

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri pada bidang otomotif yang sangat pesat membutuhkan suatu perangkat yang dapat bekerja secara otomatis untuk mendukung proses produksi. Disamping untuk meningkatkan efisiensi tenaga kerja penggunaan perangkat otomatis juga dapat membantu meningkatkan efisiensi waktu dalam produksi.

Salah satu bagian dalam industri otomotif yang memerlukan otomatisasi adalah bagian pengovenan body mobil, dimana pengontrolan dilakukan dengan mengatur suhu dan sirkulasi udara pada ruangan pengovenan tersebut serta lama pengovenan untuk menghasilkan kualitas hasil pengecatan yang baik. Dengan menggunakan kontrol berbasis PLC, pengontrolan tersebut sangat mungkin dilakukan. Sistem otomatis ini didukung oleh adanya sensor yang memiliki peran signifikan untuk berjalannya sistem yang akan digunakan sebagai referensi dalam pengontrolan oleh PLC.

Diharapkan pengontrolan otomatis ini akan mempermudah operator karena operator hanya perlu menekan tombol *on / off* untuk menghidupkan sistem kontrol otomatis dari ruang kontrol yang tersedia untuk memantau yang terjadi di lapangan atau dari jarak jauh tanpa harus berada di dekat tempat pengovenan kerangka mobil tersebut. Selain itu, diharapkan pengontrolan otomatis ini tetap menghasilkan kualitas pengovenan yang baik.

Dari penelitian sebelumnya yang di lakukan oleh saudara Mahendra Surya Nugraha ST., diketahui terdapat kelebihan dan kekurangan dalam perancangan dari Mahendra, yaitu :

Kelebihan perancangan dari Mahendra :

1. Perancangan dari alatnya berhasil mencapai suhu yang diinginkan sesuai *set value* 80°C.
2. Menggunakan kontroler lebih baik daripada tanpa menggunakan kontroler.
3. Pengaturan motor blower *disetting* sesuai yang diinginkan.

Kekurangan perancangan dari Mahendra :

1. Penggunaan kontroler PID satu saja yang mengharuskan mempunyai batas atas dan batas bawah sehingga mengakibatkan suhu yang di keluarkan sistem mengalami kenaikan dan penurunan (secara drastis), tanpa menghiraukan *heater overheat*.
2. Hasil pengovenan pada objek rusak (retak atau pecah-pecah), walaupun masih dalam batas tertentu.
3. Kurangnya penggunaan sensor yang membuat pembacaan suhu ruang pengovenan kurang presisi, menggunakan *heater* yang berdaya kecil.
4. Menggunakan PLC yang tidak bisa dipakai.
5. Tidak menggunakan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai pengontrol atau pengoperasi sistem.
6. Membutuhkan waktu yang lama yaitu 60 menit untuk mencapai *set value* 80°C pada proses pemanasan dan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mendinginkan suhu *set value* sampai suhu awal yaitu 55 menit.

Maka dari itu penggunaan kontroler PID secara *cascade* (lebih dari satu PID), menggunakan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai pengontrol dan pengoperasikan sistem, menggunakan *heater* yang berdaya lebih besar, menggunakan lebih dari satu sensor akan lebih tepat digunakan disini dan harapannya supaya responnya lebih cepat, *error* lebih kecil dan lebih presisi. Dan alat ini dapat diimplementasikan dalam dunia usaha.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dari latar belakang yang telah dipaparkan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengimplementasikan sistem kontrol PID berbasis PLC menggunakan sistem *cascade* pada pengovenan body mobil.
2. Bagaimana mengendalikan suhu pengovenan agar sesuai dengan yang diharapkan yaitu sesuai *set value* 80°C.
3. Bagaimana memonitoring secara *real-time* perubahan suhu saat pengovenan menggunakan HMI (*Human Machine Interface*).

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan skripsi ini terdapat batasan masalah sebagai berikut:

1. PLC yang digunakan tipe PLC C200HS yaitu PLC Omron kelas *medium* dengan *software* CX-One.
2. Variabel yang dapat diubah adalah suhu pada ruang pengovenan dan waktu pengovenan.
3. Tidak menekankan pembahasan pada rangkaian elektrik yang digunakan.
4. Tidak menekankan pembahasan yang mendalam pada hasil pengovenan.

1.4 Tujuan

Tujuan penyusunan skripsi adalah menghasilkan alat otomatisasi dalam proses pengovenan body mobil yang dapat mempertahankan suhu 80°C setelah proses pengecatan. Menggunakan PLC C200HS yaitu PLC Omron kelas *medium*.

1.5 Sistematika Pembahasan

Skripsi ini terdiri dari 6 bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I

Pendahuluan

Membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan.

BAB II

Tinjauan Pustaka

Menjelaskan teori dasar yang berisi penjelasan tentang teori, HMI (*Human Machine Interface*), sensor suhu PT100, sensor *Brightness Meter*, kontroler PID, sistem *cascade*, PLC, dan rangkaian pengkondisi sinyal.

BAB III

Metodologi Penulisan

Menjelaskan tentang metodologi penelitian yang terdiri dari studi literatur, perancangan alat, pembuatan alat, pengujian alat, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

BAB IV Perencanaan dan Pembuatan Alat

Menjelaskan tentang perancangan dan pembuatan alat yang meliputi prinsip kerja alat, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak.

BAB V Pengujian

Menjelaskan tentang pengujian alat dan analisa yang meliputi pengujian bagian blok sistem dan pengujian sistem secara keseluruhan.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Menjelaskan tentang pengambilan kesimpulan sesuai dengan hasil perealisasiian dan pengujian alat sesuai dengan tujuan dan rumusan masalah, serta pemberian saran untuk pengembangan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan dari alat ini, maka perlu adanya penjelasan dan uraian teori penunjang yang digunakan dalam penulisan ini. Teori penunjang yang akan dijelaskan dalam bab ini adalah:

- Pengovenan
- Kontroler
- Kontroler PID (*Proportional Integral Derivative*)
- Sistem *cascade*
- PLC (*Programable Logic Controler*)
- HMI (*Human Machine Interface*)
- Sensor Suhu PT100 (*Thermocouple*)
- Sensor *Brightness Meter*

2.1 Pengovenan

Pada proses pengecatan terdapat proses pengeringan yang merupakan bagian terpenting untuk mendapatkan hasil pengecatan yang baik. Pada dasarnya proses pengeringan dilakukan dengan pemanasan langsung di ruang terbuka (jemur), karena perkembangan teknologi, proses pengeringan cat sudah menggunakan oven dan panas yang dihasilkan berasal dari energi konvensional (pembakaran bahan bakar fosil atau listrik). Keuntungan dari penggunaan oven pada pengeringan cat adalah hasil pengecatan yang bagus, suhu pengeringan tercapai, tidak ada kontaminasi debu maupun kotoran serta waktu pengecatan yang lebih cepat.

2.1.1 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah proses perpindahan panas yang melewati lapisan gelombang elektromagnetik. Penyinar ideal atau benda hitam memancarkan energi radiasi dari permukaannya dengan laju kecepatan perpindahan panas q_r yang dirumuskan sebagai berikut : (Shauman, 1983 : 18)

$$q_r = \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4) \quad (2-1)$$

Untuk memperhitungkan sifat-sifat kelabu dari sebuah permukaan, digunakan faktor emisivitas ϵ , yang menghubungkan sinar dari permukaan kelabu dengan permukaan yang hitam sempurna. Radiasi dari suatu permukaan tidak seluruhnya sampai ke permukaan lain, hal ini karena radiasi elektromagnetik berjalan menurut garis lurus dan sebagian hilang ke lingkungan, sehingga persamaan laju perpindahan panasnya : (Homna, 1988 : 13)

$$q_r = F\epsilon \cdot F_G \cdot \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4) \quad (2-2)$$

dengan, :

$F\epsilon$ = faktor emisivitas

F_G = faktor pandangan

q_r = kecepatan perpindahan panas

2.1.2 Konsep Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah suatu perpindahan energi dari suatu sistem ke sistem lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara sistem-sistem tersebut. Energi yang dipindah berupa panas atau kalor, sehingga akan terjadi aliran panas. Yang membedakan ilmu perpindahan panas dengan termodinamika adalah pada termodinamika membahas sistem pada keadaan setimbang, sedangkan syarat terjadinya aliran panas adalah ketidakseimbangan suhu. Jadi pada ilmu perpindahan panas sasaran utama adalah laju perpindahan.

2.1.3 Kondisi Awal Dari Analisis Transien

Kondisi awal menunjukkan suhu pada titik awal/titik *start* untuk analisis transien. Setiap titik mode pada pemodelan harus diberikan suhu awal yang eksplisit, jika suhu awal ini tidak diberikan maka secara otomatis suhu awalnya adalah 0° .

2.1.4 Menentukan Fungsi Temperatur Dan Waktu

Fungsi temperatur dan waktu ditentukan dengan menggunakan perintah yang ada, kehati-hatian dalam menentukan fungsi ini sangat diperlukan karena penyelesaian yang dihasilkan sangat ditentukan oleh fungsi temperatur dan waktu yang dibuat, sehingga contoh, fungsi waktu dan temperatur seperti pada Tabel 2.1

<i>Time (t)</i>	<i>Temperature (C°)</i>
0.0	0.0
10.0	10.0
100.0	100.0

Tabel 2.1 Waktu dan temperatur

2.2 Kontroler

Keberadaan kontroler dalam sebuah sistem kontrol mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Pada prinsipnya hal itu disebabkan oleh tidak dapat diubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya, karakteristik *plant* harus diterima sebagaimana adanya, sehingga perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan suatu sub sistem, yaitu kontroler.

Salah satu fungsi komponen kontroler adalah mengurangi sinyal kesalahan, yaitu perbedaan antara nilai referensi/nilai yang diinginkan dan nilai aktual. Hal ini sesuai dengan tujuan sistem kontrol dimana mendapat nilai sinyal keluaran sama dengan nilai yang diinginkan referensi. Semakin kecil kesalahan yang terjadi, semakin baik kinerja sistem kontrol yang diterapkan.

Apabila perbedaan antara nilai referensi dengan nilai keluaran relatif besar, maka kontroler yang baik seharusnya mampu mengamati perbedaan ini untuk segera menghasilkan sinyal keluaran untuk mempengaruhi *plant*. Dengan demikian sistem secara cepat mengubah keluaran *plant* sampai diperoleh selisih dengan nilai referensi sekecil mungkin.

Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai aktual keluaran *plant* dengan nilai referensi, kemudian menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan (Ogata, 1996: 197-204).

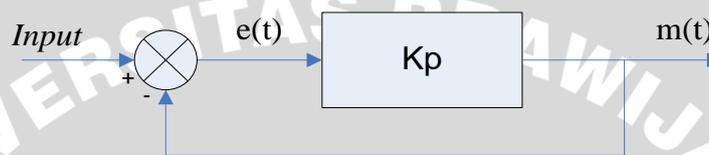
2.3 Kontroler PID (Proporsional Integral Diferensial)

2.3.1 Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding/proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan, bahwa keluaran

kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya.

Pada Gambar 2.1 menunjukkan diagram blok yang menggambarkan hubungan antara *input* (besaran referensi yang diinginkan), besaran aktual dengan besaran keluaran kontroler proporsional, dan besaran kesalahan (*error*). Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran *setting* dengan besaran aktualnya.



Gambar 2.1 Diagram Blok Kontroler Proporsional
 Sumber: Ogata,1995: 157

Pada pengendali proporsional hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan $e(t)$ adalah

$$m(t) = K_p e(t) \dots\dots\dots(2-1)$$

Sumber: Ogata, 1995: 157

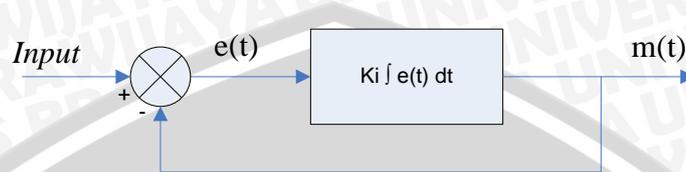
dengan K_p adalah penguatan proporsional. Keluaran $m(t)$ hanya tergantung pada K_p dan *error*, semakin besar *error* maka semakin besar koreksi yang dilakukan. Penambahan K_p akan menaikkan penguatan sistem sehingga dapat digunakan untuk memperbesar kecepatan respons dan mengurangi kesalahan keadaan mantap.

2.3.2 Kontroler Integral

Kontroler integral berfungsi mengurangi kesalahan keadaan mantap yang dihasilkan pada kontroler proporsional sebelumnya. Kalau sebuah *plant* tidak memiliki unsur integrator ($1/s$), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantap nol.

Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan

nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Gambar 2.2 menunjukkan diagram blok kontroler integral.



Gambar 2.2 Diagram Blok Kontroler Integral
 Sumber: Ogata, 1995: 158

Nilai keluaran kontroler $m(t)$ sebanding dengan integral sinyal kesalahan $e(t)$,

Sehingga

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i \cdot e(t) \dots\dots\dots(2-2)$$

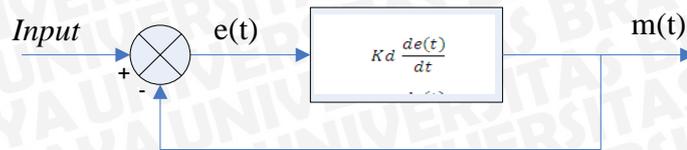
$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \dots\dots\dots(2-3)$$

Sumber: Ogata, 1995: 157

dengan K_i adalah konstanta integral. Jika sinyal kesalahan $e(t)=0$, maka laju perubahan sinyal kendali integral $\frac{dm(t)}{dt} = 0$ atau sinyal keluaran kendali akan tetap berada pada nilai yang dicapai sebelumnya. Aksi kontrol integral digunakan untuk menghilangkan kesalahan posisi dalam keadaan mantap (*error steady state*) tanpa memperhitungkan kecepatan respons.

2.3.3 Kontroler Diferensial

Kontroler diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Gambar 2.3 berikut menunjukkan diagram blok pada kontroler diferensial.



Gambar 2.3 Diagram Blok Kontroler Diferensial
 Sumber: Ogata, 1995: 177

Nilai keluaran kontroler $m(t)$ sebanding laju sinyal kesalahan $\frac{de(t)}{dt}$.

