

BAB II

LANDASAN TEORI

Pada bab ini, akan membahas teori dan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan perancangan sistem SCADA pada pengendalian *water level* dengan PLC CP1E-NA20DR-A.

2.1 Tinjauan Pustaka

Subbab ini berisikan tentang referensi utama dari penelitian yang serupa dan evaluasi yang diambil dari penelitian tersebut dalam rangka perancangan sistem SCADA untuk kontrol *water level* berbasis PLC CP1E-NA20DR-A dengan fitur HMI.

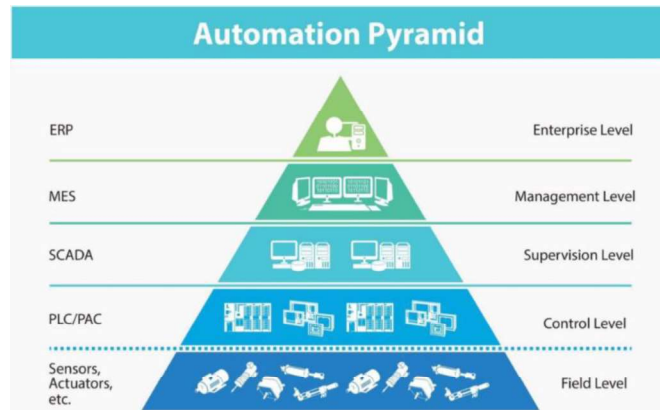
Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka

No.	Judul Penelitian	Penulis/ Tahun	Kesimpulan
1.	Rancang Bangun Sistem Pengendalian <i>Water Level</i> dengan Pengontrol PID pada Pompa Air AC Menggunakan PLC CP1E-NA20DR-A	Meyra Chaerunnisa (2024)	Sebagai basis alat yang akan dikembangkan untuk ditambahkan sistem SCADA pada alatnya
2.	Kontrol dan Monitoring Sistem Otomasi Automatic <i>Water Treatment System</i> Berbasis PLC Menggunakan HMI Weintek MT8071iP	Gilang Wibisono, Kaleb Priyanto, Haikal, Rahmat (2020)	Sistem berbasis PLC CP1E-NA20DR-A Dengan HMI Weintek MT8071iP dengan software Easybuilder Pro 6.0
3.	Implementasi Sistem <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> untuk Proses Koagulasi pada Instalasi Pengolahan Air Berbasis <i>Programmable Logic Controller</i> dan <i>Human Machine Interface</i>	Ruwanto, Dadan Ridwan, Ari Ajibekti Masriwilaga, Huban Kabir, Deden Komaludin (2023)	Perancangan sistem kendali pengolahan air yang dilengkapi SCADA dan HMI yang memiliki kontroler PLC.

2.2 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

SCADA atau *Supervisory Control and Data Acquisition* merupakan sistem yang memantau, mengatur, dan mengumpulkan, serta mengirim data yang dapat dilakukan dari jarak tertentu. [3] Menggunakan modul komunikasi CP1W-CIF11

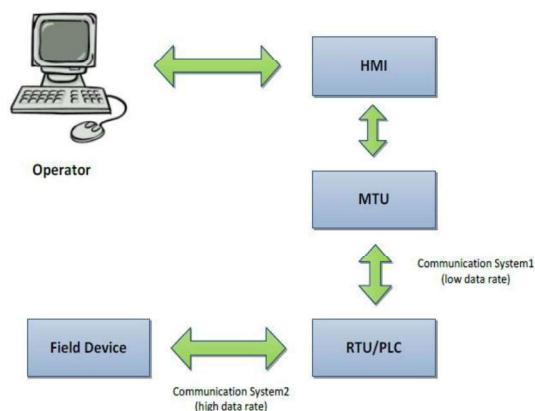
untuk sambungan dari PLC CP1E ke modul RS-485. Pada dasarnya arsitektur atau komponen utama yang memastikan sistem SCADA ini berfungsi layaknya sistem yang memonitor dan mengendalikan alat dari jarak jauh.



Gambar 2. 1 Piramida Otomasi

Sumber : [26]

Sistem SCADA berdasarkan daripada piramida otomasi yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**, berada pada level supervisor atau *Supervision Level*. Pada level ini memungkinkan untuk sistem untuk dimonitoring, mengakusisi, dan mengolah data secara local maupun jarak jauh. Selain itu, juga dapat melakukan data LOG untuk data historis. Perlu diingat selain, pengontrolan dan data LOG, SCADA juga perlu untuk memvisualisasi data tersebut melalui antarmuka yang menghubungkan komunikasi antara operator dengan alatnya.[26]



Gambar 2. 2 Arsitektur SCADA

Sumber : [5]

Sistem SCADA yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2** Memiliki *Field device* atau alat di lapangan, RTU/PLC, MTU, HMI, dan Operator. Field device adalah alat yang diawasi dan dikendalikan dari jarak jauh. [6] RTU (Remote Terminal Unit) / *slave* adalah bertugas sebagai berikut.

- A. Untuk mengumpulkan data dari sensor.
- B. Menerima perintah dari MTU.
- C. Mengirim data ke MTU setelah dikumpulkan. [7]

MTU (Master Terminal Unit) yang berfungsi sebagai berikut :

- A. Mengumpulkan data dari RTU
- B. Memproses data
- C. Mengirim perintah kendali untuk RTU/PLC
- D. Menyediakan data untuk operator yang ditampilkan di HMI

Kemudian HMI (Human Machine Interface) adalah untuk sebagai sistem antarmuka antara operator (Human) dengan alat (Machine). Dengan HMI ini, dapat mempermudah operator untuk memantau segala kondisi dan operasi yang sedang berlangsung pada alat. Data yang ditampilkan beragam, seperti data angka hingga data fisual seperti grafik.

Peran MTU/*master* di rancangan sistem pada penelitian ini, akan dipegang oleh PC. Sementara, peran RTU/*slave* akan dipegang oleh PLC. Dengan menggunakan protokol komunikasi *Host Link* RS-485. Komunikasi antara MTU ke RTU dapat dilakukan dengan jarak yang cukup jauh, tergantung dari jenis komunikasi yang digunakan, baik menggunakan kabel maupun nirkabel. Selain itu, pemilihan jenis komunikasi ini juga dapat memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Seperti RS-485 (Recommended Standard - 485) yang memiliki ketahanan lingkungan yang sangat baik dengan jarak komunikasi yang cukup mempuni (tergantung jenis kabel yang digunakan) tapi memiliki kekurangan kecepatan kirim dan menerima data yang kalah dibanding RJ45 atau ethernet. Sementara RJ45 memiliki kelebihan kecepatan mengirim dan menerima data yang cepat dengan jarak juga cukup mempuni, namun sensitif dengan lingkungan yang keras.

