

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Perancangan berbasis PLC yang memfokuskan pada pengatur temperatur *liquid* diuji cobakan oleh (Effendi, 2013). Pada penelitian tersebut sensor suhu yang digunakan adalah LM 35, dimana *range* pengukurannya antara -55°C sampai dengan $+155^{\circ}\text{C}$. Selain itu digunakan sensor arus ACS 712, serta Op-Amp untuk mengetahui perbandingan perubahan arus terhadap perubahan temperatur. Perubahan sensor tegangan terhadap temperatur suhu adalah linier. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bagaimana fungsi PLC yang merupakan otak dari logika proses, Rata-rata perubahan suhu per-detik antara $32^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ adalah $0,078^{\circ}\text{C}/\text{detik}$, dan perbedaan pengukuran alat ukur terhadap sensor arus adalah $0,8 - 2\%$.

Efektifitas penggunaan PLC yang bukan hanya untuk *discrete input* dan *discrete output*, namun juga untuk *analog input* dan *analog output*. Salah satu penelitian ini dilakukan oleh (Hardiansyah, dkk., 2012). PLC yang digunakan adalah twido TWDLMDA 20 DRT, dimana menggunakan simulator *heater* sebagai beban tiruan. Analog input berasal dari sensor tegangan dengan rasio $10 \text{ mV} / 1 \text{ Vac}$ yang terhubung dengan *analog digital converter (ADC)*. Sedangkan *analog output* PLC berupa *power wave modulation (PWM)*, yang mensuplai power untuk heater sebagai simulator beban. Proses di CPU PLC menggunakan kalkulasi algoritma yang akan merespons perubahan beban. Kesimpulan dalam penelitian ini adalah pengontrolan generator secara otomatis oleh PLC dapat dilakukan dengan algoritma PID, serta pengontrolan menggunakan PLC mempunyai standar harga yang murah tetap mempunyai pengontrolan yang cukup baik.

Sedangkan untuk penggunaan PLC sebagai penengendali utama untuk perubahan level *liquid*, salah satu penelitian dilakukan oleh (Atmanegara, 2013). Pada penelitian ini tinta printer merupakan prototipe dari suatu sistem mesin percetakan dimana level tinta merupakan poin terpenting untuk mendapatkan hasil percetakan yang optimal. Sensor level menggunakan sensor infra merah, sedangkan untuk simulator pompa mesin pengisi tinta digunakan motor dc dan grafik menggunakan fungsi *ident* pada *mathlab*. Sebagai pengendali motor DC, digunakan

driver tipe L298N. *Analog input* yang berasal dari sensor infra merah akan diproses di CPU PLC yang kemudian oleh *analog output* PLC yang berupa PWM akan memberikan output ke *driver* sebagai pengendali tegangan output untuk motor DC sebagai penggerak pompa. Kesimpulan dari penelitian ini adalah sensor level menghasilkan tegangan sebesar 0,31 volt saat tabung kosong dan 0,78 volt ketika mencapai ketinggian 7 cm. Untuk mencapai ketinggian tersebut, tinta hitam membutuhkan waktu rata-rata 9,55 detik; tinta merah 9,39 detik; tinta kuning 9,36 detik dan tinta biru 9,48 detik.

Kombinasi input digital dan analog yang dikendalikan oleh PLC juga dilakukan penelitian oleh (Syahid, 2013). Dimana untuk input digunakan *push button, infrared signal, micro controller, RFID, dan limit switch*. Beberapa input tersebut menggerakkan output berupa motor DC yang digunakan untuk palang pintu parkir. Kesimpulan dari penelitian itu adalah PLC merupakan basis koordinasi dari *smart card reader* yang kemudian mengendalikan operasional palang pintu parkir secara efektif.

Penerapan PLC dalam industri juga dilakukan penelitian oleh (Usman, 2014). Menggunakan *discrete input* berupa *toggle switch, slide switch, push button, dan rotary switch*. Untuk outputnya menggunakan *discrete output* berupa *relay* yang berfungsi untuk mensuplai tegangan ke motor 1 (satu) fasa yang dikendalikan untuk bisa beroperasi *reverse* dan *forward*. Kesimpulan dalam penelitian ini tentang penggunaan PLC adalah sistem operasional dan pengendaliannya sangat efisien.

Kombinasi PLC dan *modul controller* salah satu penelitiannya dilakukan oleh (Alhamdi, 2014). PLC pada penelitian ini dikombinasikan dengan modul *inverter* yang terhubung dengan motor induksi 3 (tiga) fasa, dimana PLC mengkoordinasikan antara output dari *modul inverter* yang menjadi *analog input* PLC. Perubahan beban pada motor akan memberikan respon PLC untuk menambah *analog output* PLC ke *modul inverter* untuk menambah kecepatan. Kesimpulan penelitian ini antara lain: kontrol PI pada sistem pengendalian beban mengurangi *error steady state* sebesar 1,4% serta dapat memberikan kemudahan dalam menentukan berbagai macam model sesuai dengan variasi pembebanan.

Penerapan PLC dalam berbagai macam aplikasi, dilakukan penelitian oleh (Fitriadi, dkk., 2014). Pada penelitian ini, dibuat berbagai macam contoh pemrograman PLC yang diterapkan pada industri manufaktur. Kesimpulannya antara lain, terdapat 5 kategori aplikasi PLC yang mewakili sistem kontrol pada industri manufaktur, antara lain: sistem kontrol proses produksi, sistem kontrol proses pengepakan, sistem kontrol proses pengendalian kualitas, sistem kontrol pengendalian, sistem kontrol transportasi.

PLC merupakan hasil pengembangan dari *microcontroller* dimana untuk kebutuhan industri yang memerlukan efisiensi, kehandalan dan *reliability*. Penelitian *microcontroller* yang berfungsi sebagai PLC dilakukan oleh (Rifa'i, dkk., 2013). Penggunaan PLC mempunyai keuntungan antara lain pemrogramannya mudah, perubahan program tanpa harus merubah sistem secara keseluruhan, ukuran lebih kecil tetapi kinerja lebih handal, dan biaya perawatan yang murah dan mudah. Pada penelitian ini, PLC bersumber dari *microcontroller* Atmega8 yang dikombinasikan dengan software LD Micro untuk membuat *ladder diagram*. Proses pembuatan PLC berbasis *microcontroller* ini dilakukan mulai dengan perancangan modul input, modul output, serta perancangan program melalui software LD Micro. Setelah program di *download* ke chip *microcontroller* kemudian diuji dari kinerja input dan output. Kesimpulan dari penelitian ini adalah modul input dan output bekerja dengan baik sesuai dengan perencanaan, *timer* pada PLC mikro mempunyai tingkat kesalahan 2,37%.

Sistem perancangan *closed loop* dengan menggunakan *multiple* sensor dilakukan oleh (Sari, dkk, 2013). Pada penelitian ini *closed loop* pada suatu sistem pengendali ditujukan untuk membuat simulator *smart lift* yang digunakan untuk mengatur penempatan parkir mobil dengan sistem otomatis dan efisien. Pergerakan dan penempatan kendaraan yang memasuki area parkir disensor oleh LDR. Sensitifitas dan akurasi sensor sangat mempengaruhi dari sistem kerja pengendalian. Kesimpulan pada penelitian ini adalah kehandalan sensor utama merupakan faktor penting, karena dalam penelitian tersebut sensor LDR tidak berfungsi dengan baik, dimana presentase keberhasilan sensor ini adalah 53,3%.

Pada sistem pengendalian PLC, yang terdiri dari berbagai macam beban, seorang *programmer* harus merancang suatu sistem pengendali yang selain efektif,

juga mempertimbangkan prinsip kerja sistem tersebut. Salah satunya dengan metode *interlock*. Dimana untuk menjalankan suatu beban, maka beban lain yang berkaitan langsung dan mempunyai priode kerja masing-masing diperlukan sistem *interlock*. Salah satu penelitian mengenai sistem *interlock PLC* dilakukan oleh (Arbye S, 2012). Dimana untuk tidak saling *crash* ketika menekan tombol, maka diperlukan suatu sistem kontrol. Dan pemrograman PLC menggunakan sistem *sequence* yang saling berkaitan. Kesimpulan dari penelitian ini antara lain pemrograman pada PLC bisa menggunakan pendekatan kemungkinan kondisi yang direpresentasikan dengan *state diagram* untuk memudahkan programmer dalam membuat program pada PLC.

Pengendalian ketinggian dari suatu level cairan pada tangki penampungan air pernah dilakukan penelitian oleh (Zulhendri, dkk., 2012). Pada penelitian ini, sensor ketinggian air menggunakan ultrasonik kemudian diolah oleh mikrokontroller serta dilengkapi dengan *Human Machine Interface* untuk memudahkan monitor selama proses berlangsung. Diantara kesimpulannya adalah sensor ultrasonik berfungsi dengan baik untuk mengukur ketinggian level dalam tangki; pada sistem *open loop* diimplementasikan ketika diposisikan beroperasi secara manual; sedangkan sistem *closed loop* bekerja ketika peralatan bekerja pada waktu beroperasi secara otomatis.

PLC yang mudah kita jumpai, mudah penggunaan serta bahasa pemrograman yang mudah dimengerti salah satunya adalah *Omron*. Pemrograman yang sudah berkembang mulai dari *handheld* sampai sekarang menggunakan CX Programmer. Seiring dengan perkembangan teknologi yang menitikberatkan pada teknologi informasi, maka pengembangan PLC dilengkapi dengan *Human Machine Interface*, dimana untuk sistem operasional sudah menjadi terpadu dalam satu modul layar. Untuk aplikasi pada *Omron* menggunakan *CX Designer*. Salah satu penelitian menggunakan PLC dan HMI ini dilakukan oleh (Indrawan, dkk., 2013). Pada penelitian tersebut, dibuat pemrograman untuk pengendalian lampu lalu lintas yang dikombinasikan dengan HMI. Kombinasi pemrograman dengan sistem *section / sequence* sangat membantu bukan hanya untuk operasionalnya, namun juga untuk memudahkan melacak sistem kontrol ketika terjadi suatu kondisi yang *abnormal*. Kesimpulan dalam penelitian tersebut adalah bagaimana integrasi PLC dengan HMI memberikan pengalaman yang riil tentang kemajuan teknologi otomasi industri.