Hubungan ini dapat ditulis sebagai:

$$m(t) = Kd \frac{de(t)}{dt} \dots \dots \dots (2-4)$$

Sumber: Ogata, 1995: 179

Kontroler differensial akan memberikan sinyal kendali keluaran $m(t) = 0$, untuk sinyal kesalahan $e(t)$ yang konstan sehingga kontroler differensial tidak mempengaruhi keadaan mantap. Kontroler differensial digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon transien sebuah sistem serta dapat meredam osilasi.

Berdasarkan karakteristik kontroler tersebut, kontroler differensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja kontroler differensial hanyalah efek dari lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu kontroler differensial tidak bisa digunakan tanpa ada kontroler lain.

Dari ketiga aksi kontrol dasar di atas dapat dibuat kombinasi dari ketiganya, yaitu:

2.3.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proporsional integral differensial (PID). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar (Gunterus, 1994, 8-10). Kontroler PID memiliki diagram kendali seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.4.

Aksi kontrolnya dinyatakan sebagai:

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot e(t)dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots(2-5)$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \dots\dots\dots(2-6)$$

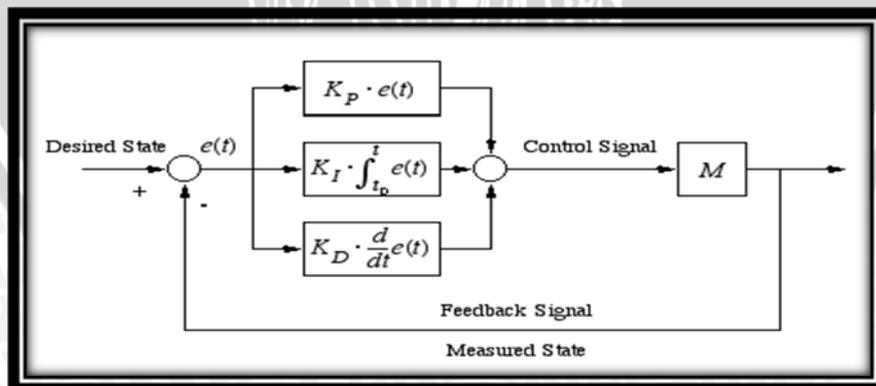
Untuk dapat diterapkan dalam kontroler digital, maka persamaan 2.5 harus diubah kedalam persamaan diskrit dengan mendefinisikan persamaan 2.5 terhadap waktu. Sehingga diperoleh persamaan :

$$\frac{du}{dt} = K_p \frac{de(t)}{dt} + K_i \cdot e(t) + K_d \cdot \frac{d^2e(t)}{dt^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

Pada persamaan 2.7 dapat diketahui berapa lama keluaran kontroler harus berubah untuk setiap perubahan waktu yang dianggap kecil, *dt*. Dalam sistem digital, selang waktu *dt* dinyatakan dalam waktu sampling (*T_s*). Maka untuk mengetahui berapa besar keluaran dan *error* dalam bentuk perubahan dari satu sampling ke sampling berikutnya adalah sebagai berikut :

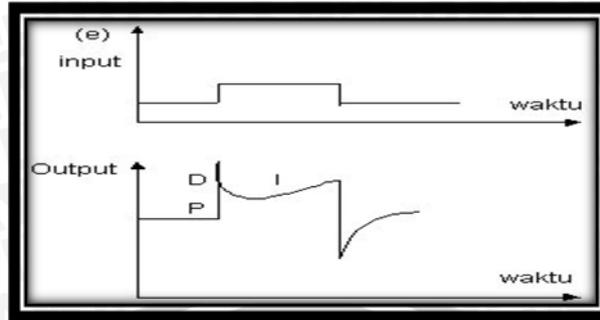
$$\frac{\Delta u}{T_s} = K_p \frac{\Delta e}{T_s} + K_i \cdot e + K_d \cdot \frac{\Delta}{T_s} \left[\frac{\Delta e}{T_s} \right] \dots\dots\dots(2.8)$$

Jenis kontroler ini digunakan untuk memperbaiki kecepatan respons, mencegah terjadinya kesalahan keadaan mantap serta mempertahankan kestabilan. Gambar 2.4 menunjukkan diagram blok kontroler PID.



Gambar 2.4 Diagram Blok Kontroler PID





Gambar 2.5 Fungsi Waktu antara Sinyal Keluaran dan Sinyal Masukan Kontroler PID

Sumber: Gunterus, 1994:8-11

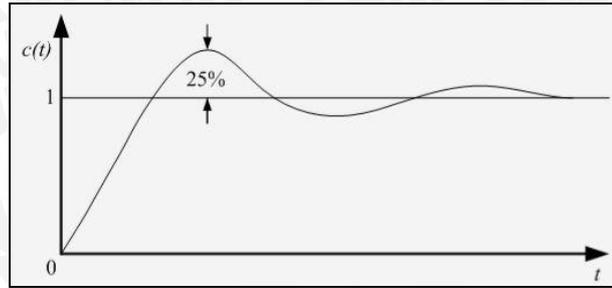
Keluaran kontroler PID merupakan penjumlahan dari keluaran kontroler proporsional, integral dan diferensial. Gambar 2.5 menunjukkan hubungan tersebut. Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta K_p , T_i dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah yang akan memberikan kontribusi pada respons sistem secara keseluruhan (Gunterus, 1994, 8-10).

2.3.5 Metode Tuning PID

Metode Ziegler-Nichols

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan. (Ogata, K., 1997).

Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan Ziegler-Nichols, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% *maximum overshoot* pada *respons unit step*, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.6.

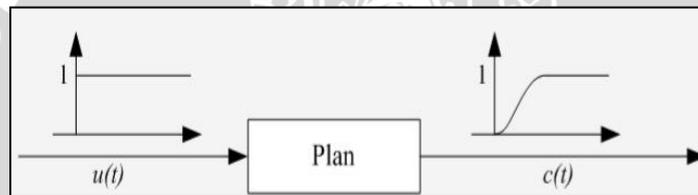


Gambar 2.6 Kurva Respons *Unit Step* yang Menunjukkan 25% *Maximum Overshoot*

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

a) Metode Pertama

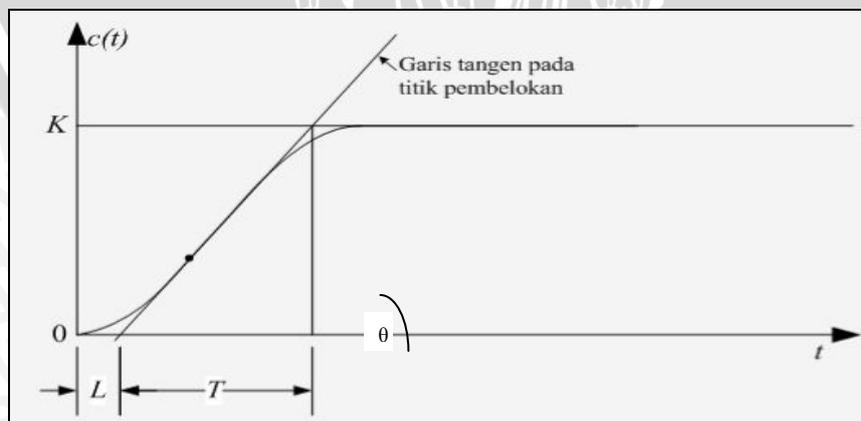
Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respons dari *plant* dapat diperoleh secara *eksperimental* dengan masukan berupa unit step, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Respons *Plant* terhadap Masukan berupa *Unit Step*

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

Jika dalam *plant* tersebut terdapat integrator atau *dominan complex-conjugate poles*, maka kurva respons *unit step* berbentuk seperti huruf S, seperti dalam Gambar 2.8. Jika respons tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku. (Ogata, K., 1997).



Gambar 2.8 Respon *Plant* berbentuk S

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.9 Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \dots\dots\dots(2-9)$$

Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.2 (Ogata, K., 1997).

Tabel 2.2 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols berdasarkan Respons *Unit Step*

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

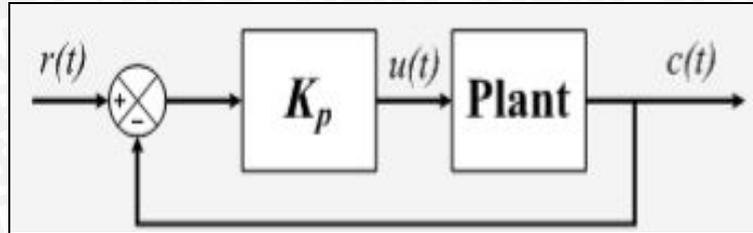
Sumber: Ogata, K. 1997

b) Metode Kedua

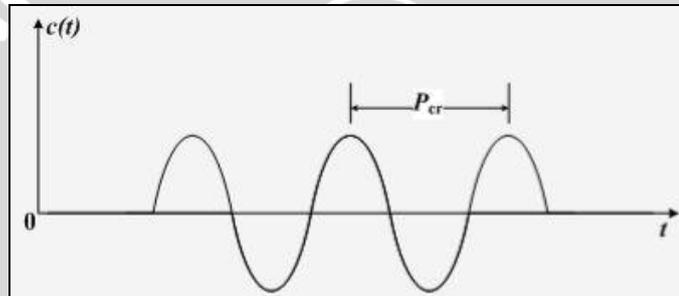
Dalam metode kedua ziegler-nichols, mula-mula yang dilakukan adalah membuat $T_i = 0$ dan $T_d = 0$. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (Jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p manapun yang telah diambil, maka metode ini tidak berlaku). Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan. Diagram blok sistem *loop* tertutup dengan kontroler proporsional dapat dilihat dalam Gambar 2.9 dan untuk osilasi berkesinambungan dengan periode P_{cr} dapat



dilihat dalam gambar 2.10 Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p, T_i, T_d dan berdasarkan rumus yang diperlihatkan dalam Tabel 2.2. (Ogata, K., 1997)



Gambar 2.9 Sistem Loop Tertutup dengan Kontroler Proporsional
 Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997



Gambar 2.10 Osilasi Berkesinambungan Dengan Periode P_{cr}
 Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

Tabel 2.3 Aturan Dasar Ziegler-Nichols berdasarkan *Critical Gain K_{cr}* dan *Critical Period P_{cr}*

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.60 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

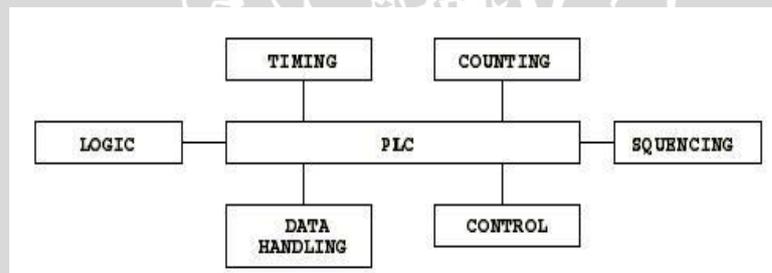
2.4 Sistem Cascade

Sistem *cascade* dalam suatu penguat berarti mempunyai lebih dari satu tingkat dalam konfigurasi rangkaiannya. Penguat sistem *cascade* menggunakan JFET bertujuan untuk mendapatkan penguatan tegangan yang lebih besar dengan

impedansi masukan yang besar pula dan sistem *cascade* ini adalah penggabungan dua kontroler menjadi satu yang difungsikan secara bersamaan dan dikontrol secara bersamaan pula.

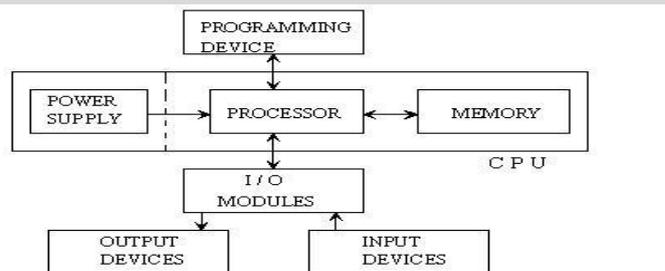
2.5 PLC

PLC merupakan peralatan mikroprosesor serbaguna yang dirancang khusus untuk bisa bekerja di lingkungan industri. PLC dapat bekerja pada lingkungan dengan kelembaban 0% sampai 90% serta di lingkungan yang berdebu dan berpolusi tinggi. PLC digunakan untuk mengontrol mesin-mesin atau proses dengan daya guna dan ketelitian yang tidak tertandingi oleh sistem konvensional berbasis relay elektromekanis. Berdasarkan pada standar yang dikeluarkan oleh *National Electrical Manufactures Association* (NEMA) ICS3-1978 Part. ICS3-304, PLC adalah suatu peralatan elektronik yang bekerja secara digital, memiliki memori yang dapat diprogram, menyimpan perintah-perintah untuk melakukan fungsi-fungsi khusus, seperti *logic*, *sequencing*, *timing*, *counting*, dan aritmatika untuk mengontrol berbagai jenis mesin atau proses melalui analog atau digital *input/output* modul. Gambar 2.11 adalah gambar mengenai fungsi kerja PLC dan Gambar 2.12 adalah gambar arsitektur PLC.



Gambar 2.11 Fungsi kerja PLC

Sumber: Omron 1993:13



Gambar 2.12 Arsitektur PLC

Sumber: Omron 1993:13

2.4.1 Prinsip Kerja PLC

Programmable

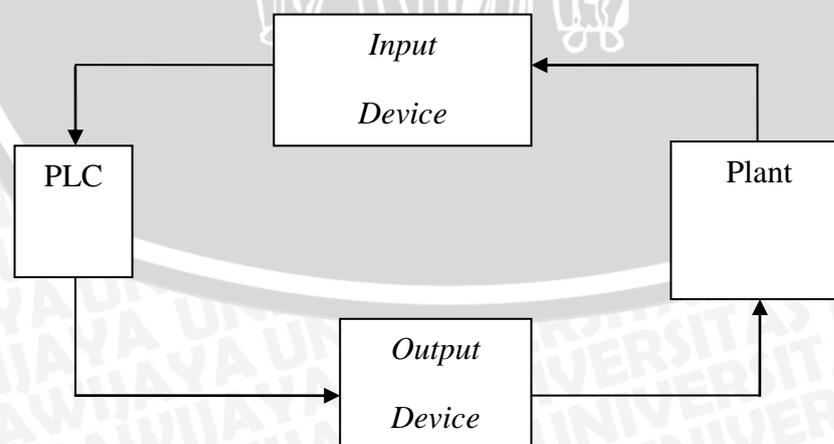
Menunjukkan kemampuan PLC yang dapat dengan mudah diubah-ubah konfigurasinya sesuai program yang diinginkan.