Pada sistem SCADA dapat memberikan fitur akun yang dapat memberikan akses tertentu untuk sesuai peran masing-masing. Peran tersebut biasanya adalah *Manager*, *Operator*, dan *Engineer*. Berikut adalah penjelasannya

- A. *Manager*, berperan untuk dapat memonitoring kinerja alat dengan visualisasi dari parameter, mengakusisi data, namun tidak dapat mengoperasikannya. Data yang didapat biasanya digunakan untuk analisa efisien kinerja alat setelah dioperasikan.
- B. *Operator*, berperan untuk mengoperasikan alat, memonitoring parameter dari alat, namun tidak dapat mengakusisi data dari alat.
- C. *Engineer*, berperan untuk mengoperasikan alat, memonitoring, serta mengakusisi parameter dan data dari alat. Data yang didapat biasanya untuk pengaturan parameter dari metode pengontrolan sistem. Ataupun dapat digunakan untuk *troubleshooting* semisal alat mengalami kendala.

Pembagian peran daripada akun-akun tersebut dilakukan agar menambah keamanan disistem. Ini penting mengingat sistem SCADA ini berhubungan langsung dengan *plant-plant* yang sejatinya memiliki informasi-informasi yang sensitif. Metode ini biasanya disebut sebagai RBAC atau *Role-Based Access Control*, dan hal ini sudah diatur melalui standar internasional ISA/IEC 62443 (Di Indonesia : SNI IEC 62443) yang mengatur standar *Security Levels* atau SLs. [27] SCADA telah umum digunakan di bidang industri. Seperti pada dunia pertambangan dan pengolahan minyak bumi, yang disupervisi untuk segala input dan luaran dari setiap plant untuk melacak setiap hasil pengolahannya, sehingga dapat mengetahui efisiensi dari performa setiap plant. Juga dilakukan pada transportasi masal, hingga pengolahan dan distribusi air.

2.3 Water Level

Water level merupakan alat yang mengukur dan mengatur ketinggian air. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur aktuator, bisa berupa *solenoid valve* dan atau pompa air. Dan untuk mengukur ketinggian air menggunakan berbagai jenis sensor, bisa berupa ultrasonik hingga menggunakan pelampung sebagai sensor. Alat ini dapat ditemui diberbagai tempat dan dalam pengaplikasian bisa dilakukan pada berbagai sektor, sebagai contoh tangki air bersih untuk distribusi air ke rumah warga, dalam pertanian untuk irigasi, hingga ke tingkat industri.

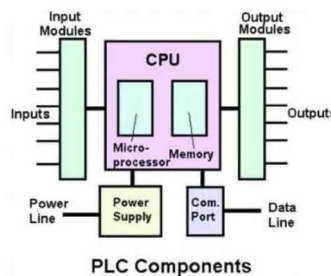
2.4 Komponen Penyusun Sistem

Terdapat beberapa komponen mendasar yang membuat sistem SCADA yang diaplikasikan untuk sistem pengendalian ketinggian air atau *water level*. Pada sistem ini, menggunakan PLC CP1E-NA20DR-A sebagai kontroler atau otak dari sistem pengendali ketinggian air ini.

2.4.1 PLC (Programmable Logic Controller)

PLC atau *Programmable Logic Controller* merupakan *microprocessor* yang biasa digunakan sebagai kontroler dalam sebuah sistem terkendali. Pada dunia industri, PLC digunakan sebagai kontroler untuk menggantikan *relay*, karena itu pemrograman yang digunakan berbasis logika *ladder* layaknya *relay*.

Digantikannya *relay* ini guna untuk menciptakan mikroprosesor yang lebih sederhana dan karena tidak banyaknya komponen yang bergerak, maka seharusnya lebih andal. Selain itu juga membuat kontroler sistem lebih ringkas ukurannya dan juga meningkatkan kinerja sistem tanpa harus membuat kontroler lebih kompleks dalam segi *wiring*nya.



Gambar 2. 3 Komponen PLC

Sumber : [8]

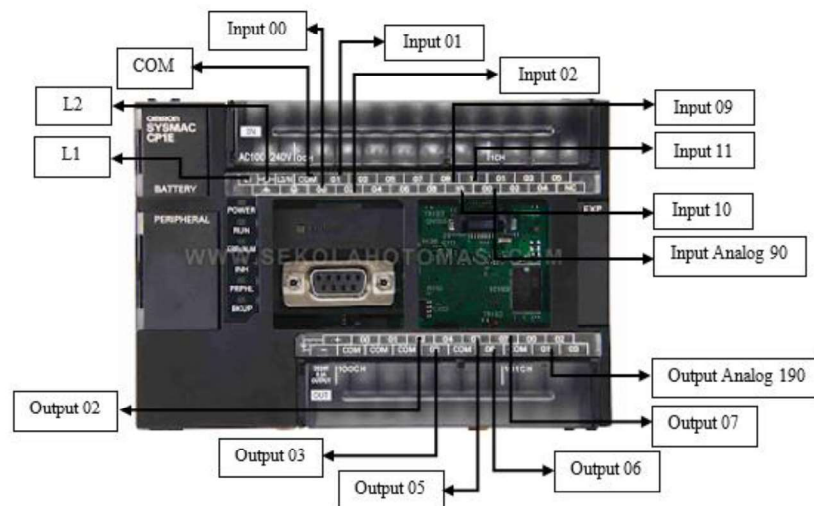
Ditunjukkan pada **Gambar 2.3** adalah komponen PLC berupa CPU yang di dalamnya terdiri dari *microprocessor* dan memori. PLC memiliki modul input dan modul output yang berdasarkan model dari PLC akan berbeda jumlahnya. Pada PLC CP1E-NA20DR-A memiliki 20 I/O (12 input dan 8 output) sesuai dengan kode modelnya. Ditunjukkan **Tabel 2.2** adalah penjelasan kode PLC Omron CP1E-NA20DR-A.

Tabel 2. 2 Penjelasan Kode PLC CP1E-NA20DR-A

Kode	Keterangan
CP1E	Jenis PLC

Kode	Keterangan
NA	Build-in analog
20	20 I/O (12 Input & 8 Output)
D	DC Input
R	Output tipe relay
A	AC power supply

Pada sistem ini, digunakan PLC bermerek Omron dengan model CP1E-NA20DR-A. PLC ini salah satu yang biasa digunakan pada sistem berstandar industri maupun prototipe alat. PLC ini memiliki input digital maupun analog. Begitu juga dengan outputnya yang memiliki output digital dan analog. Seperti dicontohkan pada **Gambar 2.3** Serta dijelaskan pada **Tabel 2.3**



Gambar 2. 4 I/O PLC Omron CP1E-NA20DR-A

Sumber : [2]

Ditunjukkan **Gambar 2.4** Penjelasan masing-masing 12 input dan 8 output dari PLC Omron CP1E-NA20DR-A. Dan juga tersedia port RS-232 untuk dihubungkan ke HMI

Tabel 2. 3 Spesifikasi PLC Omron CP1E-NA20DR-A

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Supply AC	100 – 240 V
I/O	12/8

Spesifikasi	Keterangan
Kapasitas Program	2000 Steps
Kapasitas Data Memori	8000 Words
Unit CPU	USB, RS-232, RS-485

Ditunjukkan pada **Tabel 2.3** adalah spesifikasi dari PLC Omron CP1E-NA20DR-A dari tegangan input PLC, hingga kapasitas data program 2000 langkah dan kapasitas memori 8000 kata.

