2(detik ke-0) hingga kondisi suhu mencapai nilai 80,4°C(detik ke-380). Waktu naik (t_r) merupakan waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10% sampai 90% dari nilai *set point*. Penghitungan panjang waktu naik (t_r) dimulai pada kondisi suhu 58,4°C (detik ke-35) hingga kondisi suhu mencapai 77,8°C(detik ke-205). *Maximum overshoot* (M_p) terjadi saat kondisi suhu 82,5°C (detik ke-290). *Error steady state* pada sistem sebesar 0,005% . Berikut merupakan perhitungan *error steady state* pada sistem.

5.2 Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah:

1. Agar suhu serta cita rasa kopi di dalam tangki penampungan dapat terjaga dengan baik, sebaiknya menggunakan tangki dengan bahan aluminium yang tertutup rapat sehingga dapat mendapatkan kopi dengan hasil yang maksimal.
2. Dapat dikembangkan pula nantinya alat penuang kopi yang juga dapat menuang bermacam-macam jenis kopi yang lebih bervariasi.
3. Untuk menambah tingkat keakurasian pengendalian volume pengisian kopi ke dalam gelas, sebaiknya menggunakan logam yang tahan terhadap panas dan bebas karat, serta perlu diperhatikan pula titik atau *spot* dalam penempatan sensor level yang disini menggunakan batang konduktor harus benar-benar di tetapkan

tingkat kepresisiannya terhadap ukuran gelas yang akan diisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1994. Programmable Logic Controller operation manual, Omron.
- Gunterus, Frans. 1994. Falsafah Dasar: Pengendalian Proses. Jakarta: PT Elex Media Komputindo
- Programmable Logic Controller analog module unit operation user manual. XGB analog. LSIS
- Programmable Logic Controller hardware operation user manual. XGB hardware. LSIS
- Putra, Agfianto Eko. 2004. PLC Konsep, Pemrograman dan Aplikasi. Yogyakarta: Gavamedia
- XG5000 software unit operation user manual. XGT series. LSI