Dalam suatu sistem kontrol proses, terbagi dalam beberapa kategori, antara lain menurut (Petruzzela, 2001):

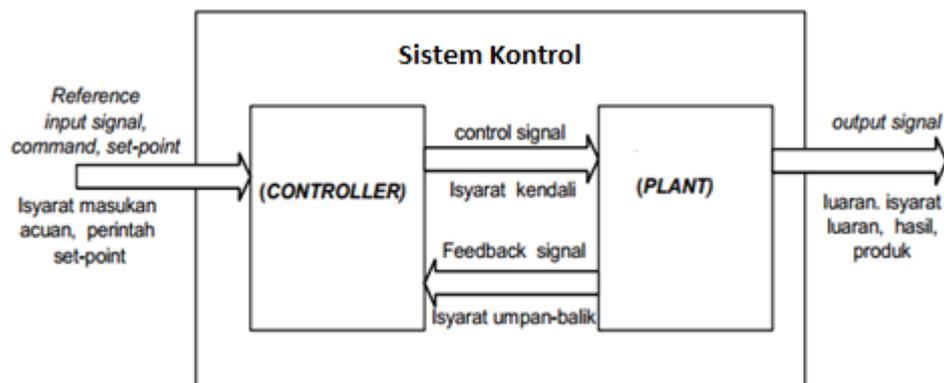
- a. Proses Kontinu; adalah proses dimana bahan dasar masuk dari ujung satu system dan produk yang diselesaikan keluar dari ujung sistem yang lain, dan berjalan terus menerus.
- b. Produksi *batch*; tidak ada aliran bahan produksi dari satu bagian proses ke bagian yang lain. Namun, seperangkat jumlah dari masing-masing input pada proses diterima dalam tumpukan dan kemudian beberapa operasi dilakukan pada tumpukan untuk menghasilkan produk akhir atau produk intermediate yang membutuhkan proses berikutnya.
- c. Proses produksi individual; adalah yang paling umum dari semua system pemrosesan. Dengan proses pembuatan ini, sederetan operasi menghasilkan produk output yang bermanfaat.

2.2 Sistem Kontrol

Sistem kontrol dapat dikategorikan dalam beberapa kategori yaitu sistem kendali secara manual dan otomatis, sistem kendali jaringan tertutup (*closed loop*) dan jaringan terbuka (*open loop*), kontinyu (analog) dan diskontinyu (digital).

Pengontrolan secara manual yaitu pengontrolan yang dilakukan oleh manusia yang bertindak sebagai operator, sedang pengontrolan secara otomatis yaitu pengontrolan yang dilakukan oleh mesin/peralatan yang bekerja secara otomatis dan operasinya di bawah pengawasan manusia.

Suatu konfigurasi Sistem Kontrol/pengaturan dapat digambarkan seperti Gambar 2.1. di bawah ini.



Gambar 2.1 Konfigurasi dasar sistem kontrol

Sistem control pada umumnya digambarkan sebagai sistem apa saja (tidak terbatas hanya sistem-sistem yang terkait langsung dengan bidang kajian Teknik Elektro) yang dapat di-identifikasi atau ditengarai terdiri dari minimal 2 (dua) bagian utama, yaitu:

1. Bagian (atau *Sub-Sistem*) yang dikendalikan (*Plant*), yang bisa merupakan peralatan, perangkat, atau proses yang menghasilkan luaran (*output*, hasil, produk, isyarat luaran, *output signal*) karena dikendalikan oleh bagian pengendali.
2. Bagian (atau *Sub-Sistem*) Pengendali (*Controller*), yang juga bisa merupakan peralatan, perangkat, atau proses yang menghasilkan isyarat kendali (*control signal*) untuk mengendalikan yang dikendalikan.

Jadi secara konseptual, Selain isyarat luaran (*output signal*) dan isyarat kendali (*control signal*) suatu sistem kontrol sering dilengkapi (walau pun tidak harus demikian) dengan isyarat umpan-balik (*feedback signal*) yang dalam operasinya dibandingkan dengan suatu isyarat masukan acuan (*reference input signal*) atau perintah(*command*) atau set-point, agar pengendali dapat menghasilkan isyarat kendali yang mengendalikan kendalian sampai menghasilkan luaran yang diharapkan. Sistem kontrol demikian biasa dikategorikan sebagai Sistem Kontrol dengan Umpan-Balik (*Feedback Control Systems*). Tidak semua sistem kontrol merupakan sistem kontrol dengan umpan-balik, banyak juga sistem kontrol yang beroperasi tanpa umpan-balik.

Setiap proses kontrol terdiri dari unit yang membentuknya, disebut: elemen sistem; dan selanjutnya elemen ini terdiri dan komponen.komponen. Suatu proses kontrol secara fungsional dapat dinyatakan oleh blok diagram yang bentuknya bergantung pada jumlah elemen.

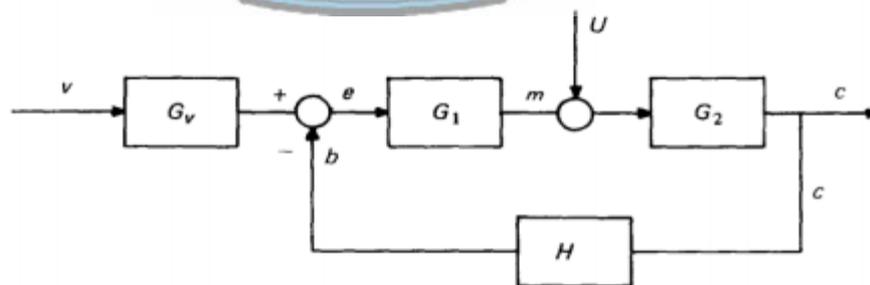
2.2.1 Sistem Kontrol Umpan Balik

Sistem yang mempertahankan hubungan yang ditentukan antara keluaran dan beberapa masukan acuan, dengan membandingkannya dan dengan menggunakan perbedaan sebagai alat kontrol dinamakan sistem kontrol umpan balik. Contohnya adalah sistem kontrol suhu ruangan. Dengan mengukur suhu ruangan sebenarnya dan membandingkannya dengan suhu acuan (suhu yang dikehendaki), termostat menjalankan alat pemanas atau

pendingin, atau mematakannya sedemikian rupa sehingga memastikan bahwa suhu ruangan tetap pada suhu yang nyaman tidak tergantung dari keadaan di luar.

2.2.2 Sistem Kontrol Loop Tertutup

Sistem kontrol umpan balik seringkali disebut sebagai sistem kontrol loop tertutup. Praktisnya, istilah kontrol umpan balik dan kontrol loop tertutup dapat saling dipertukarkan penggunaannya. Pada sistem kontrol loop tertutup, sinyal kesalahan yang bekerja, yaitu perbedaan antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik (yang mungkin sinyal keluarannya sendiri atau fungsi dari sinyal keluaran dan turunannya), disajikan ke kontroler sedemikian rupa untuk mengurangi kesalahan dan membawa keluaran sistem ke nilai yang dikehendaki. Istilah kontrol loop tertutup selalu berarti penggunaan aksi kontrol umpan balik untuk mengurangi kesalahan sistem. Atau dengan kata lain, Sistem Kendali Loop Tertutup adalah sistem pengendalian dimana besaran keluaran memberikan efek terhadap besaran masukan sehingga besaran yang dikontrol dapat dibandingkan terhadap harga yang diinginkan melalui alat pencatat (indikator / sensor). Selanjutnya perbedaan harga yang terjadi antara besaran yang dikontrol dan penunjukan alat pencatat digunakan sebagai koreksi yang pada gilirannya akan merupakan sasaran pengaturan. Blok diagram loop tertutup yang umum diberikan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Diagram blok sistem kontrol loop tertutup.

Secara umum, elemen dari sebuah sistem kontrol rangkaian tertutup terdiri dari:

1. Masukan (*reference input element, G_v*).

Elemen ini berfungsi untuk mengubah besaran yang dikontrol menjadi sinyal masukan acuan (r) bagi sistem kontrol.

2. Pengontrol (*controller, G1*). Berfungsi untuk memproses kesalahan (*error, e*) yang terjadi dan setelah kesalahan tersebut dilewatkan (dimasukkan) melalui elemen pengontrol, akan dihasilkan sinyal yang berfungsi sebagai pengontrol proses.
3. Sistem (proses), $G2$
Elemen ini dapat berupa proses mekanis, elektris, hidraulis, pneumatis maupun kombinasinya.
4. Jalur umpan balik (*feedback element, H*)
Bagian sistem yang mengukur keluaran yang dikontrol dan kemudian mengubahnya menjadi sinyal umpan balik (*feedback signal*).
5. Elemen/jalur maju (*forward gain*)
Bagian daripada sistem kontrol tanpa elemen umpan balik.