Tabel 2. 4 Penjelasan I/O PLC CP1E-NA20DR-A

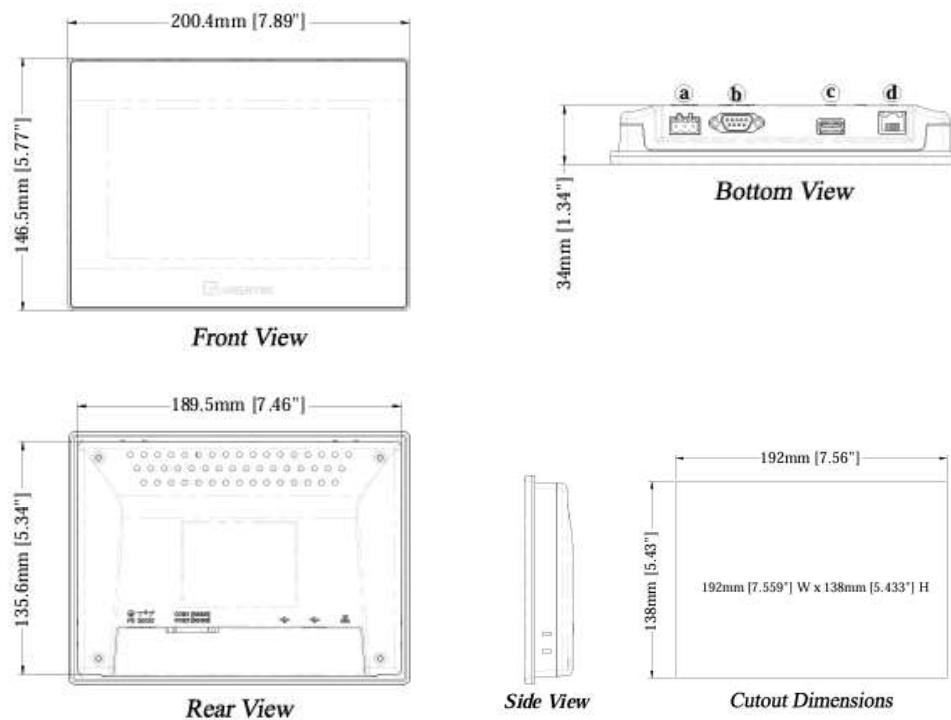
Channel	Keterangan	Tegangan
L1 dan L2	Di isi dengan phasa dan netral dari PLN	220 VAC
Com	Pada bagian com input sinking	- 24 VDC
Input 00	Input 00 diisi NO Switch ON	+ 24 VDC
Input 01	Input 01 diisi NO Push Button Manual	+ 24 VDC
Input 02	Input 02 diisi NO Push Button PID	+ 24 VDC
Input 09	Input 09 diisi NO Push Button Solenoida $\frac{3}{4}$ Inch	+ 24 VDC
Input 10	Input 10 diisi NO Push Button Solenoida $\frac{1}{2}$ Inch	+ 24 VDC
Input 11	Input 11 diisi NO Push Button Solenoida 1 Inch	+ 24 VDC
Input Analog 90	Sensor Ultrasonik Analog menghasilkan tegangan analog yang dibaca pada input analog 90	0-5 V
Output 02	Output 02 sebagai masukan Relay 1	+ 24 VDC
Output 03	Output 03 sebagai masukan Relay 2	+ 24 VDC
Output 05	Output 05 digunakan untuk mengaktifkan <i>Solenoid Valve</i> $\frac{3}{4}$ Inch	+ 24 VDC
Output 06	Output 06 digunakan untuk mengaktifkan <i>Solenoid Valve</i> $\frac{1}{2}$ Inch	+ 24 VDC
Output 07	Output 07 digunakan untuk mengaktifkan <i>Solenoid Valve</i> 1 Inch	+ 24 VDC
Output Analog 190	Output Analog 190 sebagai masukan VFD analog	4-20 mA
Port RS-485	Terhubung ke PC untuk komunikasi SCADA (via Modul Komunikasi CP1W-CIF11)	

Ditunjukkan pada **Tabel 2.4** adalah penjelasan dari I/O PLC pada sistem SCADA pada pengendali *water level* yang terhubung dengan sensor dan actuator serta HMI

2.4.2 HMI

HMI atau *Human Machine Interface* adalah antarmuka yang memungkinkan operator untuk dapat berinteraksi dengan alat atau mesin. Dengan ini, dapat memudahkan untuk mengoperasikan alat agar dapat berjalan sesuai dengan *set point*. HMI ini biasanya berupa layar yang menampilkan berbagai jenis informasi mengenai alat tersebut.

Weintek MT8071iP adalah HMI yang akan digunakan pada rancangan sistem pengendalian *water level*. HMI ini memiliki *pinout* dan dimensi yang dijelaskan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2. 5 Dimensi dan *Pinout* HMI Weintek MT8071iP

Sumber : [9]

Pada **Tabel 2.5** adalah penjelasan dari *Pinout* HMI yang sebelumnya telah ditampilkan di **Gambar 2.5**

Tabel 2. 5 *Pinout* HMI Weintek MT8071iP

Simbol	Keterangan
a	Power Connector
b	COM1 RS232 4W, COM2 RS485 2W/4W
c	USB Host
d	Ethernet

HMI Weintek MT8071iP memiliki spesifikasi yang ditampilkan pada **tabel 2.6** untuk memastikan spesifikasi yang ada, sesuai dengan kondisi lingkungan yang ada dengan HMI yang akan digunakan.