Logic

Menunjukkan kemampuan PLC dalam memproses masukan (*input*) secara aritmatik yakni melakukan operasi membandingkan, menjumlahkan, mengalikan, membagi, dan mengurangi.

Controller

Menunjukkan kemampuan PLC dalam mengontrol dan mengatur proses sehingga menghasilkan keluaran (*output*) yang diinginkan. PLC adalah suatu perangkat yang dapat di program dengan mudah untuk mengontrol peralatan dalam sistem yang akan dikontrol dalam bidang industri pengguna mesin otomatis dan proses secara otomatis. Pengontrolan dengan sistem elektromagnetik yang menggunakan rele – rele mempunyai banyak kelemahan. Diantaranya kontak-kontak rele yang mudah aus karena panas, terbakar atau hubung singkat membutuhkan biaya yang besar untuk instalasi, pemeliharaan dan modifikasi dari sistem yang telah dibuat. Dengan menggunakan PLC hal tersebut dapat diatasi, karena PLC mengintegrasikan berbagai macam komponen yang berdiri sendiri menjadi suatu sistem kendali terpadu dan dengan mudah dimodifikasi tanpa mengganti semua *instrument* yang ada. Gambar 2.13 menunjukkan diagram blok prinsip kerja PLC.



Gambar 2.13 Diagram Blok Prinsip Kerja PLC

2.4.2 Perangkat Keras PLC

2.4.2.1 Central Processing Unit (CPU)

Central Processing Unit berfungsi untuk mengambil instruksi dari memori, mendekodinya dan kemudian mengeksekusi instruksi tersebut. Selama proses tersebut, CPU akan menghasilkan sinyal kontrol, memindahkan data ke I/O *port* atau sebaliknya, melakukan fungsi aritmatik dan logika, juga mendeteksi sinyal dari luar CPU. CPU, pada umumnya terdiri atas 3 (tiga) unsur utama, yaitu *processor*, sistem memori dan catu daya. Arsitektur CPU dapat berbeda-beda untuk setiap merk, misalnya saja catu dayanya berada di luar CPU.

2.4.2.2 Unit Catu Daya

Catu daya listrik digunakan untuk memberikan pasokan catu daya ke seluruh bagian PLC (termasuk CPU, memori dan lain-lain). Kebanyakan PLC bekerja dengan catu daya 24V DC atau 220V AC. Ada beberapa PLC yang memiliki catu daya terpisah, biasanya yang seperti itu dimiliki oleh jenis PLC yang besar, sedangkan yang jenis PLC *medium* atau yang kecil catu dayanya sudah menjadi satu.

Catu daya listrik ini tidak digunakan untuk memberikan daya langsung ke masukan atau keluaran, artinya masukan dan keluaran murni merupakan sebuah saklar. Operator harus menyediakan sendiri catu daya yang terpisah untuk masukan dan keluaran PLC, atau dengan memanfaatkan keluaran 24V DC dari PLC. Dengan cara demikian, maka lingkungan industri di tempat PLC digunakan tidak akan merusak PLC itu sendiri karena memiliki catu daya yang terpisah antara PLC dengan jalur-jalur masukan dan keluaran.

2.4.2.3 Unit Pemrograman

Unit pemrograman digunakan untuk memasukkan program yang dibutuhkan ke dalam memori. Program ini merupakan *software* yang menghubungkan antara PLC dengan CPU. Dengan adanya unit pemrograman maka fungsi-fungsi yang akan dimasukkan (*downloaded*) ataupun diunggah (*uploaded*) dapat dilakukan. Disinilah sistem kerja yang akan dilaksanakan oleh PLC dirancang dan diolah. Setiap jenis ataupun merk PLC memiliki *software* masing-masing yang berbeda dengan yang lain seperti misalnya program Syswin

pada PLC Omron, Melsoft GX pada PLC Mitsubishi dan XG5000 pada PLC XGB.

2.4.2.4 Unit Memori

Memori pengguna dibagi menjadi beberapa *blok* yang memiliki fungsi khusus. Beberapa bagian memori digunakan untuk menyimpan status masukan dan keluaran. Status yang sesungguhnya dari masukan maupun keluaran disimpan sebagai logika “0” dan “1” (dalam lokasi bit memori tertentu). Masing-masing masukan atau keluaran berkaitan dengan sebuah bit dalam memori.

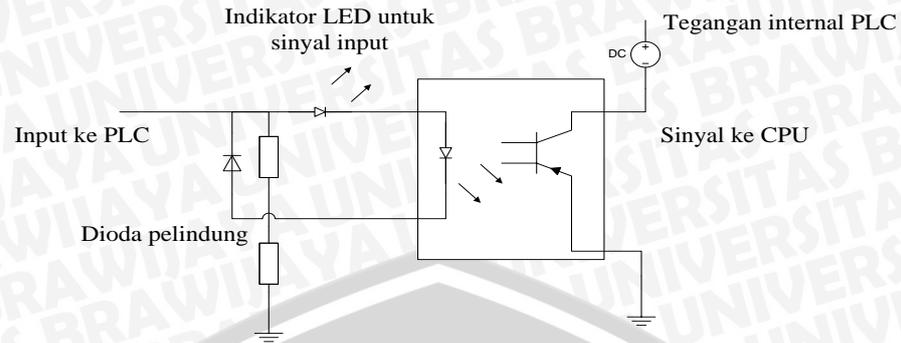
Sedangkan bagian lain dari memori digunakan untuk menyimpan isi variabel-variabel dalam pemrograman yang dituliskan, misalnya *timer* (pewaktu) atau nilai *counter* (pencacah).

2.4.2.5 Unit Input

- **Unit Input Digital**

Modul antar masukan ini berfungsi untuk mengkonversi atau mengubah sinyal-sinyal masukan dari luar menjadi sinyal yang sesuai dengan tegangan kerja CPU, misalnya masukan dari sensor dengan tegangan kerja 24V DC harus dikonversikan menjadi tegangan 5V DC agar sesuai dengan tegangan kerja CPU. *Input* digital atau *input* diskrit hanya mengenali kondisi *on* atau *off*, atau mempunyai dua kemungkinan kondisi, yaitu 0 dan 1.

Pengisolasian listrik dari sumber listrik biasanya dilakukan dengan isolator optik (*optocoupler*). Pada Gambar 2.14 ditunjukkan bahwa ketika sebuah pulsa digital melewati diode pemancar cahaya (LED), sebuah radiasi inframerah dibangkitkan. Pulsa ini terdeteksi oleh fototransistor dan mengakibatkan timbulnya tegangan pada rangkaian fototransistor tersebut. Konfigurasi rangkaian seperti ini memungkinkan sebuah pulsa digital pada satu sisi rangkaian membangkitkan sebuah pulsa digital baru pada sisi rangkaian lainnya yang sama sekali tidak tersambung secara elektronik, tetapi tersambung secara optik, tujuannya adalah melindungi CPU dari sinyal-sinyal yang tidak dikehendaki yang bisa merusak CPU.



Gambar 2.14 Digital input PLC

Sumber: <http://program-plc.blogspot.com/>

- **Unit Input Analog**

Unit *input analog* berfungsi untuk menangani sinyal *analog* dan mengkonversikannya ke bentuk *digital* dengan menggunakan sebuah konverter *analog* ke *digital* sehingga dapat diproses oleh prosesor. Kisaran *input* analog adalah sebagai berikut 0-10V DC, 0-10VAC, -10V hingga +10V DC, 4-20mA DC.

PLC mempunyai kemampuan untuk menggunakan modul tambahan yang mempunyai kemampuan khusus, diantaranya seperti modul *input/output* analog. Dengan demikian hal ini cukup memudahkan bagi pengguna untuk *wiring* alat yang akan dikendalikan oleh PLC.

2.4.2.6 Unit Output

- **Unit Output Digital**

Sinyal dari *output* PLC mengaktifkan sebuah rele sehingga mampu menyambungkan arus beberapa ampere ke dalam rangkaian *eksternal*. *Output* tipe rele dapat menangani pensaklaran DC maupun AC.

- **Unit Output Analog**

Output analog berfungsi untuk mengubah sinyal digital dari CPU menjadi sinyal *analog* pada keluaran PLC. Prinsip kerja modul *output analog* berlawanan dengan prinsip kerja modul *input analog*. Kisaran *output analog* adalah sebagai berikut.

2.4.3 Pemrograman PLC

Secara umum, sistem pemrograman PLC dapat dilakukan dengan dua cara, pertama, rancangan rangkaian kontrol yang telah diprogram dalam diagram tangga atau *ladder diagram* langsung dapat diprogram tanpa harus mengubah dahulu ke fungsi mnemonicnya. Kedua, rancangan rangkaian kontrol diubah dahulu ke fungsi mnemonicnya (dikodekan dulu), sesuai dengan tombol-tombol yang ada pada papan ketik PLC.

Demikian juga, untuk sistem pemantauannya atau untuk memonitor programnya ada dua jenis tampilan, yaitu dapat langsung ditampilkan dalam bentuk diagram tangga (khusus pada tampilan monitor komputer program) sesuai dengan rancangan kontrol atau dapat juga ditampilkan dalam fungsi mnemonicnya (pada tampilan layar LCD *program console*).

2.4.3.1 Dasar - Dasar Pemrograman

Dasar-dasar dari pemrograman dari *Programmable Logic Controller* (PLC) dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menentukan diskripsi kerja sistem yang akan dikontrol.
2. Menentukan peralatan *input/output* yang dipakai kedalam PLC I/O bit yaitu peralatan *eksternal* yang akan mengirim/menerima sinyal dari PLC.
3. Menentukan simbol-simbol *ladder diagram* untuk menggambarkan rangkaiannya.
4. Menggunakan program CX-One, untuk mengubah *ladder diagram* kedalam kode mnemonic agar CPU PLC dapat mengerjakannya.
5. Memindahkan program yang telah ditulis/ digambar kedalam memori PLC.
6. Memperbaiki kesalahan pemrograman jika terjadi kesalahan pada program yang telah dibuat, sehingga menjadi benar.
7. Menjalankan program pada PLC dan mengetes kesalahan program *execution*.

2.4.3.2 Konsep Pembuatan Program dengan Diagram Tangga

Hubungan kontak-kontak diagram tangga yang ada dalam CPU PLC terangkai secara elektronik, sehingga tidak memerlukan kawat penghubung seperti pada rangkaian kontrol secara konvensional.

Adapun ketentuan-ketentuan dalam penyusunan rangkaian ke diagram tangga adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan rangkaian kontrol diusahakan untuk menggunakan kontak seminimum mungkin, sehingga efisiensi kerja dari PLC dapat ditingkatkan dan alamat-alamat serta data-data dalam register digunakan sehemat mungkin, sehingga tidak melebihi kapasitas memori yang telah ditetapkan.
2. Kondisi sinyal yang mengalir pada rangkaian logika PLC selalu datang dari arah kiri menuju ke arah kanan.
3. Tidak ada satu koil atau rele *output* yang dapat dihubungkan langsung pada busbar bagian kiri. Jika diperlukan rele *output* bekerja terus menerus, maka di antara busbar kiri dengan *output* diberi kontak NC dari internal *Auxiliary Relay* yang tidak digunakan.
4. Busbar sebelah kanan dari diagram tangga boleh tidak digambar, karena hubungan busbar tersebut telah tersambung secara otomatis pada PLC.
5. Semua *output* dilengkapi dengan kontak - kontak bantu yang dapat digunakan secara seri maupun paralel.
6. Jumlah kontak-kontak NO dan NC dapat dihubungkan secara seri maupun paralel dengan tak terbatas sesuai dengan kebutuhan.
7. Tidak ada kontak yang dapat diprogram atau disisipkan setelah *output* atau dengan kata lain antara busbar sebelah kanan dan hasil *output* tidak boleh disisipi kontak.
8. Pengkodean nomor - nomor kontak dan nomor - nomor *koil output*, termasuk *timer*, *counter* dan lain-lain disesuaikan dengan spesifikasi yang telah ditetapkan oleh pabriknya.
9. Sebuah *output koil*, termasuk *timer*, *counter* tidak dapat digunakan untuk lebih dari satu kali.

10. Dua atau lebih *coil output*, termasuk *timer*, *counter* dapat dihubungkan secara paralel.

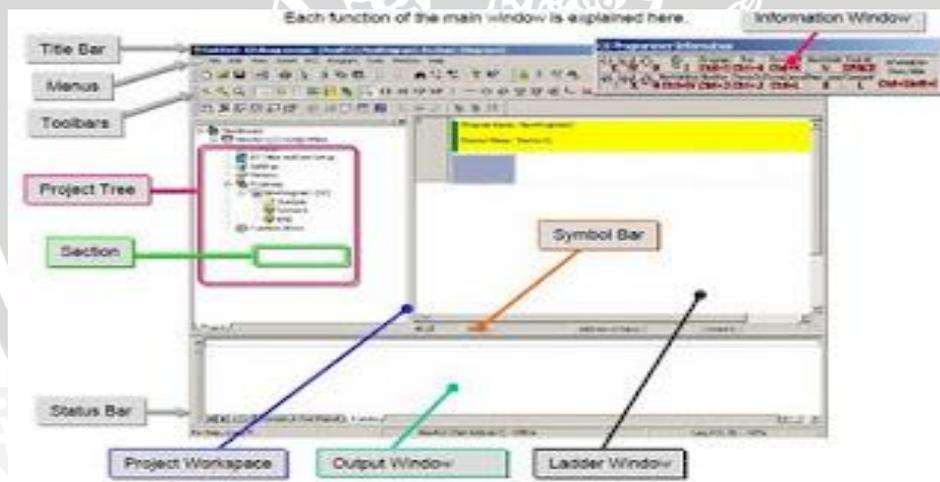
11. Program rangkaian dieksekusi oleh CPU secara berurutan, mulai dari alamat yang pertama sampai dengan alamat yang terakhir pada program.

2.4.3.3 Menggambar *Ladder Diagram*

Untuk membedakan peralatan-peralatan yang akan dikontrol serta bagaimana hubungan peralatan satu dengan yang lainnya dan waktu pelaksanaan pengontrolan harus dilaksanakan untuk kemudian dituliskan atau digambarkan *ladder diagram*nya. Dalam *ladder diagram* terdapat kombinasi huruf dan digit angka yang mempunyai ketentuan masing-masing. Diantaranya terdapat *address* untuk memori bit I/O demikian pula digit *work bit* untuk *timer* dan *counter*.