Berdasarkan jumlah elemen yang menyusun suatu sistem kontrol, terdapat beberapa variabel pengontrolan, yaitu:

- 1) *Set Point (command input, v)*: adalah harga yang diinginkan bagi variabel yang di kontrol selama pengontrolan. Harga ini tidak tergantung dari keluaran sistem.
- 2) Masukan acuan (*refecence input, r*). Sinyal aktual yang masuk ke dalam sistem kontrol. Sinyal ini diperoleh dengan menyetel harga v melalui $G v$ sehingga dapat dipakai dalam sistem kontrol.
- 3) Keluaran yang dikontrol (*controlled output, c*): merupakan harga/nilai yang akan dipertahankan bagi variabel yang dikontrol, dan merupakan harga yang ditunjukkan oleh alat pencatat.
- 4) Variabel yang dimanipulasi (*manipulated variable, m*). Sinyal yang keluar dari elemen pengontrol (*controller*) dan berfungsi sebagai sinyal pengontrol tanpa adanya gangguan U .
- 5) Sinyal umpan balik (*feedback signal, b*). Sinyal yang merupakan fungsi dari keluaran yang dicatat oleh alat pencatat.
- 6) Kesalahan (*error, actuating signal, e*): adalah selisih antara sinyal acuan r dan sinyal b . Sinyal ini adalah sinyal yang dimasukkan ke elemen pengontrol (*controller*) $G1$ dan harganya diinginkan sekecil mungkin. Pengurangan r dan b adalah secara aljabar. Sinyal e ini menggerakkan unit

pengontrol untuk menghasilkan/mendapatkan keluaran pada suatu harga yang diinginkan.

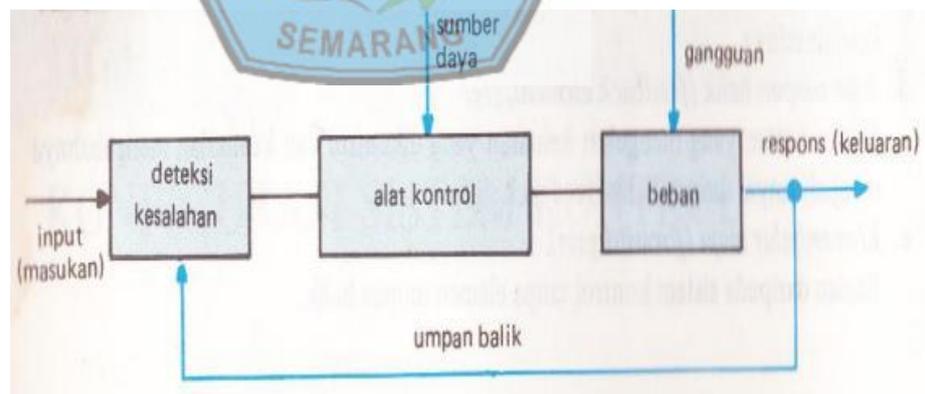
- 7) Sinyal gangguan (*disturbance*, U). Merupakan sinyal-sinyal tambahan yang tidak diinginkan. Gangguan ini cenderung mengakibatkan harga c berbeda dengan harga yang disetel melalui masukan r . Gangguan ini disebabkan oleh perubahan beban sistem; misalnya perubahan kondisi lingkungan, derau (*noise*), getaran, dan lain-lain.

2.2.3 Elemen Sistem Kontrol Dalam Praktek Sehari-hari.

Ada berbagai sistem kontrol (mekanis, elektrik, termis, pneumatis, hidroulis, atau kombinasinya) yang dapat ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya:

- 1) sistem kontrol mekanis
- 2) sistem kontrol elektrik
- 3) sistem kontrol termis
- 4) sistem kontrol pneumatis/hidrolis
- 5) sistem kontrol kombinasi

Semua sistem kontrol ini dapat di pahami sebagai bentuk diagram, yang konfigurasi fisis sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.3. dibawah ini.



Gambar 2.3. Blok Diagram Sistem Dalam Praktek

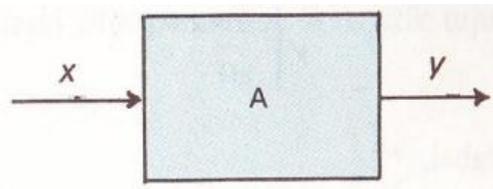
Keterangan:

- 1) beban adalah sistem fisis yang akan di kontrol
- 2) alat kontrol (*controller*), merupakan peralatan/rangkaian untuk mengontrol beban (sistem). Alat ini biasanya dihubungkan dengan penguat.
- 3) respons adalah *output* yang diperoleh dari alat pencatat

- 4) elemen umpan balik menunjukkan atau mengembalikan hasil pencatatan ke detektor, sehingga dapat dibandingkan dengan harga yang di inginkan.
- 5) *error detector* (alat deteksi kesalahan), menunjukkan selisih antara input dan respon melalui umpan balik.

2.2.4 Diagram Balok

Diagram balok menunjukkan urutan operasi secara fungsional melalui elemen-elemen yang membangun nya dan di ilustrasikan sebagai kotak, seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.4 ini.



Gambar 2.4. Simbol Diagram Balok

Dalam simbol ini, A menyatakanj suatu sistem atau proses (mekanis, listrik, termis, hidroulik dan pneumatis), sedangkan tanda panah menunjukkan arah proses yang dinyatakan oleh variabel x dan y. Pada umumnya, variabel yang berada di sebelah kiri tanda kotak merupan masukan terhadap kotak tersebut. Variabel-variabel yang digunakan, biasanya dinyatakan dengan huruf kecil. Kotak A adalah sistem yang merupakan kombinasi dari komponen-komponen yang saling mempengaruhi bersama dan membentuk suatu proses yang dapat dituliskan kedalam bentuk matematis. Secara simbolis, sistem dinyatakan oleh huruf besar, sedangkan hubungan antara keluaran dan masukan dinyatakan dengan huruf besar yang secara matematis dituliskan sbb:

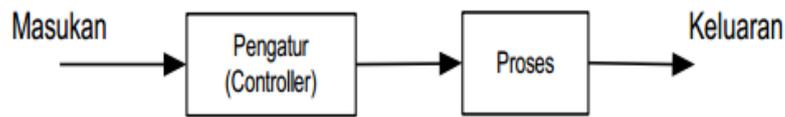
$$y = A \cdot x \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dari pernyataan matematis ini, maka dapat dikatan bahwa: sebuah kotak sebenarnya merupakan faktor pengali terhadap masukan. Atau dengan kata lain; dapat disebutkan bahwa kotak A adalah sebuah sistem yang berfungsi untuk merubah harga masukan. Contohnya: sebuah penguat suara (amplifier), filter, dll.

2.2.5 Sistem Kontrol Loop Terbuka.

Suatu sistem yang keluarannya tidak mempunyai pengaruh terhadap aksi kontrol disebut sistem kontrol loop terbuka. Dengan kata lain, sistem kontrol

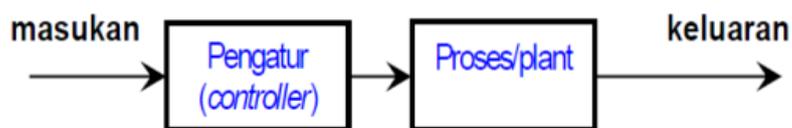
loop terbuka merupakan sistem kontrol dimana keluaran tidak memberikan efek terhadap besaran masukan, sehingga variabel yang dikontrol tidak dapat dibandingkan terhadap harga yang diinginkan. Secara umum diagram kotak (*block diagram*) diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Diagram kotak sistem kontrol loop terbuka

Suatu contoh sederhana adalah mesin cuci. Perendaman, pencucian, dan pembilasan dalam mesin cuci dilakukan atas basis waktu. Mesin ini tidak mengukur sinyal keluaran yaitu tingkat kebersihan pakaian. Dalam suatu sistem kontrol loop terbuka, keluaran tidak dapat dibandingkan dengan masukan acuan. Jadi, untuk tiap masukan acuan berhubungan dengan kondisi operasi tertentu; sebagai akibat, ketetapan dan sistem tergantung pada kalibrasi. Dengan adanya gangguan, sistem kontrol loop terbuka tidak dapat melaksanakan tugas seperti yang diharapkan. Sistem kontrol loop terbuka dapat digunakan, hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal.

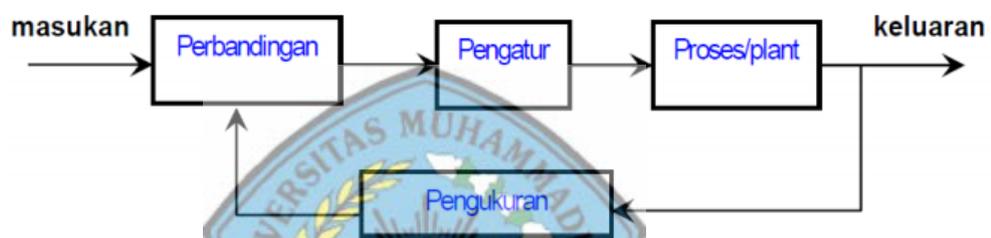
Di dunia sistem pengaturan, kita kenal dengan adanya jerat terbuka (open loop control system), gambar 2.6. dan jerat tertutup (closed loop feedback control system), gambar 2.7. Sistem kendali jerat terbuka atau umpan maju (feedforward control) umumnya mempergunakan pengatur (controller) serta aktuator kendali (control actuator) yang berguna untuk memperoleh respon sistem yang baik. Sistem kendali ini keluarannya tidak diperhitungkan ulang oleh kontroler. Suatu keadaan apakah plant benar – benar telah mencapai target seperti yang dikehendaki masukan atau referensi, tidak dapat mempengaruhi kinerja kontroler.



Gambar 2.6 Sistem kontrol loop terbuka

Pada sistem kendali yang lain, yakni sistem kendali jerat tertutup memanfaatkan variabel yang sebanding dengan selisih respon yang terjadi terhadap respon yang diinginkan. Sistem seperti ini juga sering dikenal dengan sistem kendali umpan balik. Aplikasi sistem umpan balik banyak dipergunakan untuk sistem kemudi kapal laut dan pesawat terbang. Perangkat sehari-hari yang juga menerapkan sistem ini adalah penyetelan temperatur pada almari es, oven, tungku, dan pemanas air.