Tabel 2. 6 Spesifikasi HMI Weintek MT8071iP

Komponen	Spesifikasi	Keterangan
Display	<i>Display</i>	7" TFT LCD
	Resolusi	800 X 480
	Kecerahan	(cd/m2) 300
	Rasio Kontras	500:1
	<i>Tipe Backlight</i>	LED
	<i>Usia Backlight</i>	>30.000 Jam
	Warna	16.7 Juta
	LCD (T/B/L/R)	70/50/70/70
	<i>Pixel Pitch</i> (mm)	0.1926(H) x 0.179(V)
Touch Panel	<i>Tipe</i>	4-wire Resistive Type
	Akurasi	Active Area Length(X)±2%, Width(Y)±2%
Memori	Flash	128 MB
	RAM	128 MB
Processor	32-bit RISC 600MHz	
I/O Port	USB Host	USB 2.0 x 1
	USB Client	N/A
	Ethernet	10/100 Base-T x 1

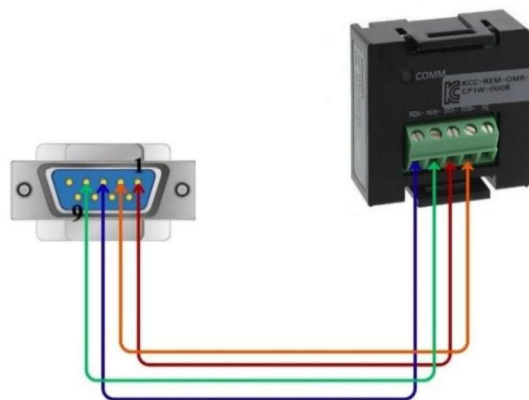
	COM Port	COM1: RS-232 4W, COM2: RS-485 2W/4W
	RS-485	<i>Dual Isolation</i> N/A
RTC	Built-In	
Power	<i>Input Power</i>	10.5~28VDC
	<i>Power Cosumption</i>	1A@12VDC ; 500mA@24VDC
	<i>Power Isolation</i>	<i>Built-In</i>
	<i>Voltage Resistance</i>	500VAC (1 min.)
	<i>Isolation Resistance</i>	<i>Exceed 50MΩ at 500VDC</i>
	<i>Vibration Endurance</i>	10 to 25Hz (X, Y, Z direction 2G 30 minutes)
	<i>PCB Coating</i>	N/A
Spesifikasi	<i>Enclosure</i>	Plastik
	Dimensi WxHxD	200.4 x 146.5 x 34 mm
	Panel Cutout	192 x 138 mm
	Berat	Sekitar 0.52 kg
	<i>Mount panel</i>	<i>Mount</i>
	Struktur proteksi	NEMA4 / IP65 <i>Compliant Front Panel</i>
Environment	Temperatur Storage	-20°~60°C
	Temperatur Operasional	0° ~ 50°C
	Kelembaban Relatif	10% ~ 90% (non-condensing)
	CE	CE marked
Sertifikasi	Easybuilder Pro	V5.05.01 or <i>later versions</i>
Software	Weincloud	2.0 (Opsional)
	EasyAccess	

Spesifikasi HMI Weintek MT8071iP adalah HMI yang memiliki fitur *touchscreen* tipe *resistive* dengan ukuran 7" TFT. Dengan tersedia port RS-232 dan kompatibel dengan PLC Omron CP1E-NA20DR-A. HMI ini juga memiliki port USB yang membuatnya dapat menyimpan data hasil pembacaan sensor ultrasonik.

2.4.3 RS-485

RS-485 adalah protokol komunikasi serial asinkron yang dalam pengoperasiannya tidak memerlukan pulsa *clock*. Metode komunikasi yang digunakan untuk mentransfer data biner dari perangkat satu ke yang lain menggunakan teknik diferensial. Metode sinyal diferensial bekerja dengan membuat tegangan diferensial dengan menggunakan tegangan komplementer (yaitu 5V positif dan negatif).

Beberapa kelebihan untuk memilih RS-485 ketimbang RS-232, yaitu memiliki kecepatan yang mengirim data yang tinggi hingga mencapai 30Mbps. Selain itu, RS-485 juga memiliki jarak transfer data yang lebih jauh dibanding RS-232, yaitu mencapai 1200 meter. Serta RS-485 dapat mengatasi *noise* pada saat transfer data dikarenakan metode sinyal diferensial. Dan juga RS-485 dapat mendukung perangkat yang mencapai 32 *slave* yang terhubung dengan RS-485. Ditunjukkan di **Gambar 2.6** adalah port RS-485 dan penjelasan luarannya.



Gambar 2. 6 Port Protokol Komunikasi RS-485

Sumber : [10]

Dalam komunikasi RS-485, ada beberapa metode yang dilakukan baik secara komunikasi mesin ke mesin maupun pengkabelannya. Dalam metode komunikasinya terdapat beberapa jenis, salah satunya adalah Modbus RTU dan *Host Link*. Modbus RTU adalah metode yang paling umum digunakan tidak hanya pada PLC namun pada mikrokontroler lainnya. Ada juga *Host Link* yang khusus digunakan oleh Omron untuk komunikasi PLC dengan komponen lainnya seperti HMI dan PC. *Host Link* ini juga telah didukung oleh Weintek untuk dapat terhubung dengan HMI dan *software* EasyBuilder Pro.

Secara pengkabelan, RS-485 memiliki 2 jenis yaitu 2 *wire* atau *half duplex* yang artinya hanya menggunakan sepasang kebal *twisted* dan 4 *wire* atau *full duplex* yang menggunakan 2 pasang kabel *twisted*, masing-masing memiliki keunggulan dan kekurangan masing-masing. Sebagai berikut untuk rangkumannya.

A. *Half duplex*, kelebihan :

1. Lebih simpel secara *hardware*. Dikarenakan *wiring* nya hanya menggunakan sepasang kabel *twisted*, maka secara otomatis membuatnya lebih simpel
2. Biaya yang lebih murah. Baik dari segi pemasangan dikarenakan kabel yang dibutuhkan lebih sedikit, maupun secara operasional dikarenakan konsumsi daya yang lebih sedikit.

B. *Half duplex*, kekurangan :

1. Tidak dapat mengirim sinyal ke kedua arah secara bersamaan. Dikarenakan hanya menggunakan sepasang kabel, maka pengiriman sinyal terbatas, sehingga pemantauan secara *real-time* tidak memungkinkan.
2. Pemrograman lebih rumit. Dikarenakan keterbatasan infrastruktur, maka diperlukan pemrograman untuk pengiriman sinyal yang dapat diakomodasi oleh kabel untuk menghindari tabrakan sinyal.

C. *Full duplex*, kelebihan :

1. Dapat mengirim dua arah. Membuatnya dapat melakukan pemantauan secara *real-time* dan pemrograman yang lebih simpel dikarenakan 2 pasang kabel yang dapat mengakomodasi pengiriman data.
2. Meminimalisir terjadinya tabrakan sinyal. Dikarenakan kabel yang digunakan dapat untuk pengirim data ke kedua arah membuatnya resiko tabrak sinyal lebih kecil