2.4.3.4 Penggunaan Pada *Software CX-One*

Gambar 2.15 berikut merupakan tampilan dari program CX-One



Gambar 2.15 Tampilan Dasar Program CX-One

Sumber: *CX-One User Manual*

Deskripsi gambar

- Title Bar*: Menunjukkan nama file yang akan di save i *CX-Programmer*.
- Menu*: Untuk memilih menu item.

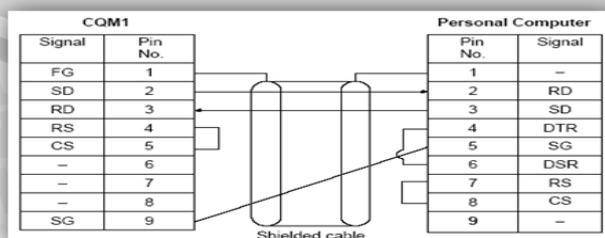
- c. *Tool Bar*: Berisi *tools* untuk mengedit ladder, *View* dan menu standar lainnya.
- d. *Project Tree*: Mengatur program dan data, dapat mengcopy program atau dapat *drag* dan *drop* untuk di *copy* antara *project* yang berbeda atau yang sama.
- e. *Ladder Windows*: Layar untuk menulis dan mengedit program *ladder*.
- f. *Status Bar*: Menunjukkan Status PLC *Online/ Offline*, nama PLC dan lokasi *active sel*.
- g. *Output Windows*: Menampilkan *error compiling* , menampilkan pencarian *contact* dan menampilkan *error* ketika program sedang berjalan.
- h. *Informasion Windows*: Menampilkan *shortcut* program, informasi ini dapat di *hide* atau *unhide*.
- i. *Simbol Bar*: Menampilkan nama *address* atau nilai suatu *contact* atau *coil* dari penunjukan kursor.

2.4.3.5 Instruksi Dasar

Pengguna biasanya menggunakan instruksi secara langsung dalam program yang cenderung rumit. Padahal perlu diketahui apa saja instruksi yang bisa digunakan dalam program. Dengan demikian instruksi menjadi lebih sederhana dalam pembuatan *ladder diagram*. Semakin baik metode untuk menentukan *variabel* dalam program maka semakin memudahkan program untuk mengeksekusi secara cepat.

2.4.4 Konfigurasi Konektor RS-232C

Gambar 2.16 adalah gambar konfigurasi konektor RS-232C, dapat dilihat hubungan masing-masing pin antara PC dengan RS-232C.



Gambar 2.16 Konfigurasi konektor RS-232C

Sumber : Omron, 1999:49

2.5 HMI (*Human Machine Interface*)

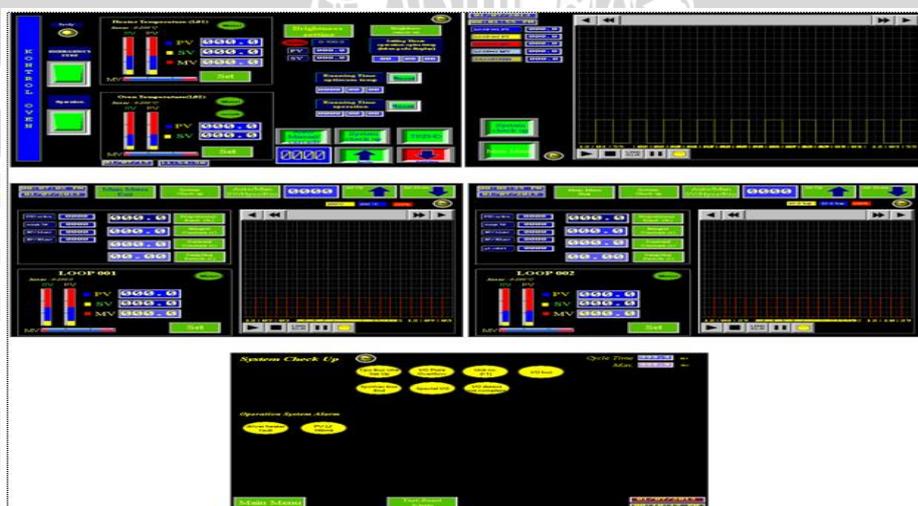
HMI (*Human Machine Interface*) adalah membuat fungsi dari teknologi nyata. Jadi dengan membuat desain HMI yang sesuai, akan membuat pekerjaan fisik lebih mudah. Pada hampir semua solusi teknis, efektifitas dari HMI adalah dapat memprediksi penerimaan *user* terhadap seluruh solusi yang ada. konsep HMI yang *modern* pada industri adalah sebagai media komunikasi antara operator dengan perancangan yang secara ideal mampu memberikan informasi yang diperlukan, agar perencanaan yang dilakukan dengan tingkat efisiensi maksimum. HMI merupakan sarana bagi operator untuk mengakses sistem otomasi di lapangan yang mencakup operasional, pengembangan, perawatan *troubleshooting*.

2.5.1 Fungsi HMI (*Human Machine Interface*)

1. Memonitoring keadaan yang ada di *plant*.
2. Mengatur nilai pada *parameter* yang ada di *plant*.
3. Mengambil tindakan yang sesuai dengan keadaan yang terjadi.
4. Memunculkan tanda peringatan dengan menggunakan alarm jika terjadi sesuatu yang tidak normal / *error*.

2.5.2 Gambar HMI (*Human Machine Interface*)

Gambar 2.17 adalah gambar dari program HMI, dapat dilihat ada beberapa display program HMI, sebagai berikut :



Gambar 2.17 Display dari Program HMI

Sumber : HMI Omron

2.6 Sensor Suhu PT100 (*Thermocouple*)

PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistive Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karenanya namanya diawali dengan 'PT'. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm. Ada juga PT1000 yang dikalibrasi pada nilai resistansi 1000 ohm pada suhu 0°C.

Menurut keakurasiannya, terdapat dua jenis PT100, yaitu *Class-A* dan *Class-B*. PT100 *Class-A* memiliki akurasi $\pm 0,06$ ohm dan PT100 *Class-B* memiliki akurasi $\pm 0,12$ ohm. Keakurasiannya ini menurun seiring dengan naiknya suhu. Akurasi PT100 *Class-A* bisa menurun hingga $\pm 0,43$ ohm ($\pm 1,45^\circ\text{C}$) pada suhu 600°C, dan PT100 *Class-B* bisa menurun hingga $\pm 1,06$ ohm ($\pm 3,3^\circ\text{C}$) pada suhu 600°C.

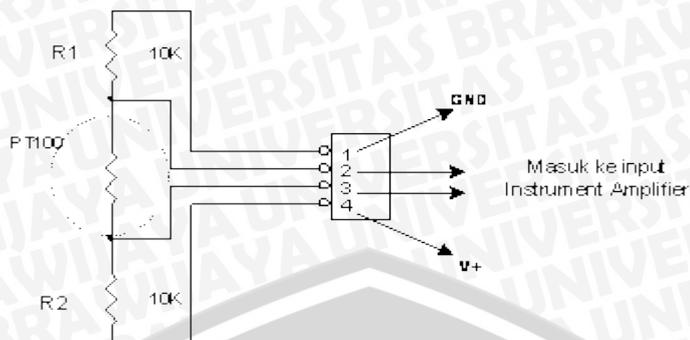
PT100 tipe DIN (Standard Eropa) memiliki resolusi 0,385 ohm per 1°C. Jadi resistansinya akan naik sebesar 0,385 ohm untuk setiap kenaikan suhu 1°C. Untuk mengukur suhu secara elektronik menggunakan sensor suhu PT100, maka kita harus mengeksitasinya dengan arus yang tidak boleh melebihi nilai 1mA. Hal ini karena jika dialiri arus melebihi 1 mA, maka akan timbul efek *self-heating*. Jadi, seperti layaknya komponen resistor, maka kelebihan arus akan diubah menjadi panas. Akibatnya hasil pengukuran menjadi tidak sesuai lagi.

Gambar 2.18 menunjukkan gambar sensor PT100 dan Gambar 2.19 menunjukkan gambar rangkaian sensor PT100.



Gambar 2.18 Sensor PT100

Sumber: Datasheet PT100



Gambar 2.19 Gambar Rangkaian Sensor PT100

Sumber: Datasheet PT100

2.7 Sensor *Brightness Meter*

Sensor yang bekerja untuk mengetahui bahwa cat itu sudah mengkilat dan pembacaan *brightness meter* dan *brightness meter* akan membaca cahaya 0-0,55 volt diubah 4-20 mA dan dibaca PLC 0-100%.

2.7.1 Cara Kerja Sensor *Brightness Meter*

Cara kerja sensor ini adalah sensor ini menggunakan inframerah yang berfungsi untuk mengetahui objek dalam ruang pengovenan dan untuk mendeteksi objek tersebut agar objek sudah seperti yang diinginkan. Dan sensor *brightness meter* ini dapat mendeteksi ruangan yang gelap tanpa pencahayaan lampu atau sinar matahari. Jadi didalam ruang pengovenan tersebut tidak perlu dipasang lampu agar terang. Gambar 2.20 menunjukkan gambar Sensor *Brightness Meter*.



Gambar 2.20 Sensor *Brightness Meter*

Sumber : Perancangan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Kajian dalam skripsi ini merupakan penelitian yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan pembuatan sistem pengaturan suhu ruang pengovenan yang dikontrol oleh PLC (*Programmable Logic Controller*) yang bertujuan agar dapat menampilkan unjuk kerja sesuai dengan yang direncanakan. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur
2. Spesifikasi alat
3. Perancangan dan realisasi pembuatan alat
4. Pengujian alat
5. Pengambilan kesimpulan

3.1 Studi Literatur

Perencanaan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektronik pendukungnya, hal ini dimaksudkan agar sistem pengidentifikasi dapat berjalan sesuai dengan yang telah direncanakan.

Perancangan sistem yang dilakukan meliputi:

- Karakteristik spesifikasi sensor suhu
- Penerapan sensor suhu sebagai *input* PLC
- Spesifikasi umum kontroler yaitu PLC C200HS yaitu PLC Omron kelas *medium*
- Karakteristik spesifikasi pemograman CX-One

3.2 Spesifikasi Alat

Adapun spesifikasi alat yang akan direalisasikan adalah sebagai berikut:

1. Pemanas yang digunakan adalah elemen pemanas yang dilengkapi blower untuk meniupkan udara.

2. Ruang pengovenan yang di gunakan merupakan miniatur yang memiliki Tinggi 40cm x Lebar 40cm x Panjang 40cm yang terbuat dari bahan Seng dan Triplek.
3. Ruang penginstalasian yang digunakan untuk meletakkan semua alat.
4. PLC yang digunakan adalah jenis PLC C200HS yaitu PLC Omron kelas *medium*.
5. Kontroler yang dipakai adalah dua buah kontroler PID (*Proporsional Integral Diferensial*) yang dipasang secara *cascade*.
6. Menggunakan dua buah sensor PT100 yang digunakan untuk memantau suhu dalam ruangan dan suhu *heater*.
7. Menggunakan empat buah *display* untuk memantau suhu pada ruangan, suhu pada heater, kekilapan cat, tangan yang masuk pada *heater*.
8. Tampilan yang digunakan untuk memonitor adalah dengan aplikasi *software CX-One* yaitu *trend monitoring* dan *PID monitoring*.
9. Tampilan yang digunakan untuk mengontrol dan mengoperasikan sistem adalah dengan menggunakan program HMI (*Human Machine Interface*).
10. Pemrograman menggunakan *software CX-One*.

3.3 Perancangan dan Realisasi Pembuatan Alat

3.3.1 Perancangan Perangkat Keras dan Realisasi Tiap Blok

- a. Pembuatan diagram blok sistem secara lengkap.
- b. Penentuan dan perhitungan komponen yang akan digunakan.
- c. Merakit perangkat keras (*Hardware*) untuk masing-masing blok.

3.3.2 Perancangan dan Perhitungan Komponen yang akan digunakan

Setelah mengetahui seperti apa perangkat keras yang dirancang, maka dibutuhkan perangkat lunak untuk mengendalikan dan mengatur kerja dari alat ini. Desain dan *parameter* yang telah dirancang. kemudian diterapkan dalam PLC dengan menggunakan bahasa pemrograman *ladder diagram* oleh *software CX-One*.

3.4 Pengujian Alat

Untuk memastikan bahwa sistem ini berjalan sesuai yang direncanakan, maka perlu dilakukan pengujian alat yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak.

1. Pengujian sensor

Pengujian sensor dilakukan dengan cara mensimulasikan rangkaian sensor dan hasil pemodelan rangkaian sensor. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan sensor dan hasil pemodelan sensor dapat bekerja sesuai dengan perancangan dan memberikan analisis terhadap hasil pengujian. Terdapat rangkaian sensor utama yang diuji yaitu rangkaian sensor PT100 sebagai pengukur suhu ruangan pengovenan dan sensor *Brightness Meter* untuk mengukur bahwa cat itu sudah mengkilat.

2. Pengujian kontrol PID secara *cascade*

Pengujian kontrol PID secara *cascade* dilakukan dengan cara menggunakan suatu program yang dijalankan dengan memasukkan nilai *set value* (SV) dan *present value* (PV) selanjutnya data yang dihasilkan diproses, sehingga *error* yang diperoleh sama dengan nol, atau nilai *set-value* = *present value*

3. Pengujian sistem secara keseluruhan

Pengujian ini dilakukan dengan cara menggabungkan semua bagian alat yang dibuat dan melihat kinerja alat. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja alat yang dibuat dan memberikan analisis terhadap kinerja alat.

3.5 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sistem secara keseluruhan. Jika hasil yang didapatkan telah sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan tentunya memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk penyempurnaan.