Dengan sistem kendali gambar 2.7, kita bisa ilustrasikan apabila keluaran aktual telah sama dengan referensi atau masukan maka input kontroler akan bernilai nol. Nilai ini artinya kontroler tidak lagi memberikan sinyal aktuasi kepada plant, karena target akhir perintah gerak telah diperoleh.



Gambar 2.7 Sistem pengendalian loop tertutup

Sistem kendali loop terbuka dan tertutup tersebut merupakan bentuk sederhana yang nantinya akan mendasari semua sistem pengaturan yang lebih kompleks dan rumit. Hubungan antara masukan (*input*) dengan keluaran (*output*) menggambarkan korelasi antara sebab dan akibat proses yang berkaitan.

Masukan juga sering diartikan tanggapan keluaran yang diharapkan. Untuk mendalami lebih lanjut mengenai sistem kendali tentunya diperlukan pemahaman yang cukup tentang hal-hal yang berhubungan dengan sistem kontrol. Oleh karena itu selanjutnya akan dikaji beberapa istilah-istilah yang dipergunakannya.

2.2.6 Istilah-istilah dalam sistem kontrol

Dalam mempelajari atau mengaplikasikan sistem kendali diperlukan beberapa pengertian tentang istilah-istilah pada pengaturan. Beberapa istilah yang sering digunakan pada pembahasan masalah sistem pengendalian dan perlu dimengerti yaitu :

1) Masukan

Masukan atau input adalah rangsangan dari luar yang diterapkan ke sebuah sistem kendali untuk memperoleh tanggapan tertentu dari sistem pengaturan. Masukan juga sering disebut respon keluaran yang diharapkan.

2) Keluaran

Keluaran atau output adalah tanggapan sebenarnya yang didapatkan dari suatu sistem kendali.

3) *Plant*

Seperangkat peralatan atau objek fisik dimana variabel prosesnya akan dikendalikan, misalnya pabrik, reaktor nuklir, mobil, sepeda motor, pesawat terbang, pesawat tempur, kapal laut, kapal selam, mesin cuci, mesin pendingin (sistem AC, kulkas, freezer), penukar kalor (*heat exchanger*), bejana tekan (*pressure vessel*), robot dan sebagainya.

4) Proses

Berlangsungnya operasi pengendalian suatu variabel proses, misalnya proses kimiawi, fisika, biologi, ekonomi, dan sebagainya.

5) Sistem

Kombinasi atau kumpulan dari berbagai komponen yang bekerja secara bersama-sama untuk mencapai tujuan tertentu.

6) Diagram blok Bentuk kotak persegi panjang yang digunakan untuk mempresentasikan model matematika dari sistem fisik. Contohnya adalah kotak pada gambar 2.6 atau 2. 7

7) Fungsi Alih (*Transfer Function*)

Perbandingan antara keluaran(output) terhadap masukan(input) suatu sistem pengendalian. Suatu misal fungsi alih sistem pengendalian loop terbuka gambar 2.6 dapat dicari dengan membandingkan antara output terhadap input. Demikian pula fungsi alih pada gambar 2.8.

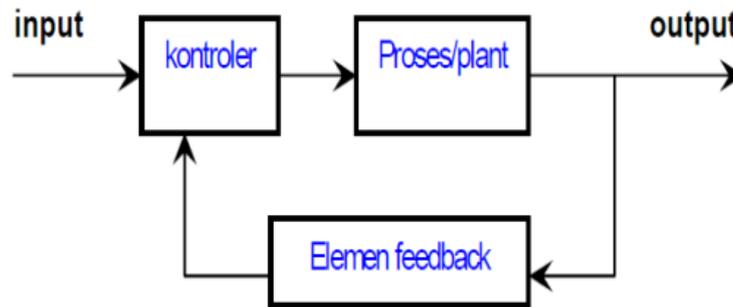
8) Sistem Kontrol Umpan Maju

Sistem kendali ini disebut juga sistem pengendalian loop terbuka. Pada sistem ini keluaran tidak ikut andil dalam aksi pengendalian sebagaimana

dicontohkan gambar 2.6. Di sini kinerja kontroler tidak bisa dipengaruhi oleh input referensi.

9) Sistem Kontrol Umpan Balik

Istilah ini sering disebut juga sistem pengendalian loop tertutup. Pengendalian jenis ini adalah suatu sistem pengaturan di mana sistem keluaran pengendalian ikut andil dalam aksi kendali.



Gambar 2.8 Sistem Kontrol loop tertutup

2.3. Programmable Logic Controller (PLC)

2.3.1. Pendahuluan tentang PLC

Pengertian PLC menurut National *Electrical Manufacturer Assosiation* (NEMA) merupakan perangkat elektronik yang bekerja secara digital yang menggunakan “*Programmable Memory*” untuk penyimpanan intruksi internal guna menerapkan fungsi-fungsi khusus seperti *logic*, *sequencing*, pengukuran waktu, penghitungan dan aritmatika, untuk mengontrol modul-modul input/output secara analog atau digital, berbagai jenis mesin atau proses tertentu.

PLC merupakan suatu bentuk khusus pengontrol berbasis mikroprosesor yang memanfaatkan memori yang dapat diprogram untuk menyimpan instruksi-instruksi dan untuk mengimplementasikan fungsi-fungsi logika semisal logika kombinasional, sekuensial, pewaktuan, pencacahan dan aritmatika guna mengontrol mesin-mesin dan proses-proses.

Sistem kontrol dengan PLC di industri memenuhi berbagai kriteria diantaranya:

- Pemrogramannya sederhana
- Perubahan program tanpa harus merubah sistem secara keseluruhan
- Ukuran lebih kecil/kompak, akan tetapi kinerja lebih handal

d. Biaya perawatan yang murah dan mudah

Sebuah PLC dapat dibangun dengan menggunakan sebuah mikro kontroler sebagai otak dari PLC. Sebagai perangkat pendukung tentunya dibutuhkan RAM, input modul, dan output modul. Dengan beberapa komponen ini PLC dapat dibangun dan dioperasikan. (Rifai, 2013).

PLC (*Programmable Logic Controller*) pada dasarnya adalah sebuah komputer yang khusus dirancang untuk mengontrol suatu proses atau mesin. Proses yang dikontrol ini dapat berupa regulasi variabel secara kontinu seperti pada sistem-sistem servo atau hanya melibatkan kontrol dua keadaan (ON/OFF) saja, tetapi dilakukan secara berulang-ulang seperti pada mesin pengeboran, sistem konveyor dan lain sebagainya.

PLC secara bahasa berarti pengontrol logika yang dapat diprogram, tetapi pada kenyataannya, PLC secara fungsional tidak lagi terbatas pada fungsi-fungsi logika saja. Sebuah PLC dewasa ini dapat melakukan perhitungan-perhitungan aritmatika yang relatif kompleks, fungsi komunikasi, dokumentasi, dan lain sebagainya. (Syahid, dkk., 2013).

Penerapan sistem kontrol menggunakan PLC diharapkan dapat meningkatkan efisiensi proses diantaranya dengan memperlancar sekuensial/urutan proses dan tanpa melakukan kesalahan yang berakibat berulangnya proses atau munculnya kekacauan. (Fitriadi, dkk., 2014).

Kelebihan PLC antara lain;

- a. Dibandingkan dengan sistem kontrol proses konvensional, jumlah kabel yang dibutuhkan bisa berkurang 80%.
- b. PLC mengkonsumsi daya lebih rendah dibandingkan dengan sistem kontrol proses konvensional (berbasis *relay*).
- c. Fungsi diagnostic pada sebuah kontrol PLC membolehkan pendeteksian kesalahan yang mudah dan cepat
- d. Perubahan pada urutan operasional atau proses (aplikasi) dapat dilakukan dengan mudah, hanya dengan melakukan perubahan atau penggantian program, baik melalui terminal konsol maupun komputer PC
- e. Tidak membutuhkan spare part yang banyak

- f. Lebih murah dibandingkan dengan sistem konvensional, khususnya dalam kasus penggunaan instrumen I/O yang cukup banyak dan fungsi operasional prosesnya cukup kompleks.
- g. Ketahanan PLC jauh lebih baik dibandingkan dengan relai auto-mekanik.

Pada pembuatan Penelitian ini, penulis menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) type Omron CP1E.



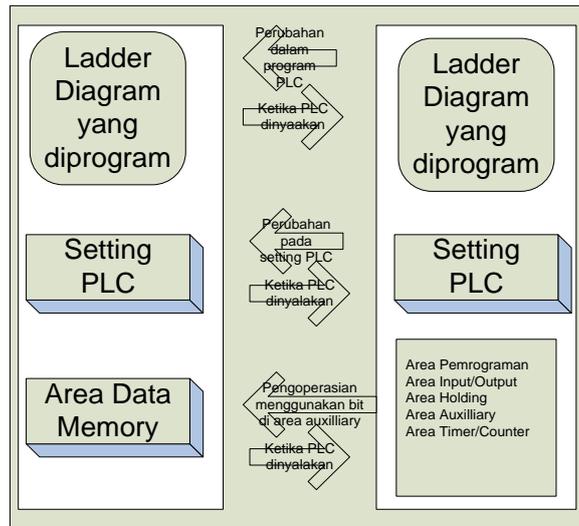
Gambar 2.9 PLC Omron type CP1E

2.3.2. Memory PLC

Memory didalam *Central Processing Unit* (CPU) PLC dibagi menjadi 2 (dua), yaitu:

- a. RAM, yang berfungsi untuk memori dalam melaksanakan instruksi dari *programmer*.
- b. EEPROM, berfungsi sebagai *memory backup*.

Jadi ketika *programmer* melakukan perubahan instruksi pada PLC, maka akan di *back-up* oleh EEPROM.