D. *Full duplex*, kekurangan :

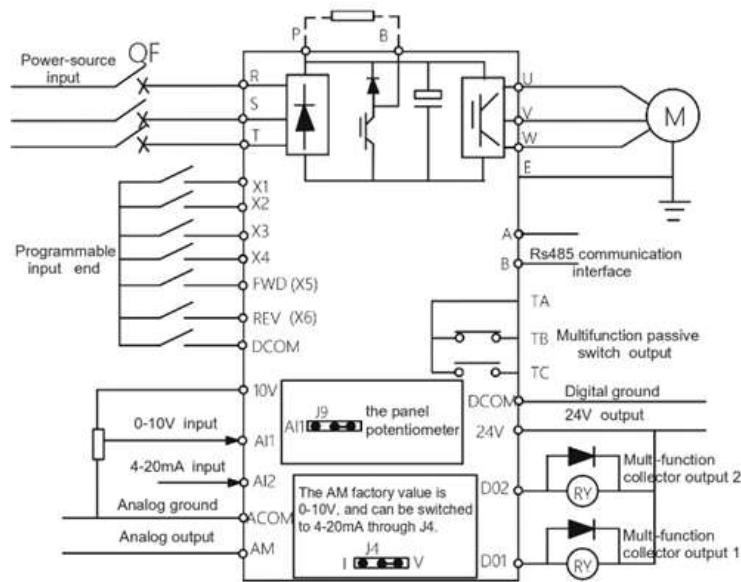
1. Lebih kompleks secara *hardware*, dikarenakan 2 pasang kabel yang digunakan, membuatnya lebih rumit.
2. Biaya lebih tinggi. Baik secara operasional maupun pembuatan, akan lebih tinggi dibanding *half duplex*.

Sesuai ketentuan dari panduan Weintek untuk komunikasi RS-485 dari PLC ke HMI Weintek MT8071iP, maka digunakan RS-485 jenis *wiring full duplex*.

2.4.4 VFD (Variable Frequency Drive)

VFD atau *Variable Frequency Drive* merupakan komponen yang mengatur kecepatan sebuah motor AC. Caranya adalah dengan mengatur besar kecilnya suatu frekuensi pada suatu tegangan. VFD memiliki tiga komponen utama: rectifier, DC bus, dan inverter. *Rectifier* ini memiliki fungsi sebagai pengubah tegangan AC ke DC. Kemudian untuk DC bus berfungsi sebagai penyimpan tegangan DC. Serta untuk Inverter adalah berfungsi sebagai pengubah kembali dari tegangan DC ke AC. Pada dasarnya VFD mengatur torsi yang dikeluarkan oleh motor AC yang pada kasus ini adalah sebuah pompa air. Dengan begitu, debit air yang dikeluarkan dapat diatur sesuai kebutuh atau yang diperintahkan oleh operator melalui kontroler.

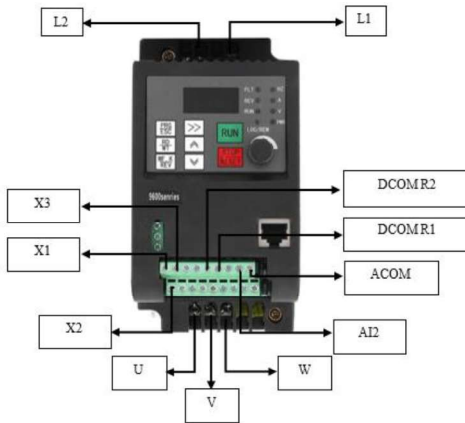
Pada penelitian kali, akan digunakan Nflixin 9600 Series sebagai VFD yang digunakan. VFD ini memiliki *pinout* yang dijelaskan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2. 7 Skematik Nflixin VFD

Sumber : [11]

Ditunjukkan di **Gambar 2.8** adalah 12 *Pinout* I/O dari VFD Nflixin 9600 Series digunakan dalam rancangan sistem SCADA pengendalian *water level* untuk mengendalikan kecepatan motor AC yang berfungsi sebagai pompa air.



Gambar 2. 8 Pinout Nfixin 9600 Series

Sumber : [11]

Di **Tabel 2.7** menjelaskan fungsi dari masing-masing I/O yang digunakan untuk mengontrol kecepatan pompa air dalam rancangan sistem SCADA pengendalian *water level*.

Tabel 2. 7 Penjelasan I/O Nfixin 9600 Series

Channel	Keterangan	Tegangan
L1 dan L2	Di isi dengan phasa dan netral dari PLN	220 VAC
U, V, dan W	Dihubungkan ke Pompa Air AC	380 VAC
X1	Input X1 diisi NO Relay 1	+ 24 VDC
X2	Input X2 diisi NO Relay 2	+ 24 VDC
X3	Input X3 diisi NO Relay 2	+ 24 VDC
AI2	Input dari Output PLC Analog	4-20 Ma
DCOM R1	Pada bagian Com Relay 1	- 24 VDC
DCOM R2	Pada bagian Com Relay 2	- 24 VDC
ACOM	Pada bagian Com Output PLC Analog	4-20 Ma

Pada **Tabel 2.8** menjelaskan spesifikasi pada VFD bermerek Nfixin 9600 Series yang digunakan pada sistem. VFD Nfixin 9600 Series dengan tegangan 220 V AC, rentan daya 0,75 kW, dan luaran frekuensi 50/60 Hz, mempuni untuk mengendalikan motor AC tiga fasa.

Tabel 2. 8 Spesifikasi VFD Nfloxin 9600 Series

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan	220 V AC
Rentan Daya	0,75 kW
Luaran Frekuensi	50/60Hz
Luaran Arus	0,34 A
Suhu Operasional	-10°C sampai 50°C

Pada **Tabel 2.9** Merupakan parameter pada VFD Nfloxin 9600 Series untuk mengatur kecepatan motor AC yang berfungsi sebagai pompa air dalam sistem pengendalian *water level*.

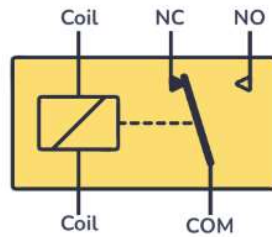
Tabel 2. 9 Parameter Nfloxin 9600 Series

Funtion Code	Nama Parameter	Pengaturan
P0-02	Command Source Selection	1 = Terminal control (LED On)
P0-03	Main Frequency Source X Selection	0 = Digital Setting (non-retentive at power failure)
P0-04	Auxiliary Frequency Source Y Selection	3 = AI2
P0-07	Frequency Source Selection	2 = Switchover between X and Y
P4-00	X1 Function Selection	1 = Forward RUN (FWD)
P4-01	X2 Function Selection	18 = Frequency Source Switchover
P4-02	X3 Function Selection	1 = Forward RUN (FWD)

2.4.5 Relay

Relay merupakan komponen listrik yang berfungsi layaknya saklar yang menghubungkan dan juga memutuskan aliran listrik, sesuai dari logika NO (Normally Open) atau NC (Normally Close). Pada awalnya *relay* digunakan untuk kontroler pada sistem yang lebih awal sebelum ditemukan atau belum banyak digunakannya PLC.