BAB IV

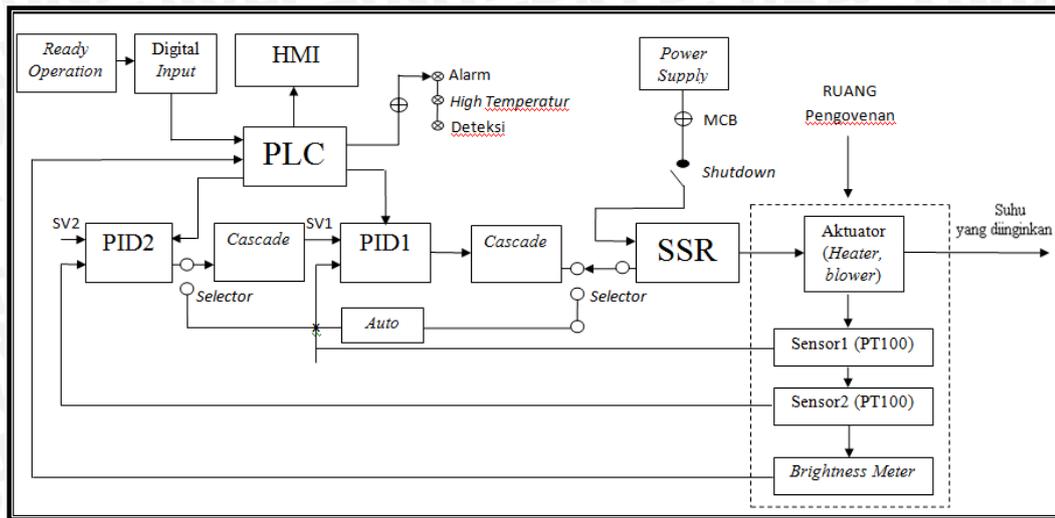
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan dan pembuatan alat ini terdiri dari dua bagian, yaitu perancangan dan pembuatan perangkat keras serta perancangan dan pembuatan perangkat lunak. Perancangan dan pembuatan alat dilakukan secara bertahap untuk memudahkan analisis sistem. Beberapa aspek yang perlu dijelaskan dalam bab ini meliputi penentuan spesifikasi alat, perencanaan masing-masing blok rangkaian serta perencanaan sistem secara keseluruhan.

4.1 Spesifikasi Sistem

1. Menggunakan HMI (*Human Machine Interface*) yang berguna untuk mengontrol dan mengoperasikan sistem alat.
2. Menggunakan empat buah *display* untuk memantau suhu pada ruangan, suhu pada *heater*, kekilapan cat, tegangan yang masuk pada *heater*.
3. Menggunakan dua buah sensor PT100 yang digunakan untuk memantau suhu dalam ruangan dan suhu *heater*.
4. Menggunakan Sensor *Brightness Meter* untuk mengetahui kekilapan cat setelah proses pengovenan.
5. Menggunakan operasi amplifier komparator sebagai pengkondisi sinyal.
6. Menggunakan satu buah PLC C200HS yaitu PLC Omron kelas *medium*
7. Menggunakan dua buah Kontroler yang digunakan secara *cascade* yaitu kontroler PID.
8. *Software* yang digunakan sebagai pemrograman *ladder* adalah CX-One
9. Tampilan untuk *monitoring* menggunakan aplikasi CX-One yaitu *trend monitoring* dan *PID monitoring*.

Gambar 4.1 menunjukkan gambar blok diagram sistem.



Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem

Sumber: Perancangan

4.2 Perancangan Sistem

Untuk lebih memudahkan dalam perencanaan, maka perlu dijabarkan deskripsi kerja sistem secara keseluruhan. Sensor suhu yang diletakkan didalam miniatur ruangan akan membaca kondisi suhu pada miniatur ruangan tertutup dan akan memberikan sinyal yang diproses oleh rangkaian pengkondisi sinyal sebagai masukan pada PLC. Suhu di dalam miniatur ruangan dikondisikan untuk mencapai *set value* pada suhu 80°C dan akan di jaga konstan dengan memanfaatkan *heater* 450W – 220V dan sebuah baling – baling yang di gerakkan oleh motor DC 12V untuk meniupkan panas.

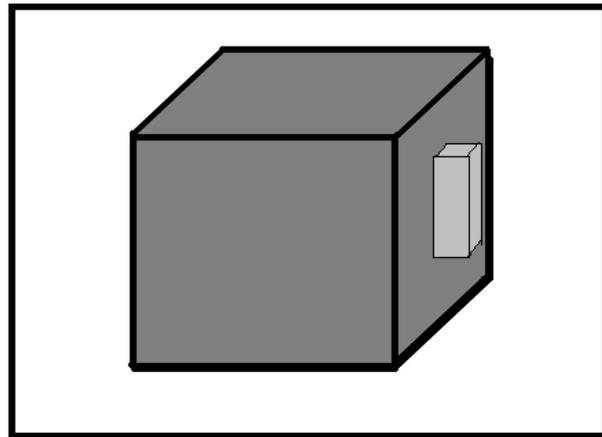
Pada sistem ini terdiri dari dua bagian sub sistem, yaitu *unit* pengontrol dan *unit* yang dikontrol. *Unit* pengontrol adalah PLC C200HS yaitu PLC Omron kelas *medium*. PLC ini terhubung langsung dengan modul tambahan CX-One yang bertugas mengirimkan sinyal tegangan menuju *heater*.

4.3 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras terdiri dari mekanik miniatur ruang pengovenan, rangkaian pengkondisi sinyal sensor PT100, rangkaian *heater*, rangkaian PID yang diatur secara *cascade* dan rangkaian sistem PLC.

4.3.1 Perancangan Mekanik Miniatur Ruang Pengovenan

Perancangan mekanik dilakukan untuk merancang pemodelan miniatur ruang pengovenan. Secara umum rancangan mekanik pemodelan ruang pengovenan ditunjukkan dalam Gambar 4.2 dan hasil perancangan mekanik miniatur ruang pengovenan ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Perancangan Mekanik Miniatur Ruang Pengovenan
Sumber: Perancangan



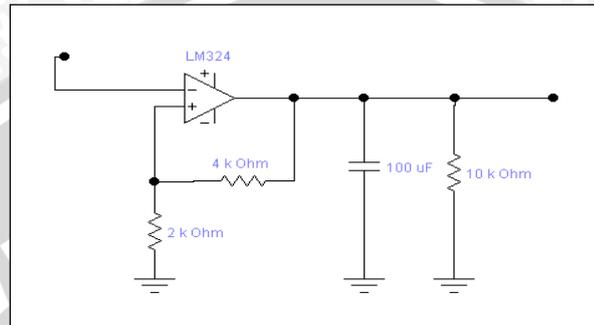
Gambar 4.3 Hasil perancangan Mekanik Miniatur Ruang Pengovenan
Sumber: Perancangan

4.3.2 Perancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor PT100

Rangkaian pengkondisi sinyal diperlukan untuk keluaran sensor PT100 agar dapat dibaca oleh *input* PLC. Pada rangkaian tersebut digunakan rangkaian

operating amplifier agar keluaran dari sensor PT100 dapat dibaca oleh modul *input* analog yang terdapat pada PLC. Keluaran sensor PT100 yang berupa tegangan $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ digunakan sebagai *input operating amplifier* yang akan dikuatkan. Hal ini dikarenakan hanya *range* tegangan 0-10 volt yang dapat dibaca oleh *input* PLC.

Rangkaian op-amp ditunjukkan seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Rangkaian Pengkondisi Sinyal pada Sensor PT100

Sumber: Perancangan

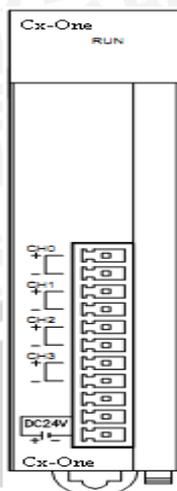
Klasifikasi dan spesifikasi modul analog PLC

- *Input voltage* : 0 - 10V DC
- *Input current* : 4 mA

4.3.3 Perancangan Sistem Keluaran Tegangan Modul Analog CX-One

Sinyal *digital* merupakan sinyal diskrit yang hanya memiliki dua keadaan yaitu 0 dan 1. *Mainunit* 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 C200HS 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 *mainunit*, melainkan langsung dapat dihubungkan karena telah tersedia soket penghubung pada *mainunit* PLC. Gambar 4.5. Menunjukkan bentuk fisik modul *analog* CX-One.

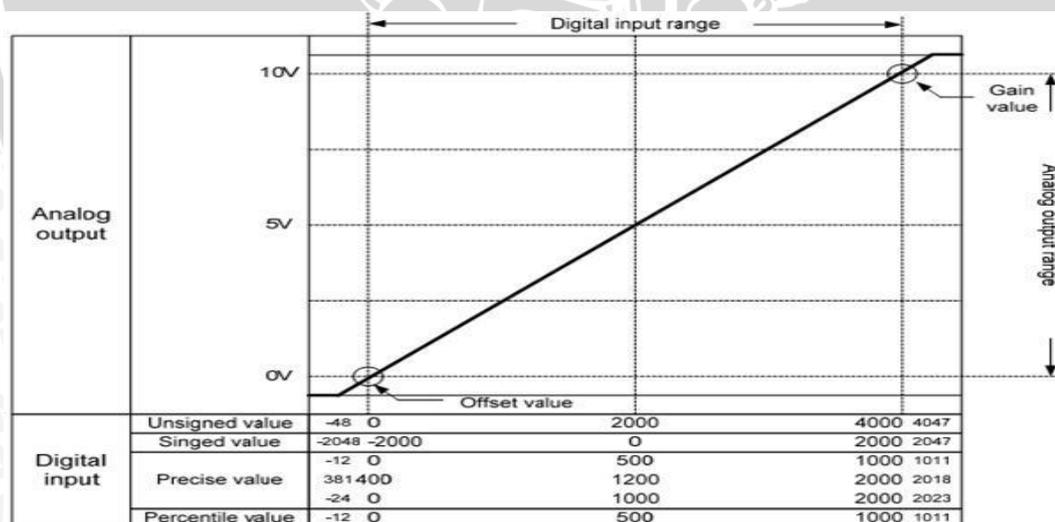


Gambar 4.5 Modul Analog CX-One

Sumber: CX-One User Manual

Pada modul ini dibatasi hanya dapat mengatur keluaran sebanyak 4 channel. Dimulai dari channel 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 4.6. Menunjukkan karakteristik perubahan pada input/output modul.



Gambar 4.6 Karakteristik Perubahan I/O Modul Analog

Sumber: CX-One 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 *mainunit* PLC. Grafik pada Gambar 4.6. Menunjukkan perubahan yang sebanding antara *digitalinput* dengan *analogoutput*. Dengan demikian semakin besar nilai *digital* yang diberikan maka semakin besar juga nilai tegangan yang dikeluarkan oleh modul *analog*.

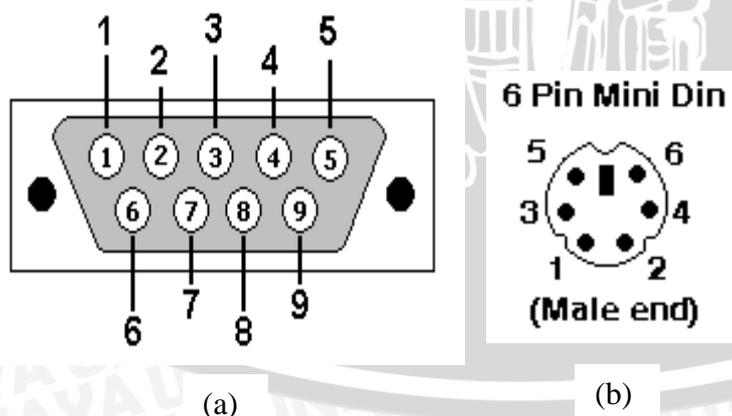
4.4 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak digunakan untuk memasukkan program yang akan digunakan sebagai sistem kerja pengontrol pada PLC. Selain itu perangkat lunak juga difungsikan untuk *monitoring* sistem yang sedang bekerja. *Software* yang digunakan dalam sistem memiliki beberapa aplikasi yang mempunyai fungsi sebagai pemrograman kontroler dan sebagai *monitoring*.

4.4.1 Perancangan Komunikasi Data

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

Dengan susunan konfigurasi seperti yang ditampilkan pada gambar 4.7. Dan Tabel 4.1 menampilkan susunan konfigurasi untuk kabel komunikasi.



Gambar 4.7 (a) DB9 Serial Port dan (b) PS2 Connector

Sumber: www.google.co.id/Converter_serial_to_PS2

Tabel 4.1 Menampilkan Susunan Konfigurasi untuk Kabel Komunikasi.

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

4.4.2 Perancangan Kontroler PID Secara *cascade*

Konsep dasar dari kontrol PID secara *cascade* adalah mendeteksi pv (nilai proses) melalui sensor dan menjumlahnya dengan *set value* SV (nilai yang diinginkan). Dengan demikian kontroler dapat menentukan respons yang diberikan untuk mempertahankan suhu sesuai *present value* PV. Kemudian kontroler mengeluarkan nilai *manipulated value* 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:

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \dots \dots \dots (4-2)$$

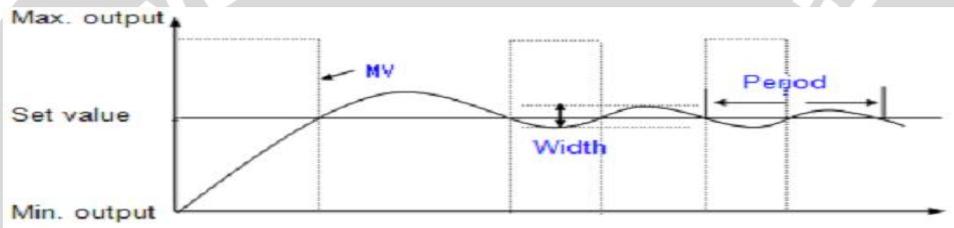
Kontrol PID memiliki kompatibilitas yang tinggi, fleksibilitas, keterjangkauan dibandingkan dengan kontrol robust dan kontrol optimal linier. Dalam kasus metode kontrol lainnya, karena perangkat kontrol dapat diterapkan ke sistem setelah analisis matematis dari sistem, jika sistem atau persyaratan perubahan pengguna, analisis sistem dilakukan lagi. Tapi dalam kasus kontrol PID, perangkat PID berupaya menyesuaikan dengan perubahan sistem atau kebutuhan pengguna dengan metode *auto-tuning* tanpa perlu analisis sistem berulang kali.

Kinerja kontroler PID secara *cascade* sangat bergantung dengan koefisien PID. Umumnya, Hal ini cukup sulit dan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk memprediksi sistem dan mengatur koefisien PID. Penyebabnya adalah

gangguan non-periodik, gangguan kontrol *loop* lain dan karakteristik dinamis sistem kontrol itu sendiri. 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*.

1. *Relay Auto-Tuning*

Relay Auto-Tuning menggunakan *critical osilation* yang menggunakan lebar dari periode osilasi untuk menentukan koefisien PID. Ini berlaku pada *maximum 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 4.8.