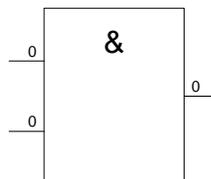


Gambar 2. 10 *Block Diagram sistem pada Memory PLC*

2.3.3. Bahasa PLC

Jenis Bahasa yang digunakan pada pemrograman PLC antara lain:

1. *Ladder Diagram*; jenis bahasa pemrograman ini menggunakan grafis yang berupa fungsi kontak-kontak yang terhubung dengan garis vertikal sebelah kiri dan output yang terhubung langsung dengan garis vertikal sebelah kanan. Dalam perancangan dan operasi pada penulisan ini, menggunakan bahasa pemrograman jenis ini.
2. *Function Block Diagram*; pada bahasa pemrograman ini menggambarkan aliran proses dalam block yang berisi gerbang logika.



Gambar 2.11 Contoh *Function Block Diagram*

3. *Structure Text*

Pada bahasa pemrograman ini menggunakan daftar teks atau notasi. Bahasa pemrograman ini digunakan pada awal-

awal berkembangnya PLC, dimana untuk pemrograman menggunakan *Handheld Console*. Contoh aplikasinya:

LD 1.0
 LD 1.1
 OR
 LD 1.4
 ST Q.4.3.

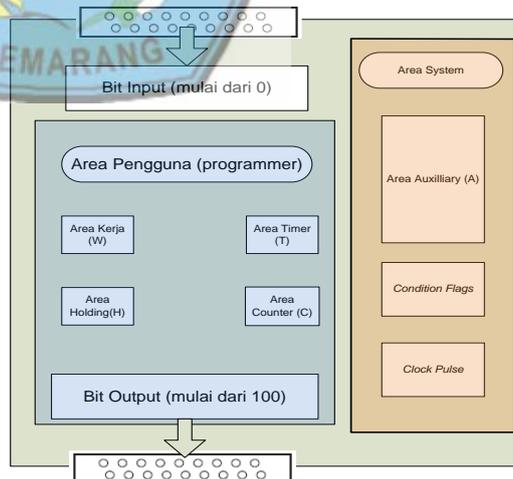
4. *Instruction List*

Pada beberapa manufaktur PLC, ada yang menggunakan bahasa pemrograman jenis ini. Semua pemrograman di PLC menggunakan bahasa instruksi. Contohnya:

IF S1
 THENSET RELAY

2.3.4. Sistem Input PLC

Pada sistem input PLC, data dapat dimodifikasi dan dibaca ke memory I/O melalui ladder diagram . Memory I/O ini terdiri dari I/O peralatan untuk peralatan eksternal, *users area* dan *system areas*.



Gambar 2. 12 *Block Diagram* Sistem I/O pada PLC

Dari *block diagram* untuk area pengguna (programmer) terdiri atas:

- a. Area Kerja (*work area*) ; merupakan bagian internal dari CPU yang digunakan untuk pemrograman. Tidak seperti bit

input dan bit output, I/O dari dan ke peralatan luar (*external devices*) tidak bisa *refresh* pada area ini.

- b. Area Holding (*Holding Area*); merupakan bagian internal dari CPU. Bagian ini berfungsi untuk menjaga program meskipun berubah *mode* dari *mode* PROGRAM menjadi *mode* RUN atau MONITOR
- c. *Data Memory* (DM); area ini digunakan secara umum untuk penyimpanan data termasuk perubahan data yang hanya bisa diakses dengan *words* 16 bit. Memory pada area ini rentan dan tidak stabil jika terjadi *loss power*.
- d. *Timer Area* (T); terbagi atas 2 (dua) bagian, yakni *timer completion flag* (bit memory yang aktif timer sudah selesai menghitung –*done*, dan *timer present values* (waktu berjalan ketika timer sedang aktif).
- e. *Counter Area*: sama seperti timer, *counter* juga terdiri dari *counter completion flag* dan *counter present value*.

2.3.5. Sistem Output PLC

Pada PLC, sistem input dan output mempunyai prinsip yang sama, ada beberapa jenis PLC yang sistem outputnya menggunakan transistor dan sebagian besar menggunakan output berupa *relay*.

2.3.6. Peralatan input PLC

pada bagian input dapat berasal dari *discrete input* maupun *analog input*. Untuk *discrete input* ini *sensing device* dapat berupa *switch*, *push button*, *auxillary contact*. Yang dimaksud *discrete input* disini adalah input yang merupakan kontak on-off atau NO-NC (*Normally Close – Normally Open*).

Sedangkan *analog input* berasal dari input yang bersifat *variable* (berubah-ubah). Pada penerapan di industri, *analog input* ini berasal dari input arus 4-20 mA atau input tegangan 0-10 V.

Contoh peralatan input; *push button*, *selector switch*, *analog input* 4-20 mA, *analog input* 0-10 V.

2.3.7. Peralatan Output PLC

merupakan hasil keluaran dari PLC. Sama seperti input, pada output juga terdiri dari *discrete output* (DO) dan *analog output* (AO). Untuk *discrete output* berupa *relay* yang hanya mempunyai 2 posisi, NO atau NC. Sedangkan *analog output*, mempunyai keluaran *variable* baik 4-20 mA maupun 0-10 V.

2.3.8. Perancangan Software

Perancangan software ini terdiri dari perancangan ladder diagram untuk menjalankan PLC. Perancangan ladder diagram ini menggunakan software CX-Programmer versi 9.0. Perancangan ladder diagram ini menggunakan software CXProgrammer, CX-Programmer adalah alat pemrograman PLC OMRON yang berfungsi untuk penciptaan, pengujian dan pemeliharaan program program yang terkait dengan PLC OMRON CS/CJ, PLC CP-series, PLC CV-Seri dan PLC C-series.

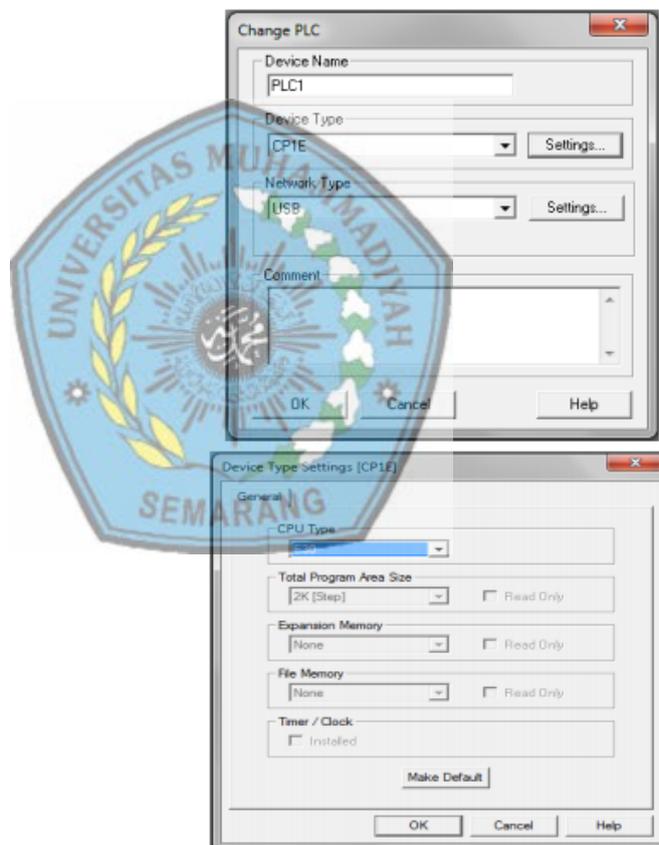
CX-Programmer menyediakan fasilitas untuk mendukung perangkat PLC dan alamat informasi untuk komunikasi dengan PLC OMRON dan mendukung jenis jaringan. CX-Programmer diciptakan untuk menggantikan aplikasi OMRON SYSWIN dan SYSMAC-CPT. Dalam perancangan ladder diagram ini terlebih dahulu ditentukan kebutuhan I/O PLC yang dipakai. Penentuan nomor I/O ini penting dilakukan untuk memudahkan dalam pembuatan ladder diagram, agar tidak terjadi kesalahan dalam pemrograman.

2.2.8.1 Langkah-langkah mengoperasikan aplikasi Cx-Programmer untuk membuat Program ladder pada PLC

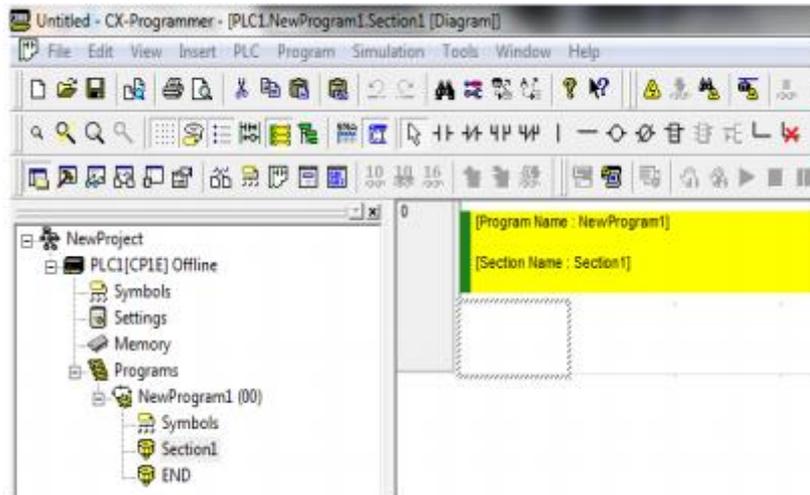
1. Pertama masuk ke aplikasi CX-Programmer yang sudah kita install sebelumnya pada laptop atau PC.
2. Setelah masuk dalam aplikasi CX-Programmer, langkah selanjutnya adalah kita membuat sebuah project dengan langkah seperti berikut : Klik File > New.