Namun pada sistem ini, *relay* masih digunakan meskipun PLC sudah menggantikan sebagai kontroler. Namun *relay* masih digunakan sebagai fungsi perantara antara PLC dengan komponen yang memiliki beban tegangan yang berat, seperti motor listrik AC tiga fasa. Berikut adalah **Gambar 2.9** untuk skematik *relay*



Gambar 2. 9 Skematik *Relay*

Sumber : [12]

Pada *relay* memiliki 2 tipe logika saklar atau switch, yaitu NO dan NC. NO atau *Normally Open* merupakan ketika switch tidak dialiri tegangan, akan dalam posisi terbuka. Sementara NC atau *Normally Close* adalah ketika *switch* tidak dialiri tegangan, maka akan dalam posisi terbuka.

Pada **Tabel 2.10** Merupakan spesifikasi dari *relay* yang digunakan pada sistem ini adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 10 Spesifikasi *Relay*

Spesifikasi	Keterangan
Merek	OMRON
Tipe	MY2N
Jumlah Pin	8 pin
Kapasitas	5A 30V DC / 5A250VAC
Tegangan Coil	24 VDC

2.4.6 Motor AC Pompa Air

Motor AC pada sistem ini memiliki fungsi sebagai aktuator yang menggerakkan dan mendorong air pada sistem untuk dimasukkan ke tangki layaknya pompa air. Motor pompa ini diatur menggunakan VFD yang mengatur frekuensi pada tegangan. Yang artinya mengatur torsi yang dikeluarkan motor AC yang berfungsi sebagai pompa air untuk mendorong ke tangki. Sehingga debit air yang dikeluarkan dapat dikendalikan.

Pompa air sendiri merupakan komponen yang bertugas untuk menarik dan mendorong fluida. Pompa sentrifugal sendiri adalah pompa yang mendorong air dengan menggunakan gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal sendiri adalah gaya yang melingkar mendorong keluar dari pusat lingkaran.

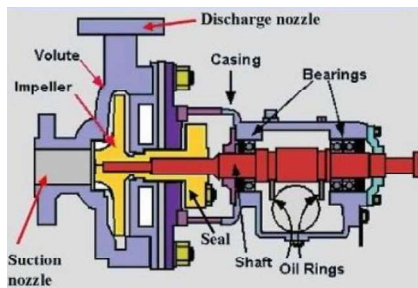
Pompa sentrifugal sendiri dibagi menjadi 3, yaitu overhung pump, between bearing pump, dan vertically suspended pump. Tapi pada sistem ini, menggunakan jenis overhung pump. Overhung pump adalah pompa yang posisi impeller berada di satu sisi. Pompa ini diaplikasikan untuk kapasitas low-medium dan low-medium head. Pada sistem ini menggunakan jenis overhung pump, yang gambarnya dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2. 10 *Overhung Pump*

Sumber : [13]

Pada **Gambar 2.11** adalah irisan dari pompa air bertipe *overhung pump* yang menunjukkan komponen internal pompa mulai dari *bearings*, *shaft*, *impeller* yang merupakan bagian inti pompa. Hingga bagian seperti *casing*, *volute*, dan *suction nozzle* yang merupakan bagian luar pompa berjenis *overhung pump*.



Gambar 2. 11 *Komponen pada Pompa*

Sumber : [13]

Pompa sentrifugal memiliki beberapa komponen utama dan memiliki fungsinya masing-masing. Berikut penjelasannya

1. *Impeller*, komponen yang berfungsi menghasilkan gaya sentrifugal dengan bentuk sirip atau baling-balingnya.
2. *Shaft*, komponen yang menghubungkan *impeller* dengan motor dan komponen penggerak lainnya.

3. *Bearing*, untuk menopang *shaft* dan meminimalisir *friction* dalam pergerakannya.
4. *Seal*, mencegah kebocoran fluida ke komponen lainnya sehingga tidak terjadi korosi.
5. *Volute*, berfungsi untuk mengubah energi kinetik fluida ke energi tekanan fluida.
6. *Casing*, sebagai penampung fluida dan komponen yang kontak langsung dengan fluida.

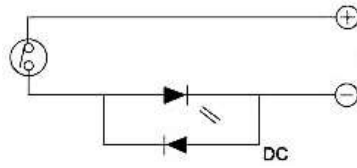
Pompa air yang digunakan dikendalikan oleh kontroler PLC CP1E-NA20DR-A dengan bantuan VFD untuk mengendalikan frekuensi pada tegangan AC yang dialirkan kepada motor. Komponen aktuator dari sistem pengendalian *water level*, yaitu motor AC tiga fasa yang berfungsi sebagai pompa air memiliki spesifikasi pada **Tabel 2.11** sebagai berikut.

Tabel 2. 11 Spesifikasi Pompa Air Morris MFM 128A

Spesifikasi	Keterangan
Merek	Morris MFM 128A
Tegangan	380 V
Diameter Inlet/Outlet	2 Inch / 2 Inch
Daya	0.75 Kw
Daya Motor	1 HP
Kecepatan Motor	2850 rpm
Impeller	BRASS
Suhu	60°C

2.4.7 Solenoid Valve

Solenoid valve atau katup solenoida merupakan komponen yang berfungsi sebagai pengatur aliran fluida atau gas pada sistem. Pengoperasiannya menggunakan tenaga listrik. Cara kerjanya adalah ketika dialiri listrik, maka kekuatan magnet akan mengerakkan katup berlawanan dengan pegas yang ada di dalam katupnya. Dengan penggunaan listrik sebagai penggerakannya, maka katup solenoida dapat dikendalikan secara otomatis. Skematik dari katup solenoida dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2. 12 Skematik Wiring Katup Solenoida

Sumber : [14]

Ditunjukkan pada **Tabel 2.12** adalah spesifikasi katup solenoida pada rancangan sistem pengendali *water level*.

Tabel 2. 12 Spesifikasi Katup Solenoida

Spesifikasi	Keterangan
Model	2W – 250 – 25
	2W – 200 – 20
	2W – 160 – 15
Tegangan	24 V DC
Operasi Tekanan	Min. 0 kg/cm ³ – Max. 10 kg/m ³
Jenis	<i>Normally Close</i>

Ada beberapa jenis katup solenoida yang ada, seperti katup solenoida 2 way dan 3 way serta *multi way*. Ada juga katup solenoida yang beroperasi secara *direct-acting* dan *internally piloted*. [15]

2.4.8 Sensor Ultrasonik US-016

Sensor ultrasonik US-016 merupakan sensor yang mengukur besaran fisis berupa jarak suatu objek dari posisi sensor tersebut. Cara kerja sensor ultrasonik pada umumnya sama, Ada *transmitter* yang mengeluarkan suara ultrasonik dan kemudian dipantulkan ke objek, setelah itu suara yang dipantulkan ini akan diterima kembali oleh komponen *receiver*. Setelah itu diolah data yang didapat dari durasi yang dibutuhkan oleh gelombang ultrasonik untuk memantul kembali dari objek ke posisi sensor. **Gambar 2.13** merupakan gambar dari sensor ultrasonik US-016



Gambar 2. 13 Sensor Ultrasonik US-016

Sumber : [16]

Pada **Tabel 2.13** merupakan spesifikasi dari sensor ultrasonik US-016 pada sistem.