Gambar 4.8 *Relay Auto-Tuning*

Sumber: C200HS *Analog User Manual*

Pada Saat ini, periode osilasi disebut periode batas. Batas gain dan periode yang ditentukan menggunakan metode Ziegler dan Nichols. Hal ini relatif sederhana untuk mengkonfigurasi dan mudah untuk mengetahui batas gain dan periode sehingga sering digunakan, *built-in auto-tuning* PID menggunakan metode ini dan Tabel 4.2 adalah table tuning metode Ziegler-Nichols.

$$K_u = \frac{4 \times (\text{Max output} - \text{min output})}{\pi \times \text{width}}$$

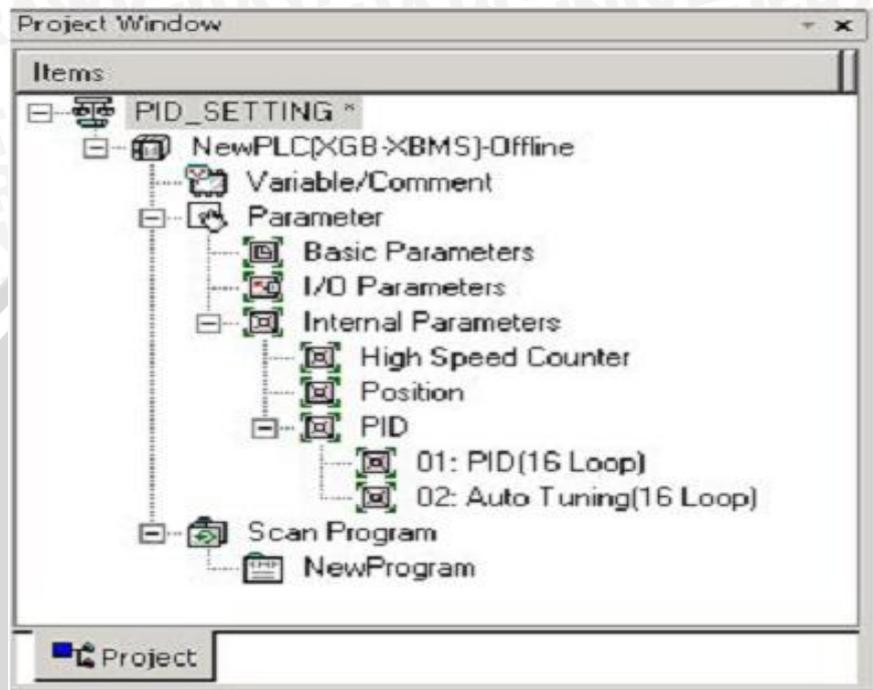
Tabel 4.2 Tabel Tuning Metode Ziegler-Nichols

Kontroler	Proporsional Penguatan (gain)	Integral	Diferensial
P	0,5K _u	-	-
PI	0,45K _u	P _u /1,2	-
PID	0,6K _u	P _u /2	P _u /8

Sumber: Gunterus Frans, 1994

Setting Parameter PID Auto-Tuning

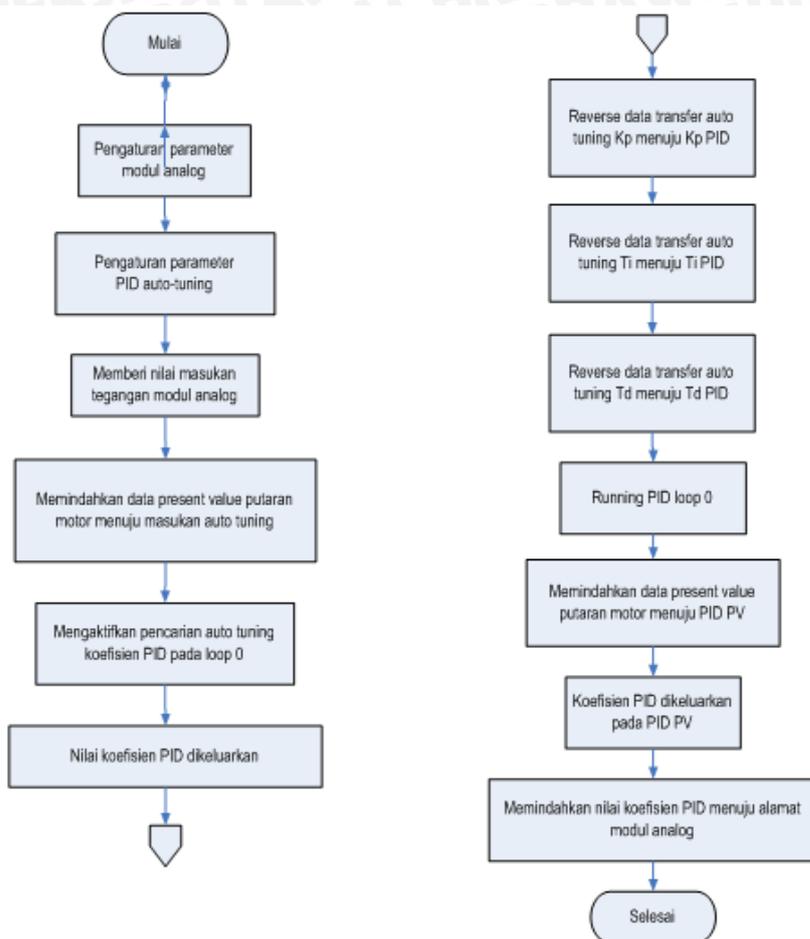
Sama halnya dengan spesial module yang lain, maka sebelum menggunakan program PID, haruslah mengatur parameter PID. Gambar 4.9 menunjukkan tampilan pengaturan parameter PID.



Gambar 4.9 Tampilan Pengaturan Parameter PID

Sumber: *Perancangan*

Setting parameter diperlukan untuk mengaktifkan, nilai-nilai yang ada dimasukkan ke dalam pemrograman. Gambar 4.10. Merupakan *Flowchart* pengaturan masukan nilai pada kontroler PID.



Gambar 4.10 Flowchart Pengaturan Parameter dan Set Value Kontroler PID

Sumber: Perancangan

Pada program yang akan diatur untuk kontroler PID, diperlukan pengaturan parameter terlebih dahulu. Hal ini diperlukan agar sistem dapat bekerja menjadi kontroler PID yang sesuai dengan yang diinginkan. Tabel 4.3 menunjukkan parameter-parameter yang tersedia dan fungsinya.

Tabel 4.3 Parameter Kontroler PID pada software CX-One

Nama	Deskripsi	Range
<i>RUN mode S</i>	Mengatur modus operasi kontrol PID	<i>Auto/manual operation</i>
<i>RUN direction S</i>	Mengatur arah operasi kontrol PID.	<i>Forward/reverse</i>

<i>Prevention of dual Integral accumulation</i>	Mengatur apakah akan mungkin untuk akumulasi ganda terpisah	<i>Disabled/enabled</i>
<i>Operation cycle time</i>	Mengatur waktu operasi siklus kontrol siklus PID	100 ~ 65535
<i>Set value S</i>	Mengatur nilai sasaran kontrol	-32,768 ~ 32,767
<i>Proportional gain S</i>	Mengatur nilai gain proporsional	<i>Real number</i>
<i>Integral time S</i>	Mengatur waktu integral	<i>Real number</i>
<i>Differential time S</i>	Mengatur waktu diferensial	<i>Real number</i>
<i>Limiting change of present value</i>	Mengatur perubahan terbatas nilai sebenarnya persiklus operasi	-32,768 ~ 32,767
<i>Limiting change of maneuver value</i>	Mengatur perubahan terbatas nilai maneuver persiklus operasi	-32,768 ~ 32,767
<i>Max. maneuver value</i>	Mengatur maks maneuver nilai kontrol	-32,768 ~ 32,767
<i>Min. maneuver value</i>	Mengatur min maneuver nilai kontrol	-32,768 ~ 32,767
<i>Manual maneuver value</i>	Mengatur nilai maneuver manual untuk kontrol	-32,768 ~ 32,767
<i>DeadBand setting S</i>	Mengatur lebar <i>deadband</i> dari nilai yang ditetapkan	0 ~ 65,535
<i>Differential filter value</i>	Mengatur koefisien <i>filter</i> operasi diferensial	0 ~ 65,535
<i>Set value ramp S</i>	Mengatur frekuensi <i>unitramp</i>	100 ~ 65,535
<i>Present value follow up</i>	Mengatur frekuensi fungsi tindak lanjut dari nilai sebenarnya	0 ~ 65,535
<i>Min. present value S</i>	Mengatur min nilai-nilai masukan sebenarnya	0 ~ 65,535
<i>Max. present value S</i>	Mengatur maks nilai-nilai masukan sebenarnya	-32,768 ~ 32,767

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Tujuan pengujian sistem ini adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

1. Pengujian sensor suhu
2. Pengujian pengkondisi sinyal
3. Pengujian sensor *brightness meter*
4. Pengujian *Operation Cycle Time*
5. Pengujian *auto-tuning* kontroler PID
6. Pengujian keseluruhan sistem menggunakan PLC

5.1 Pengujian Sensor Suhu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keberhasilan rangkaian sensor LM35 dan kontroler PID yang dihubungkan secara *cascade*. Untuk pengujian respons rangkaian sensor PT100 dan kontroler PID yang dihubungkan secara *cascade* digunakan HMI (*Human Machine Interface*) untuk melihat lama waktu perubahan tingkat logika.

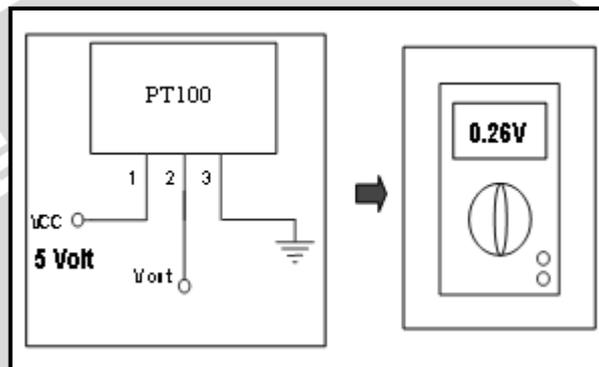
5.1.1 Peralatan Pengujian

1. Catu daya 5V DC.
2. Sensor suhu PT100.
3. Thermometer analog untuk ruangan.
4. Multimeter digital.
5. Pemanas (40W ~ 220V).
6. *Fan* 12V DC.
7. Sensor *Brightness Meter*.

5.1.2 Prosedur Pengujian

Menyusun rangkaian pengujian sensor suhu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1. Menghubungkan catu daya ke rangkaian pengujian. Mengatur suhu udara sehingga dapat berubah-ubah sesuai yg diinginkan dengan menggunakan pemanas dan *fan*. Mengukur tegangan keluaran sensor dengan menggunakan multimeter.

Memasukkan hasil pengukuran kedalam Tabel 1.



Gambar 5.1 Blok Diagram Pengujian Sensor Suhu
Sumber: Perancangan

5.1.3 Hasil pengujian

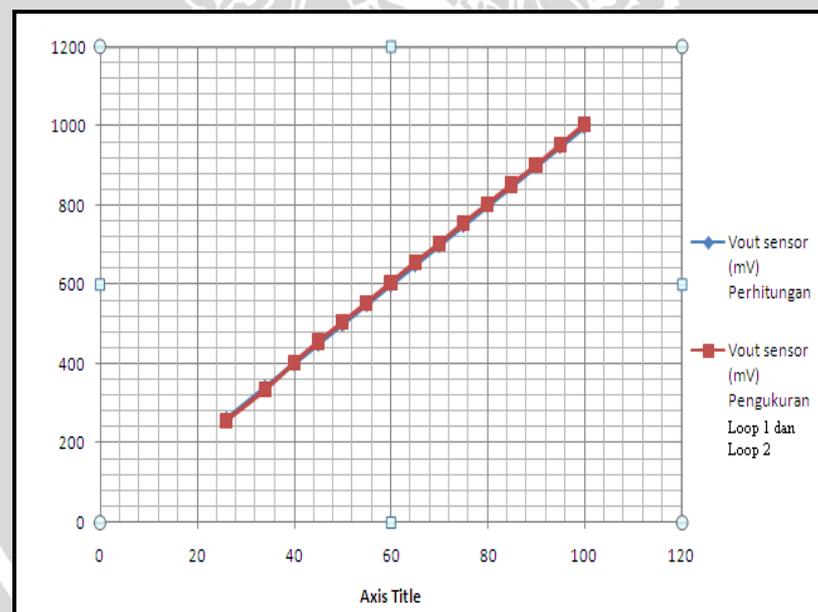
Setelah melakukan prosedur pengujian, maka pada HMI (*Human Machine Interface*) akan menunjukkan tampilan seperti pada Tabel 5.1.

No.	Suhu (°C)	V _{out} sensor (mV) pada loop 1 dan loop 2 secara Cascade		Kesalahan (%)
		Perhitungan	Pengukuran	
1	26	260	256	1.53
2	34	340	334	1.76
3	40	400	403	0.75
4	45	450	456	1.33
5	50	500	505	1
6	55	550	554	0.72
7	60	600	606	1

8	65	650	656	0.92
9	70	700	704	0.57
10	75	750	756	0.8
11	80	800	804	0.5
12	85	850	854	0.66
13	90	900	902	0.41
14	95	950	954	0.42
15	100	1000	1006	0.6
Kesalahan rata-rata (%)				0.54

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor Suhu pada *Loop 1, Loop 2* secara *cascade*

Berdasarkan Tabel 5.1 didapatkan Gambar 5.2 yaitu grafik perbandingan antara suhu dengan V_{out} pada sensor suhu *loop 1* dan *loop 2* secara *cascade* :



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan antara Suhu dengan V_{out} pada Sensor Suhu *loop 1* dan *loop 2* secara *cascade*

Dari grafik pada Gambar 5.2. Dapat dilihat bahwa respons tegangan keluaran sensor suhu terhadap perubahan temperatur adalah mendekati *linier*, dengan kesalahan rata - rata sebesar 0,54%.

5.2 Pengujian Pengkondisi Sinyal

Pengujian dilakukan untuk mengetahui adanya perbedaan nilai antara V_{out} perhitungan dan V_{out} pengukuran pada rangkain pengkondisi sinyal.

5.2.1 Peralatan Pengujian

1. Catu daya 5V DC.
2. Sensor suhu PT100.
3. Thermometer analog untuk ruangan.
4. Multimeter digital.
5. Pemanas (40W ~ 220V).
6. *Fan* 12V DC.
7. Sensor *Brightness Meter*.
8. Rangkaian pengkondisi sinyal

5.2.2 Prosedur Pengujian

Menyusun rangkaian pengujian sensor suhu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1. Menghubungkan catu daya ke rangkaian pengujian. Mengatur suhu udara sehingga dapat berubah-ubah sesuai yg diinginkan dengan menggunakan pemanas dan *fan*. Mengukur tegangan keluaran sensor dengan menggunakan multimeter.