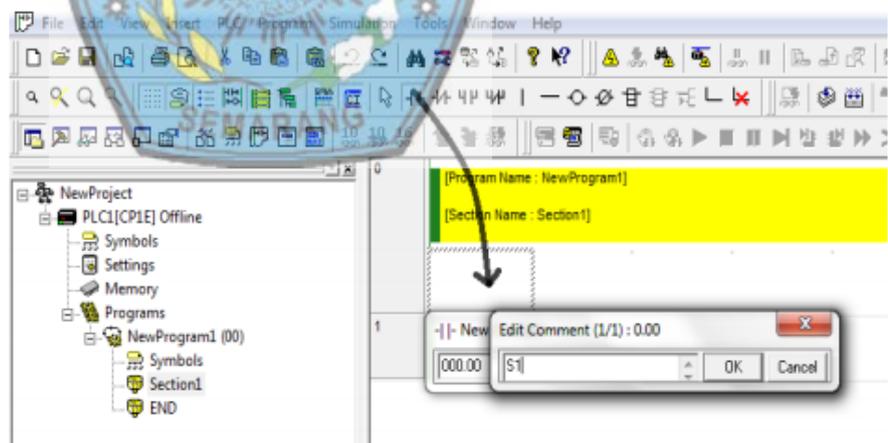
3. Kemudian akan muncul tampilan seperti gambar dibawah ini, kita harus mengisikan Device Name dan Device Type. Untuk Device Type kita pilih CP1E karena PLC yang kita gunakan adalah tipe CP1E, selanjutnya Klik: Setting untuk mengatur I/O pada PLC, kemudian klik OK.



4. Apabila kita sudah melalui tahap tersebut, akan muncul window seperti gambar dibawah ini, dimana kita dapat membuat ladder programm untuk PLC.



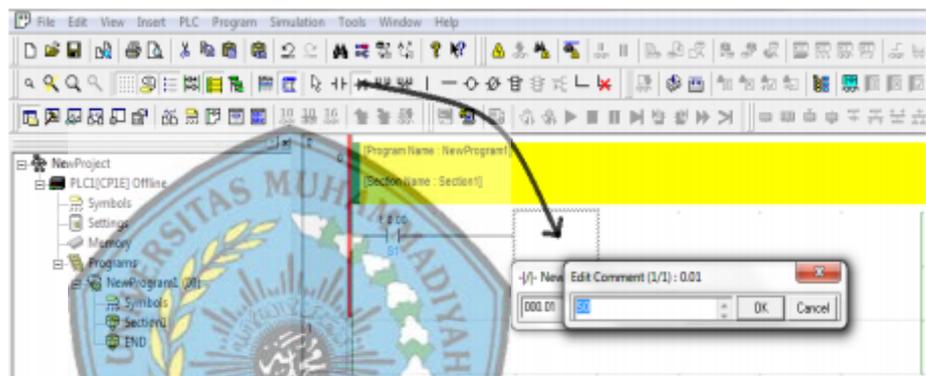
5. etelah itu kita dapat memulai membuat program dengan menggunakan instruksi-instruksi yang terdapat pada tool bar.
6. Semisal contoh kita ingin inputnya menggunakan kontak NO, pilih tool bar dengan symbol kontak NO lalu seret tool bar tsb ke Rung.
7. Kemudian kita diharuskan melakukan pengalamatan pada kontak yang kita gunakan. Seperti gambar di bawah ini.



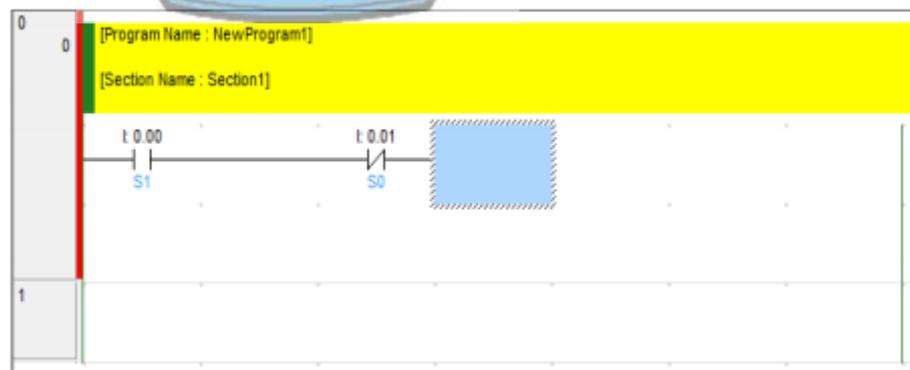
8. Setelah melakukan pengalamatan akan muncul kontak NO dengan alamat 0.00 pada Rung. Beri Penamaan pada kontak NO misalnya: S1, klik Ok.



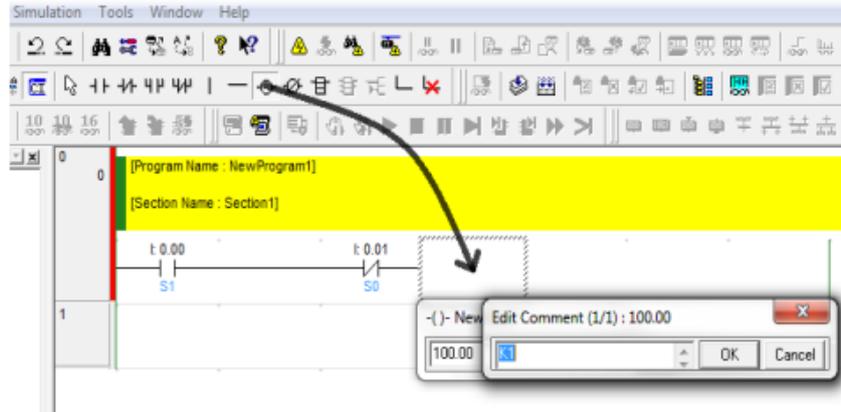
9. Apabila ingin menambahkan inputan lagi, semisal contoh kontak NC, kita dapat melakukan prosedur yang sama seperti saat menambahkan kontak NO,



tetapi untuk pengalamatan harus disesuaikan, jangan sampai ada crash, atau pengalamatan yang sama.



10. Untuk menambahkan output pada ladder dapat menggunakan instruksi pada tool bar yang sudah tersedia, dan melakukan pengalamatan seperti saat menambahkan input.



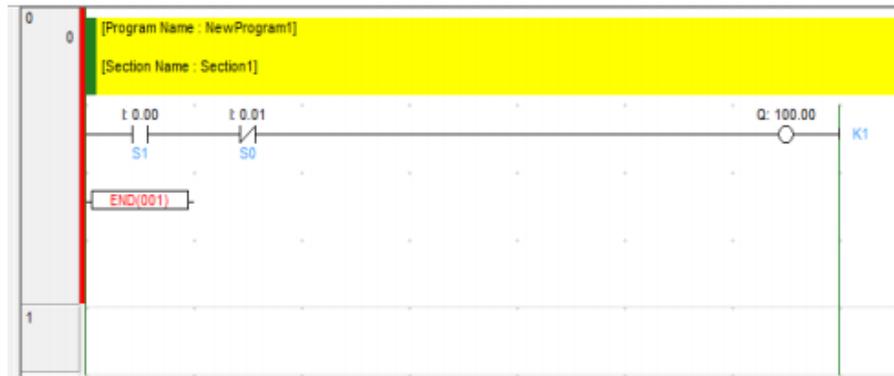
Selanjutnya Klik Ok



11. Setelah menambahkan input dan output pada Rung sudah selesai jangan lupa untuk menambahkan instruksi fungsi END, untuk mengakhiri bahwa program sudah selesai.



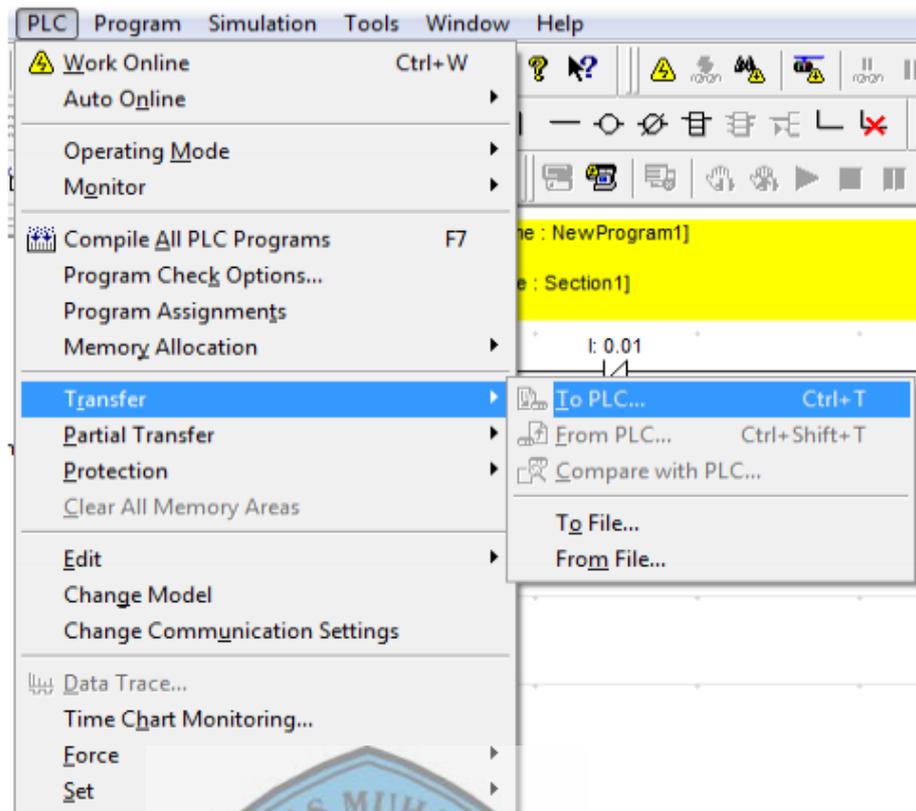
12. Setelah ladder program selesai dibuat seperti gambar di bawah ini.