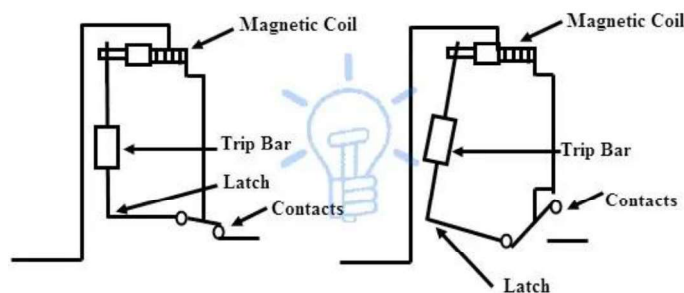
Tabel 2. 13 Spesifikasi US-016

Spesifikasi	Keterangan
Input Tegangan	5 Volt DC
Output	0 – 5 V (Analog)
Jarak Maximum	300 cm
Jarak Minimum	2 cm
Dimensi	6 cm x 4 cm x 2,75 cm

Sensor ultrasonik US-016 merupakan sensor yang digunakan pada sistem ini, dipilih dikarenakan sensor ini memiliki spesifikasi berupa luaran analog. Selain itu, juga memiliki voltase operasi rentan antara 3,3V sampai 5V dengan arus 3,8 mA. Rentan jarak yang dapat dibaca oleh sensor ini adalah antara 2 cm sampai 300 m atau 3 m.

2.4.9 MCB

MCB atau *Miniature Circuit Breaker* adalah komponen listrik yang umum digunakan. Fungsi dari komponen ini adalah untuk melindungi komponen listrik ataupun sistem keseluruhan dari kerusakan yang diakibatkan oleh arus singkat listrik atau *short circuit* atau korsleting. MCB akan terbuka ketika tegangan melebihi dari *set point* yang telah ditentukan, agar tegangan berlebih tidak merusak komponen pada sistem. [17] **Gambar 2.14** adalah skematik dari MCB.



Gambar 2. 14 Skematik MCB

Sumber : [18]

Ditunjukkan pada **Tabel 2.14** adalah spesifikasi MCB yang digunakan untuk sistem pengendalian *water level* yang berfungsi sebagai pelindung komponen elektrik dari kemungkinan korsleting.

Tabel 2. 14 Spesifikasi MCB

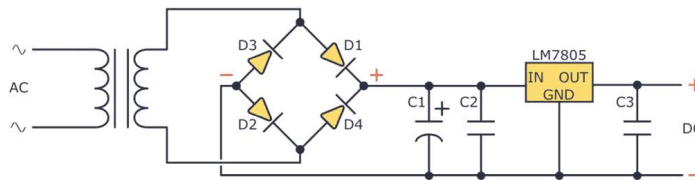
Spesifikasi	Keterangan
Merek	CHNT
Arus Terukur	10 A.
Frekuensi	50/60 Hz
Jumlah Pole	2

Cara kerja dari MCB ini ketika tegangan berlebih atau arus pendek akan terdeteksi oleh mekanisme elektromekanik (termasuk *thermal* atau *magnetic*) akan membuka saklar untuk menghentikan tegangan tersebut.

2.4.10 Power Supply

Power supply atau catu daya adalah komponen yang berfungsi sebagai pemasok daya ke satu atau lebih beban listrik yang merupakan komponen pada sistem. Hal ini dilakukan karena pada dasarnya listrik yang ada adalah listrik dengan daya 220 V dengan jenis arus AC atau bolak-balik. Untuk komponen listrik pada sistem ini umumnya menggunakan DC 24 V atau 5 V. Sehingga untuk menghindari kerusakan akibat kelebihan daya listrik dan jenis arus yang salah, maka digunakanlah catu daya untuk dapat memberikan tegangan dan arus yang sesuai dengan masing-masing komponen.

Pada **Gambar 2.15** adalah rangkaian beserta komponen yang ada di catu daya.

**Gambar 2. 15** Rangkaian Catu Daya

Sumber : [19]

Pada **Tabel 2.15** adalah spesifikasi dari *power supply* untuk sistem pengendalian *water level*. Pada sistem ini, menggunakan 2 *power supply*, yaitu 5 V DC dan 24 V DC.

Tabel 2. 15 Spesifikasi *Power Supply*

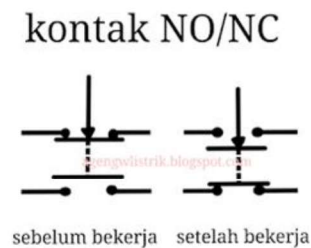
Spesifikasi	Keterangan
Input Tegangan	100 – 240 VAC
Output	5 V DC

Spesifikasi	Keterangan
Output	24 V DC
Frekuensi	50/60 Hz
Tipe	<i>Switching Power Supply</i>
Suhu Operasional	-10°C sampai 60°C

Catu daya memiliki beberapa komponen utama, yaitu transformator, *rectifier*, filter kapasitor, dan IC regulator tegangan. Transformator berfungsi untuk meningkatkan atau menurunkan daya dari sumber tegangan guna menyesuaikan dengan masing-masing komponen yang ada. Rectifier berfungsi untuk menyearahkan tegangan dari arus AC ke DC. Filter kapasitor berfungsi untuk menyaring segala *noise* dari tegangan. IC regulator berfungsi untuk memastikan luaran tegangan DC yang konstan.

2.4.11 Pushbutton

Pushbutton merupakan komponen yang berfungsi sebagai pemutus dan penghubung suatu aliran listrik. Komponen ini biasanya berfungsi sebagai pengaktif sistem dengan menghubungkan aliran listrik ke sistem. Selain itu, juga sebagai pemberi *feedback* kepada sistem untuk mengaktifkan suatu fitur atau fungsi kerja yang hanya bisa aktif ketika *pushbutton* ditekan. Luaran *pushbutton* sendiri hanya memiliki 2 kondisi, yaitu *ON* atau *OFF* (dalam symbol 1 atau 0). **Gambar 2.16** adalah jenis kontak pushbutton NO/NC.



Gambar 2. 16 Cara Kerja *Pushbutton*

Sumber : [20]

Dari **Gambar 2.16**, bisa digambarkan cara kerja dari *pushbutton* ini, yang memiliki 2 jenis kontak logika, yaitu NO dan NC. Serupa dengan *relay*, maksud dari NO dan NC ini adalah :

1. **NO (Normally Open)** yaitu ketika *pushbutton* tidak ditekan, maka kondisi *switch* terbuka, yang otomatis tidak memberikan tegangan atau *feedback*. Dan ketika ditekan, akan menghubungkan *switch* yang artinya memberi *feedback* atau aliran tegangan.
2. **NC (Normally Close)** yang artinya kondisi *pushbutton* tertutup ketika tidak ditekan atau kondisi awal. Dan ketika ditekan, maka *pushbutton* akan terbuka atau memutus aliran tegangan atau *feedback* ke sistem.