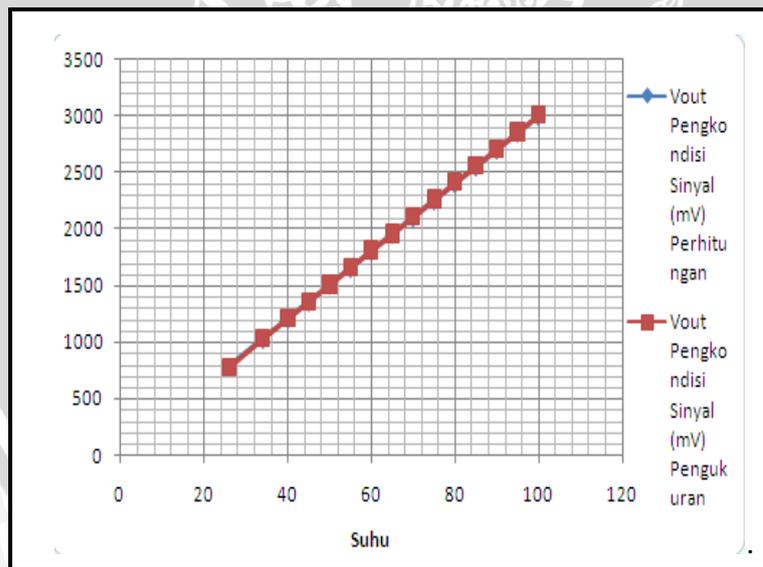
Hasil pengujian pengkondisi sinyal dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Gambar 5.3 adalah grafik perbandingan antara dengan V_{out} pada pengkondisi sinyal.

5.2.3 Hasil Pengujian

Tabel 5.2. Hasil Pengujian Pengkondisi Sinyal

No.	Suhu (°C)	V_{out} Pengkondisi Sinyal (mV)		Kesalahan (%)	Data Terbaca di PLC
		Perhitungan	Pengukuran		
1	26	790	791,45	1,30	310
2	34	1020	1033,45	1,20	412
3	40	1200	1214,31	1,10	484

4	45	1350	1365,96	1,10	544
5	50	1500	1516,01	1,00	604
6	55	1650	1651,57	0,09	665
7	60	1800	1801,52	0,08	725
8	65	1950	1951,64	0,08	785
9	70	2100	2101,76	0,08	845
10	75	2250	2251,64	0,07	906
11	80	2400	2401,50	0,06	966
12	85	2550	2551,06	0,04	1026
13	90	2700	2700,84	0,03	1086
14	95	2850	2850,59	0,02	1146
15	100	3000	3000,62	0,02	1206



Gambar 5.3 Grafik Perbandingan antara Suhu dengan V_{out} pada Pengkondisi Sinyal

Adanya perbedaan nilai antara perhitungan dan pengukuran dikarenakan :

1. Sensor suhu PT100 yang digunakan mempunyai nilai toleransi keakurasian sebesar $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ atau sebanding dengan $\pm 5\text{mV}$.



2. Pembacaan yang tidak tepat pada thermometer untuk skala yang lebih kecil.
3. Kurang presisinya multimeter sehingga menyebabkan kesalahan dalam pengukuran tegangan keluaran (V_{out}) sensor suhu.

5.3 Pengujian Sensor *Brightness Meter*

Sensor *Brightness Meter* adalah sensor untuk mengetahui bahwa cat itu sudah mengkilat dan pembacaan *brightness meter* dan *brightness meter* akan membaca cahaya 0-0,55 volt diubah 4-20 mA dan dibaca PLC 0-100%.

5.3.1. Hasil Pengujian Sensor *Brightness Meter*

Hasil pengujian dari sensor *Brightness Meter* ditunjukkan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian dari sensor *Brightness Meter*

No	Warna	Suhu Awal (Pv)		Brightness Meter		Membutuhkan waktu mencapai suhu 80° C	Loop 1			Loop 2		Total Waktu Operasi
		Loop 1 Heater (°C)	Loop 2 Ruangan (°C)	Cat basah (cahaya)	Cat Kering (cahaya)		Pv (°C)	Sv (°C)	Mv (°C)	Pv (°C)	Sv (°C)	
1	Kuning (<i>Transparan</i>)	26,8	26,2	55,40%	60,40%	10 menit 14 detik	87,3	87,3	70	80,1	80	15 menit 14 detik
2	Merah (<i>Fancy</i>)	26,8	26,3	51,50%	52,90%	10 menit 59 detik	85,7	85,6	71	80,1	80	15 menit 59 detik
3	Hitam (<i>Metalic</i>)	26,9	26,4	52,60%	52,90%	9 menit 18 detik	86	85,9	65	80,2	80	14 menit 18 detik
4	Putih	26,6	26,1	93,70%	91,90%	9 menit 27 detik	84,2	84	66	80	80	14 menit 27 detik
5	Hitam (<i>Flat</i>)	26,5	26,2	48,00%	39,40%	8 menit 12 detik	86,6	86,4	65	80,2	80	13 menit 12 detik
6	Emas	26,7	26,2	81,50%	88%	9 menit 24 detik	84,8	85	66	80	80	14 menit 24 detik
7	Hijau (<i>Fancy</i>)	26,7	26,3	40,10%	40,30%	8 menit 29 detik	86,5	86,5	74	80,1	80	13 menit 29 detik
8	Silver	26,8	26,1	73,30%	97,80%	9 menit 20 detik	84,4	84,4	66	80	80	14 menit 20 detik

Keterangan Tabel 5.3 adalah :

- a. *Loop 1* merupakan tampilan untuk mengontrol dan *memonitoring heater*. Didalam *loop 1* terdapat *set value (SV)*, *present value (PV)*, *manipulated value (MV)*.

- b. *Loop 2* merupakan tampilan untuk mengontrol dan *memonitoring* ruang pengovenan. Didalam *loop 2* terdapat *set value (SV)*, *present value (PV)*.

5.4 Pengujian *Operation Cycle Time*

Hal pertama sebelum melakukan downloading program PID adalah menentukan *operation cycle time* yang digunakan oleh rutin PID untuk memperbarui kondisi sistem dalam mencapai *set value*. Semakin cepat *cycle time* maka semakin presisi siklus PID dalam pengontrolan sistem.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan *sample rate* yaitu waktu yang dibutuhkan siklus PID dalam melakukan eksekusi dan waktu yang dibutuhkan oleh sensor suhu PT100 dalam mencapai suhu maksimal sesuai *set value* 80°C.

Sesuai dengan pengujian sensor suhu yang telah dilakukan sebelumnya, bahwa kesalahan rata-rata yang dihasilkan oleh sensor suhu dalam mencapai suhu maksimal sesuai *set value* 80°C adalah 0,54%. Sehingga *operation cycle time* yang digunakan harus lebih besar dari siklus PID dan periode sensor rotari yang digunakan. Maka ditentukan bahwa nilai *range operation cycle time* yang digunakan adalah nilai minimum yaitu 0,4 ms.

5.5 Pengujian Auto-Tuning Kontroler PID

Pengujian pada kontroler PID yang ada pada PLC ini digunakan untuk penentuan parameter kontrol PID (K_p , K_i , dan K_d).

5.5.1 Peralatan Pengujian

Peralatan yang dibutuhkan antara lain:

1. Miniatur ruang tertutup
2. Sensor suhu PT100
3. Sensor *Brightness Meter*
4. Komputer
5. PLC C200HS yaitu PLC Omron kelas *medium*
6. Software *CX-One*

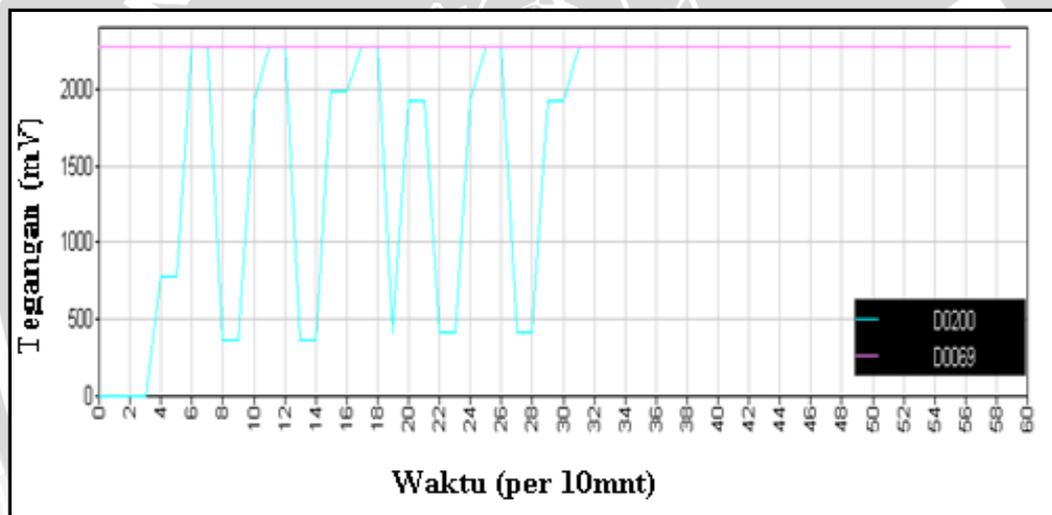
5.5.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujiannya adalah :

1. Membuat program perangkat lunak untuk pengaturan suhu 80°C
2. Mengaktifkan program *auto-tuning*
3. Monitoring grafik respon system per 10 menit

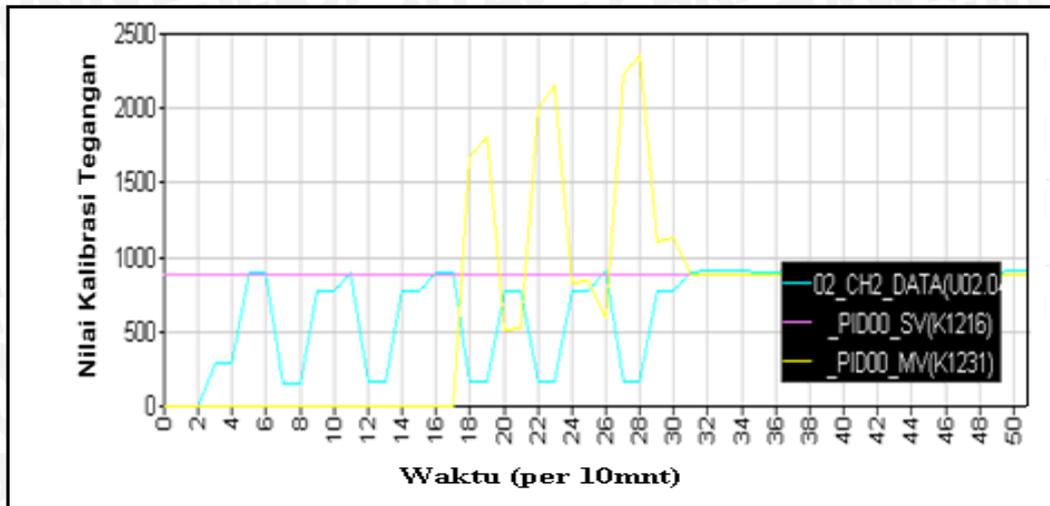
5.5.3 Tuning Parameter Kontrol PID dengan metode *Auto-Tuning*

Sesuai dengan perancangan sebelumnya, bahwa metode *auto-tuning* yang digunakan adalah menggunakan kaidah Ziegler-Nichols. *Auto-tuning* ini digunakan untuk mencari parameter awal dari keluaran suhu dengan menggunakan lebar dari periode osilasi. Dengan demikian, saat modus *running* posisi awal respon suhu akan membentuk keluaran osilasi terlebih dahulu, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.4, 5.5.



Gambar 5.4 Grafik Perbandingan antara Tegangan Pengkondisi Sinyal PT100 terhadap waktu saat *Auto-Tuning*

Nilai yang ditetapkan sebagai *set value* adalah sebesar 2415 mV. Saat proses pemanasan dijalankan, tegangan *heater* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.4. Garis merah muda. Setelah parameter PID ditemukan, selanjutnya *heater* dikontrol untuk mengikuti *set value*. PLC mengeluarkan sinyal control yang membuat *errorsteady state* = 0%.



Gambar 5.5 Grafik Nilai Tegangan Keluaran Kalibrasi PT100 terhadap Waktu saat Modus *Auto-Tuning*

Pada Gambar 5.5. Terdapat 3 buah garis berwarna, yaitu warna merah, biru dan kuning. Garis warna merah menunjukkan nilai *set value*, warna biru adalah keluaran PT100 dan warna kuning merupakan sinyal kontrol PID. Saat program running, kontroler PID secara otomatis akan memberi masukan nilai tertentu yang membuat respon *heater* mengalami osilasi. Saat itulah modus *auto-tuning* parameter aktif. Kemudian setelah didapat parameter PID (K_p , K_i dan K_d) maka kontroler PID mengeluarkan tegangan sinyal kontrol mulai di 18 menit. Dan pada waktu 31 menit respons sistem telah mencapai keadaan *steady state*.

Pada Gambar 5.5 waktu yang diperlukan adalah (per 10 menit). Jadi pada waktu 0-16 menit aksi kontrolnya berjalan tetapi belum beranjak naik dan pada waktu 17 menit aksi kontrolnya mulai beranjak naik dan pada waktu 18 menit aksi kontrolnya mencapai *set value* yang diinginkan. Dan pada waktu 31 menit respons sistem telah mencapai keadaan *steady state*.