13. Langkah selanjutnya adalah mengcompile project yang sudah kita buat dengan cara seperti gambar dibawah ini, klik ; Program > Compile > Ok.



1.
14. Setelah program sudah berhasil dcompile, tinggal kita download Program ke PLC yang sudah terkoneksi dengan PC kita, Klik : PLC > Transfer > To PLC.



Setelah File telah terdownload akan muncul info bahwa download *successfully*.

2.4 Jamur Tiram

Jamur Tiram atau Oyster Mushroom merupakan jamur perombak kayu. Ada beberapa spesies yaitu *Pleurotus ostreatus* (Tiram putih), *Pleurotus flabelatus* (Tiram merah), *Pleurotus sajor-caju*, *P. sapidus*, *P. cornucopiae*, dan *P. eryngii*. Jamur ini dapat tumbuh pada serbuk gergaji, jerami padi, sekam, limbah kapas, limbah daun teh, klobot jagung, ampas tebu, limbah kertas dan lain sebagainya.

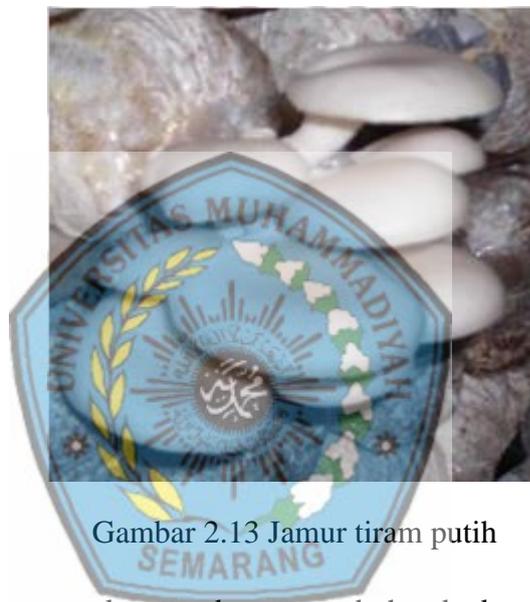
Jamur Tiram (*Pleurotus* sp) termasuk Basidiomycetes kelompok white rot fungi. Jamur ini banyak dibudidayakan karena menghasilkan badan buah yang dapat dimakan. Setelah pertumbuhan miselium kurang lebih 30 hari, dengan induksi cahaya dan diberi aerasi serta kelembaban yang cukup maka akan muncul badan

buah. Bentuk badan buah sangat tergantung pada tempat tumbuhnya. Apabila tumbuh di sisi samping substrat, badan buah sering tidak bertangkai, atau bertangkai pendek yang letaknya asimetri seperti kerang.

Jamur Tiram dapat ditanam pada bahan yang mengandung lignoselulosa tanpa dipersiapkan lebih dahulu seperti difermentasi atau tanpa dikomposkan terlebih dahulu. Pertumbuhan miselium pada bagas (serbuk gergaji kayu) lebih

cepat dibandingkan jerami dan sekam padi. Untuk jamur Tiram putih sangat cocok ditanam pada media kayu gergajian dari kayu Albizia.

Faktor lingkungan yang berpengaruh meliputi suhu, sinar matahari, kelembaban, kandungan air, dan kontaminan. Kandungan air pada media penanaman yang sesuai untuk pertumbuhan miselium adalah 60-70%. Ukuran partikel substrat untuk jerami adalah 2-3cm. Pada saat inkubasi kelembaban yang dibutuhkan 60-80 %. Dan suhu untuk pertumbuhan berkisar antara 16-25°C.



Gambar 2.13 Jamur tiram putih

Gambar 2.13 merupakan gambar pertumbuhan badan miseliumjamur tiram putih setelah berumur 30 hari. Jamur tersebut siap di panen setelah berumur 30 hari.

2.5 *Temperature Controller*

Merupakan suatu modul pengendali yang mendapatkan input dari sensor temperatur, kemudian diproses serta menghasilkan output baik *discrete output* maupun *analog output*. Dalam modul ini, pengendaliannya menggunakan *PID controller*, yang memproses dan membandingkan antara input, *set-point* dan pengaturan output.

Dalam pembuatan Penelitian ini, penulis menggunakan *temperature controller* Autonics TC4S, *temperature controller* yang pengaturannya

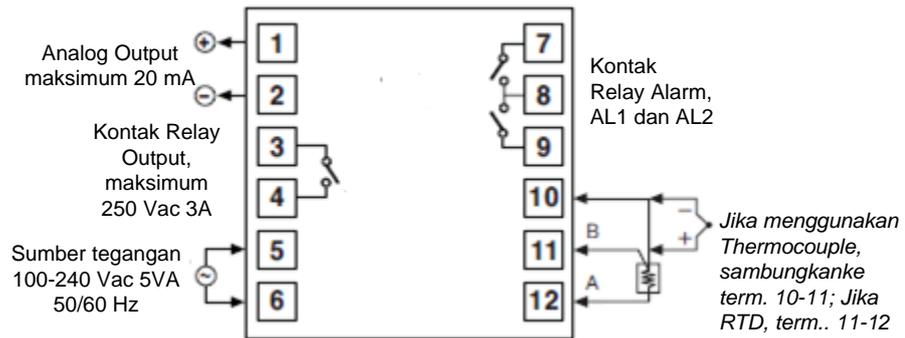
menggunakan *switch* yang terdiri dari 4 digit angka pembacaan pengukuran. Berikut adalah detil spesifikasi dari Autonics TC4S.

| | |
|----------------------------------|--|
| Power Supply | : 100-240 Vac |
| Power consumption | : Max 5VA |
| Display methods | : 7 Segment (Red); Other display (Green, Yellow) |
| Input | : RTD DIN Pt 100 Ω Thermocouple K (CA) |
| Display Methods | : PV +/- 0,5% or +/- 1°C higher one |
| Control output <i>relay</i> | : 250 Vac – 3A – 1A |
| Control Output SSRP | : 12 Vdc +/- 2V 20 mA Max |
| Sub output | : AL1, AL2 <i>relay</i> output : 250 Vac 1A (TC4S, TC4Y have AL1 only) |
| Control method | : ON/OFF and P, PI, PD PID Control |
| Internal resistance | : Min. 100 M Ω (at 500 Vdc mega) |
| <i>Relay</i> Life Cycle Mech | : Mechanical Min. 10.000.000 operations Elect Min 100.000 operations (250 Vac 3A) |
| <i>Relay</i> Life Cycle Electric | : Mechanical Min. 10.000.000 operations Elect Min 300.000 operations (250 Vac 1A) |



Gambar 2.14 Temperature Controller Autonics TC4S

Dalam pembuatan Penelitian ini, yang perlu diperhatikan adalah *wiring diagram* terminal pada *temperature controller* tersebut.



Gambar 2.15 *Wiring Diagram* terminal *temperature controller TC4S*
(*Manual Datasheet Autonics TC4S*)

2.6 Sensor Temperatur

Pada pembuatan Penelitian, penulis menggunakan sensor temperatur berupa *Thermocouple*. Sensor ini secara konstruksi terdiri dari dua buah jenis metal yang kedua ujungnya tersambung pada salah satu sisi (*hot junction*), dan sisi yang lain pada kedua ujungnya (*cold state*) akan menghasilkan beda potensial (*mili volt*) sebagai pembacaan dari temperature objek yang diukur. Jadi *mili volt* yang dihasilkan merupakan akibat dari perbedaan temperature pada kedua elemen metal yang berbeda jenis tersebut.

Prinsip kerja pada *thermocouple* berdasarkan pada *seebeck effect* atau *thermo electric effect*, yakni semua *metal* konduktor menghasilkan tegangan, dan ketika temperature pada metal konduktor berubah maka tegangan akan menyesuaikan perubahan temperature tersebut.

Jadi *electromotive force* dihasilkan merupakan proses dari dua buah *metal* yang berbeda jenis yang kedua ujung pada salah satu sisi keduanya tersambung, dan ketika ujung ini dipanaskan maka open circuit dari kedua ujung di sisi lainnya inilah *electromotive force* tersebut dihasilkan.

$$\Delta V = -S(T) \Delta T$$

Dari persamaan tersebut, maka hubungan perubahan beda potensial adalah proporsional langsung atau berbanding lurus dengan perubahan temperatur; sedangkan koefisien *seebeck* merupakan temperatur yang dihasilkan dari jenis material yang digunakan.

Pada penerapannya jenis *thermocouple* ini dibagi berdasarkan atas probe-nya dan logam pembentuknya.

Jenis *thermocouple* jika berdasarkan *probe*-nya, dibagi atas:

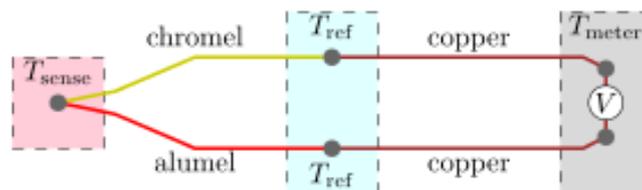
a) *Exposed junction*, pada jenis ini *probe*-nya terbuka dan langsung menyentuh dari objek pengukuran, kelebihan tipe ini adalah respon yang sangat cepat dibandingkan dengan tipe yang lain, tetapi kelemahannya adalah reliabilitas dari material yang digunakan yang langsung bersentuhan dengan objek pengukuran yang memungkinkan cepat terjadinya korosi maupun kerak, tergantung fluida dari objek pengukurannya.

b) *Insulated junction*, pada jenis ini *probe* dari sensor ter-cover dengan lapisan penutup (*cover*). Tipe ini banyak digunakan dalam industri, respon dalam pengukuran relative lebih lambat dari yang tipe *exposed*, namun dalam hal reliabilitas lebih tahan karena adanya *cover* dari *probe thermocouple*-nya.

c) *Junction reference to electrical ground*, secara konstruksinya *thermocouple* dilas dengan *cover*-nya; pada jenis ini respon pengukuran lebih cepat dibanding yang tipe *insulated*, tetapi masih dibawah yang tipe *exposed*. Jika dari segi reliabilitas, tipe ini mempunyai cukup ketahanan seperti *insulated*, karena *probe*-nya tercover.