Aksi kontrol mulai beranjak naik : 17 menit / 10 menit = 1,7 menit

Posisi mencapai *set value* : 18 menit / 10 menit = 1,8 menit

Posisi mencapai *steady state* : 31 menit / 10 menit = 3,1 menit

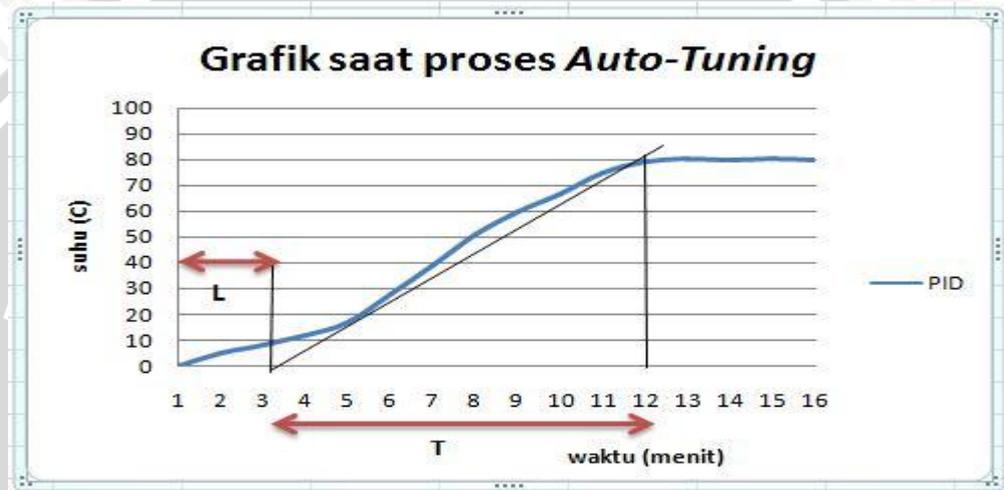
5.5.4 Hasil Parameter Kp, Ki dan Kd

Setelah melakukan proses *auto-tuning*, maka program akan mengeluarkan nilai parameter PID yang digunakan untuk mengontrol suhu. Gambar 5.6 adalah grafik saat proses *Auto-Tuning* dan nilai parameter yang dihasilkan dari *auto-tuning* adalah :

Kp : 3,6

Ki : 0,6

Kd : 5,4



Gambar 5.6 Grafik saat proses *Auto-Tuning*

Sehingga dari gambar grafik saat proses *Auto-Tuning* di atas dapat dihitung nilai L dan T yaitu :

- $T = 9$
- $L = 3$
- $K_p = 1,2 \times \frac{T}{L} = 1,2 \times 3 = 3,6$
- $T_i = 2 \times L = 2 \times 3 = 6$
- $T_d = 0,5 \times L = 0,5 \times 3 = 1,5$
- $K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{3,6}{6} = 0,6$
- $K_d = K_p \times T_d = 3,6 \times 1,5 = 5,4$

Dari gambar respon tersebut didapatkan waktu saat mencapai *steady state* (TS) sebesar 12 menit saat menggunakan nilai :

(Kp : 3,6 Ki : 0,6 Kd : 5,4).

5.6 Pengujian Keseluruhan Sistem menggunakan PLC

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keberhasilan dari keseluruhan sistem yang dirancang. Pada pengujian ini semua sistem digabungkan menjadi satu kesatuan dan menggunakan kontrol PID secara *cascade* sebagai sistem kontrolnya. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kontrol sistem terhadap suhu.

5.6.1 Peralatan pengujian

Peralatan yang dibutuhkan antara lain:

1. Miniatur ruang tertutup
2. Sensor PT100
3. Sensor *Brightness Meter*
4. Komputer
5. PLC C200HS yaitu PLC Omron kelas *medium*
6. Software CX-One

5.6.2 Prosedur pengujian

Prosedur pengujiannya adalah:

1. Membuat program *ladder diagram* untuk pengaturan suhu
2. Memasukkan nilai parameter Kp, Ki dan Kd
3. *Downloading* program menuju PLC
4. Mengatur nilai *set value* pada nilai masukan tegangan sebesar 966
5. Pada pengujian ini dilakukan pengujian proses pemanasan dan pendinginan ruang pengovenan

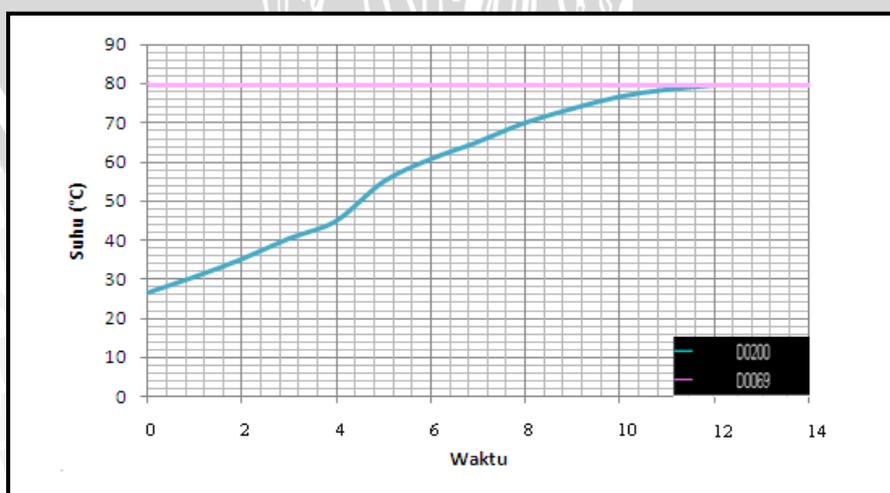
5.6.3 Hasil Pengujian

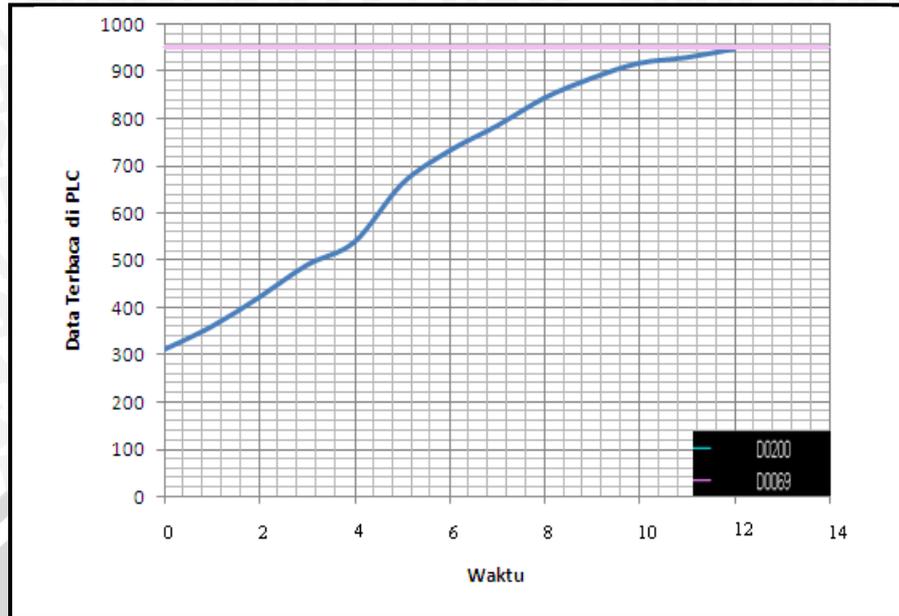
Pertama yang harus dilakukan adalah menentukan suhu sesuai *set value* yaitu sebesar 80°C.

Tabel 5.4. Hasil Pengujian Suhu terhadap Waktu saat Pemanasan

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Data Terbaca di PLC
0	26,4	311
1	30,5	360
2	35	422
3	40,3	490
4	44,8	539
5	54,8	662
6	60,6	732
7	65	785
8	69,9	844
9	73,5	886
10	76,6	918
11	79,4	930
12	80,1	948

Dari data pada Tabel 5.4 dapat digambarkan menjadi bentuk grafik seperti dalam Gambar 5.7 dan 5.8.

**Gambar 5.7** Suhu terhadap Waktu Pemanasan



Gambar 5.8 Data Terbaca di PLC terhadap Waktu Pemanasan

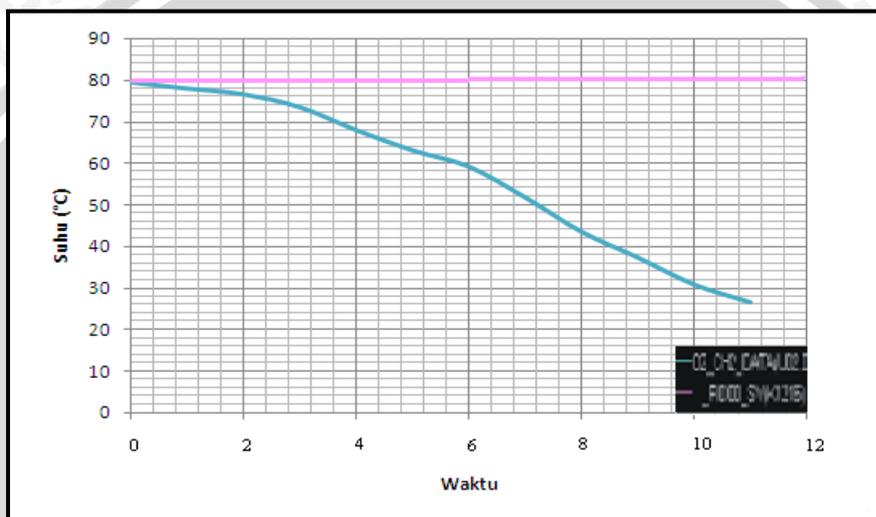
Dari grafik pada Gambar 5.7 dan 5.8. Bahwa waktu yang dibutuhkan untuk proses pemanasan dari suhu awal hingga mencapai *set value* 80°C adalah 12 menit. Suhu awal adalah suhu ruang pengoven sebelum sistem dinyalakan. suhu awal sebesar 26°C.

Tabel 5.5. Hasil Pengujian Suhu terhadap Waktu saat Pendinginan

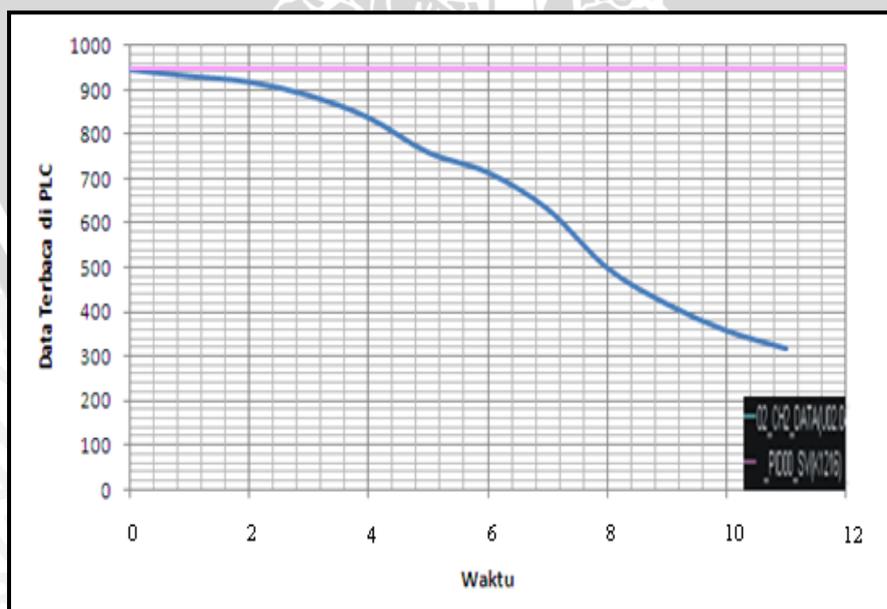
Waktu (mnt)	Suhu(°C)	Data Terbaca di PLC
0	80,1	946
1	78	931
2	76,6	918
3	73,5	888
4	68	838
5	63,1	760
6	59,2	715
7	51,8	633

8	43,5	501
9	37,3	420
10	30,8	360
11	26,5	320

Dari data pada Tabel 5.5 dapat digambarkan menjadi bentuk grafik seperti dalam Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Suhu terhadap Waktu Pendinginan



Gambar 5.10 Data terbaca di PLC terhadap Waktu Pendinginan

Dari grafik pada Gambar 5.9 dan 5.10. Waktu untuk pendinginan lebih cepat dari proses pemanasan dengan membutuhkan waktu 11 menit untuk mencapai suhu awal 26°C.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

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

1. Pemrograman *ladder diagram* pada *software* CX-One dapat berfungsi dengan baik untuk mengontrol suhu sesuai dengan *set value*. Sehingga kontroler PID secara *cascade* yang digunakan dapat memberi sinyal kontrol yang sesuai untuk mempertahankan suhu sesuai dengan *set value* 80°C.
2. Penggunaan kontroler PID secara *cascade* dengan modus *auto-tuning* memberikan nilai parameter yang sesuai dengan sistem. Dengan parameter PID yang dipakai kedua sensor PT100 (Kp : 3,6 Ki : 0,6 Kd : 5,4). Respon yang diberikan oleh *heater* terhadap suhu memiliki *maximum overshoot* kurang dari 1 % dan memiliki *error steady state* sebesar 0%.
3. Proses monitoring terhadap respon kerja suhu dapat terbaca secara *real time* dengan penggunaan aplikasi HMI (*Human Machine Interface*). Waktu yang diperlukan sistem untuk memanaskan ruang pengovenan dari suhu awal ruang 26°C sampai suhu *set point* 80°C adalah 12 menit dan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mendinginkan suhu *set point* sampai suhu awal adalah 11 menit.

6.2 Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah:

1. Menggunakan lebih dari 1 sensor suhu PT100 yang diletakkan pada setiap sudut ruang pengovenan. Tujuan dari penambahan sensor tersebut adalah agar sistem mampu mendeteksi tingkat kekeringan lebih merata.



2. Elemen pemanas yang digunakan sebaiknya menggunakan elemen yang memiliki daya yang lumayan besar agar proses pemanasan tidak terlalu lama.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2000. *LM35, Precision Centigrade Temperature Sensors*. National Semiconductor
- Coughlin, Robert F. 1992. *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear*, Jakarta: Erlangga.
- Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Ibnu, Harmowo. 2002. *Analisis Distribusi Temperatur Pada Piant Oven Room*. Malang. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Islam, Fachrul dan Hidayat F, Syahril. 2004. *Perancangan dan Pembuatan pengontrol Oven pada Sistem Pengecatan mobil Menggunakan Sistem Kontrol Mikrokontroler AT89C51*. Malang : Politeknik Negeri.
- Ogata, K. 1995. *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta: Erlangga.
- Setiawan, Iwan. 2006. *Programmable Logic Controller (PLC) dan Teknik Perancangan Sistem Kontrol*. Yogyakarta. Penerbit Andi
- Surya, Mahendra. 2012. *Otomatisasi Model Pengendali Suhu Ruang Pengovenan Kerangka Dasar Mobil Menggunakan Kontroler PID Berbasis PLC*. Malang, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Skripsi.
- Ziegler, J. G. dan N.B. Nichols, 1942, *Optimum Setting for Automatic Kontrollers*, Tans.ASME.