Sedangkan jenis *thermocouple* berdasarkan logam pembentuknya dibagi atas:

a) **Tipe K** (logam penyusunnya adalah Nikel – Chromel / Nikel – Alloy). *Thermocouple* tipe K terdiri dari; nikel dan kromium pada sisi positif (Thermocouple Grade) sedangkan sisi negatif-negatif (Extension Grade) terdiridari nikel dan alumunium. *Thermocouple* jenis ini sangat ekonomis. Temperatur kerja dari sensor tipe ini antara 0 °C hingga +1100 °C.



Gambar 2.16 Wiring Diagram sebuah thermocouple

b) **Type E** (logam penyusunnya adalah Nikel – Chromel / Constantan (Cu-Ni alloy). *Thermocouple* tipe E terdiri dari nikel dan kromium pada sisi positif (Thermocouple Grade) sedangkan sisi negatif (Extension Grade) nikel dan tembaga. Thermocouple ini mempunyai besaran output $68 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, sedangkan temperature kerjanya berkisar antara 0°C hingga $+800^\circ\text{C}$.

c) **Type J** (logam penyusunnya adalah Iron / Constantan). *Thermocouple* tipe J terdiri dari Besi pada sisi positif (Thermocouple Grade) sedangkan sisi negatif (Extension Grade) adalah jenis nikel dan tembaga. Mempunyai temperature kerja antara 20°C hingga $+700^\circ\text{C}$, dan mempunyai sensitivitas sekitar $\sim 52 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

d) **Type N** (logam penyusunnya adalah Nicrosil (Ni-Cr-Si alloy) / Nisil (Ni-Si alloy). *Thermocouple* tipe N terdiri dari nikel, 14 kromium dan 1.4 silikon pada sisi positif (Thermocouple Grade) sedangkan sisi negatif (Extension Grade) nikel, silikon dan magnesium. Mempunyai kelebihan pada stabilitas dan ketahanan yang cukup tinggi terhadap oksidasi. Hal ini membuat tipe N cocok untuk pengukuran temperatur yang tinggi. Selain itu, jenis ini bias mengukur temperatur di atas 1200°C . Mempunyai sensitivitas kisaran $39 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ pada 900°C .

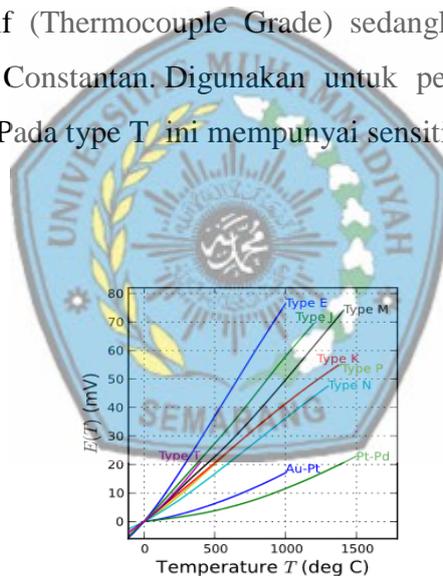
Thermocouple tipe B, R, dan S adalah *Thermocouple* yang merupakan jenis logam. Pada jenis ini mempunyai stabilitas yang cukup baik, kisaran sensitivitasnya $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Dalam aplikasinya digunakan untuk pengukuran temperature tinggi ($>300^\circ\text{C}$).

e) **Type B** (logam penyusunnya adalah Platinum dengan kandungan 30% Rhodium / Platinum dengan kandungan 6% Rhodium). *Thermocouple* tipe B terdiri dari Rhodium dan platinum pada sisi positif (Thermocouple Grade) sedangkan pada sisi negatif (Extension Grade) adalah platinum. Dalam penerapannya tipe ini mempunyai tingkat presisi yang baik untuk pengukuran temperature di atas 1800°C . Kelemahan Tipe B ini adalah mempunyai output yang sama pada temperatur 0°C hingga 42°C , akibatnya tipe ini tidak dapat dipakai di bawah temperatur 50°C .

f) **Tipe R** (logam penyusunnya adalah Rhodium dengan kandungan Platinum 13% / Platinum). *Thermocouple* tipe R penyusunnya adalah rhodium dan platinum pada sisi positif (Thermocouple Grade) dan sisi negatif (Extension Grade) Platinum. Cocok mengukur suhu di atas 1600 °C. Mempunyai kisaran sensitivitas(10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$).

g) **Tipe S** (logam penyusunnya adalah Platinum dengan kandungan 10% Rhodium / Platinum). *Thermocouple* tipe S terdiri dari Rhodium dan platinum pada sisi positif (Thermocouple Grade) dan sisi negatif (Extension Grade) adalah nikel dan tembaga. Dalam penerapannya digunakan untuk pengukuran di atas 1600 °C. Mempunyai kisaran sensitivitas 10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Kelebihan dari tipe ini adalah dijadikan standar pengukuran titik leleh emas pada kisaran temperatur 1064.43 °C.

h) **Tipe T** (Copper / Constantan). *Thermocouple* tipe T terdiri dari Tembaga pada sisi positif (Thermocouple Grade) sedangkan pada sisi negatif (Extension Grade) adalah Constantan. Digunakan untuk pengukuran dengan kisaran -200 hingga 350 °C. Pada tipe T ini mempunyai sensitivitas dengan kisaran 43 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

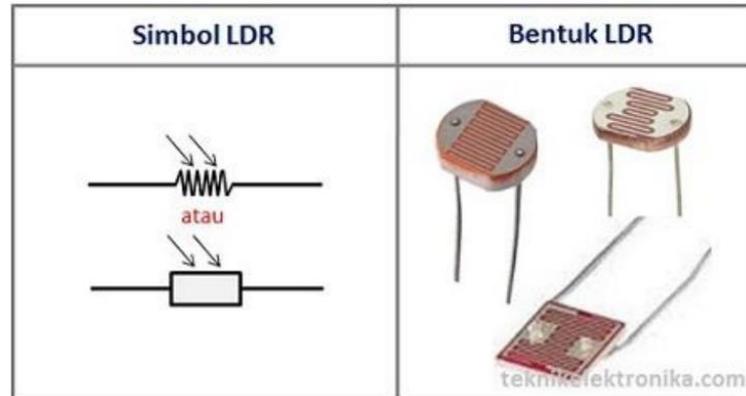


Gambar 2.17 Kurva Perbandingan temperatur dan tegangan pada berbagai type thermocouple.

(Manual data sheet Digichip Thermocouple probe)

2.7 LDR (Light Dependent Resistor)

Sebuah *light dependent resistor* (LDR) terdiri dari sebuah piringan bahan semikonduktor dengan dua buah elektroda pada permukaannya. Biasanya LDR terbuat dari bahan cadmium selenide atau cadmium sulfide.



Gambar 2.18 Bentuk dan simbol LDR

Dalam gelap atau dibawah cahaya yang redup, bahan piringan hanya mengandung electron bebas dalam jumlah ang relative sangat kecil. Hanya tersedia sedikit electron bebs untuk mengalirkan muatan listrik. Hal ini berarti bahwa bahan bersifat sebagai konduktor yang buruk untuk mengalirkan arus listrik. Dengan kata lain, nilai tahanan bahan sangat tinggi.

Di bawah cahaya yang terang, lebih banak electron dapat melepaskan diri dari tom-atom bahan semikonduktor ini. Terdapat lebih banyak electron bebas yang mengalirkan muatan listrik. Hal ini disebabkan adanya efek foto elctrik (photoelectric effect) yaitu fenomena quntum electron dimana electron-elektron dipancarkan atau dilepas oleh suatu bahan setelah menyerap energi dari radiasi gelombang elektromagnetik seperti sinar X atau cahaya tampak. Dalam keadaan ini, bahan bersifat sebgai konduktor yang baik. Tahanan listrik bahan rendah. Semakin terang cahaya yang mengenai bahan, semakin banyak electron bebas ang ersedia, dan semaiqn rendah pula tahanan listrik bahan.

2.8 *Magnetic Contactor*

Komponen ini merupakan *liquid* yang terhubung dengan kontak bantu (*auxilliary contact*). Sehingga pada kondisi *liquid* ini disuplai tegangan, maka *liquidnya* akan menarik kontak, sehingga posisi kontak akan berubah.

2.9 *Switch*

Komponen ini merupakan saklar yang apabila digerakkan maka akan berubah kontaknya. Dapat berupa saklar yang berubah kontaknya *fixed*(tetap) dan

ada yang sesaat seperti *Push Button* (tombol tekan) yang akan kembali ke kontak semula jika dilepas.

2.10 Fuse

Merupakan pengaman rangkaian dari arus hubung singkat pada beban. Ketika terjadi kondisi demikian maka kawat lebur akan putus dan memutus aliran arus dari sumber ke beban.

2.11 MCB (*Miniatur Circuit Breaker*)

Merupakan pengaman beban listrik yang dilengkapi dengan pengaman hubung singkat (*short circuit*) dan beban lebih (*over load*). Pada penerapannya dilengkapi juga dengan *auxilliary contact* baik yang berupa OF (sesuai dengan posisi *open-close* MCB maupun kontak SD yang akan menyesuaikan posisi MCB jika terjadi gangguan dan pengaman bekerja.

2.12 Power Supply

Merupakan komponen yang berfungsi untuk menyediakan daya listrik ke komponen-komponen dan beban peralatan. Yang digunakan pada pembuatan Penelitian ini adalah 220 Vac dan 24 Vdc.