Berikut adalah **Tabel 2.17** yang menjelaskan spesifikasi dari *pushbutton* yang digunakan pada sistem.

Tabel 2. 16 Spesifikasi *Pushbutton*

Spesifikasi	Keterangan
Model	LA38-11
Diameter	22 mm.
Spesifikasi	Keterangan
Panjang	6,6 cm
Input Tegangan	440 V AC
Max. Arus	10 A.
Tipe Kontak	1 NO, 1 NC (DPST)

2.4.12 EasyBuilder Pro

EasyBuilder Pro merupakan *software* atau perangkat lunak yang dikembangkan oleh Weintek untuk membangun antarmuka pada HMI Weintek. Program ini dapat digunakan oleh berbagai merek PLC, seperti PLC Omron CP1E-NA20DR-A.

Melalui perangkat lunak ini, tampilan antarmuka bisa diatur dan bisa memberikan input ke sistem, seperti jenis kendali *on-off* atau PID yang akan dipilih. Selain itu, dapat juga menunjukkan grafik garis untuk memvisualisasi data yang diterima dari RTU.

2.4.13 CX-Programmer

CX-Programmer adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram PLC merek Omron dari semua serinya. Jenis bahasa pemrograman PLC yang dilakukan adalah bahasa *ladder diagram*, yang pada dasarnya memiliki logika layaknya *relay*. Selain itu, juga tersedia beberapa fungsi lain, seperti *counter*,

timer, structures, arrays, Smart input, Sequential Function Charts, Position Control Verification, dan Structured Text.

Dalam pemrogramannya juga harus dilakukan untuk menyesuaikan alamat I/O dengan komponen yang ditujukan agar sesuai. Melalui perangkat lunak ini, dapat memungkinkan untuk sistem pengendalian berbasis PID untuk PLC. Dengan didukung VFD yang berfungsi mengatur kekuatan motor pompa air, maka aktuator sistem bisa dikendalikan dengan lebih akurat.

2.4.14 Solidworks

Solidworks merupakan perangkat lunak yang memiliki fungsi sebagai CAD (Computer-Aided Design), simulasi fluida, dan fungsi lainnya. Fungsi yang digunakan pada penelitian ini adalah fungsi dalam 3D *Design* dan *Modelling*. Cara membuat desain di perangkat lunak ini adalah dengan membuat masing-masing komponen. Setelah itu disusun menggunakan fitur *Assembly* untuk menyusun komponen yang sudah dibuat untuk menjadi satu kesatuan sistem atau alat. Dengan adanya Solidworks ini, dapat mempermudah visualisasi desain *hardware* keseluruhan dari prototipe yang dibuat.

2.4.15 Modul Komunikasi Omron CP1W-CIF11

Omron CP1W-CIF11 merupakan aksesoris pada PLC Omron CP1E-NA20DR-A yang berfungsi sebagai modul komunikasi untuk memberikan port RS-422A dan RS-482. Modul ini diperlukan dikarenakan PLC seri CP1E tidak memiliki port-482 yang menjadi komunikasi serial yang digunakan untuk SCADA.



Gambar 2. 17 Omron CP1W-CIF11

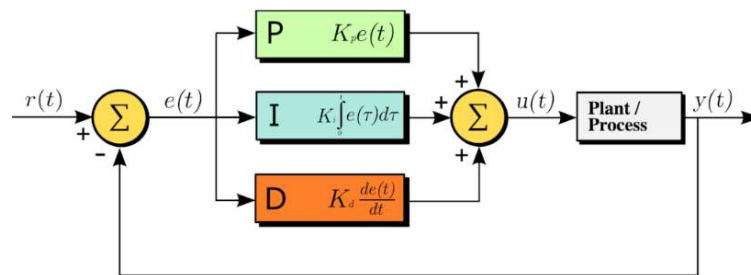
Sumber : [21]

Pada **Gambar 2.17** merupakan bentuk fisik dari Modul Komunikasi CPIW-CIF11. Modul ini memiliki 5 port untuk komunikasi serial RS-485, yaitu RDA-, RDB+, SDA-, SDB+, FG

2.5 Metode Kendali PID

Metode kendali PID (Proportional-Integral-Derivative) adalah salah satu metode kontrol sistem yang umum digunakan di industri termasuk kontrol proses. Metode ini menggunakan *feedback* dari sistem untuk melakukan perhitungan algoritma agar dapat mencapai dan mempertahankan luaran yang sesuai dengan *set point* yang ditetapkan.

Variabel *feedback* yang digunakan adalah PV (Process Variable) dan kalkulasikan secara kontinu dengan variabel *set point*. Dengan menggunakan kalkulasi proporsional, integral, dan derivatif, *error* ($e(t)$) pada sistem akan berkurang secara otomatis. Untuk skema cara kerja PID yang lebih jelas, dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.18**.

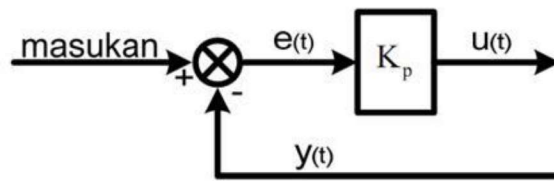


Gambar 2. 18 Diagram Blok Sistem dengan Metode PID

Sumber : [22]

2.5.1 Proportional

Kontrol *Proportional* menghasilkan sinyal pada sistem yang sesuai dengan selisih antara *set point* dengan nilai aktual pada sistem. Dengan kontrol *proportional* maka akan mempercepat sistem untuk mencapai *set point*. Tetapi dengan mengandalkan selisih *set point* terhadap sinyal aktual sistem dapat menyebabkan *overshoot*. Pada **Gambar 2.19** menggambarkan diagram blok dari kontrol *proportional*.



Gambar 2. 19 Diagram Blok Kontrol *Proportional*

Sumber : [23]

Dan untuk perumusan dari diagram blok kontrol *proportional* tersebut, dapat dilihat dari persamaan (2.1) [24].

$$u(t) = K_p e(t) \dots\dots (2.1)$$

Dimana :

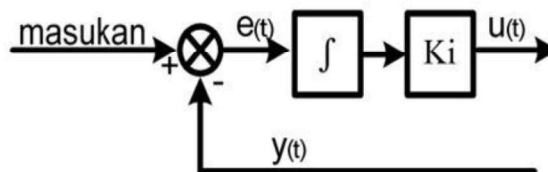
$u(t)$ = Luaran sistem kendali

K_p = Konstanta penguatan proporsional

$e(t)$ = *Error*

2.5.2 Integral

Kontrol *Integral* memiliki peran untuk menghasilkan sinyal yang berfungsi menghilangkan kondisi tunak atau *offset* pada sistem yang biasanya dihasilkan dari kontrol *proportional* dan meningkatkan respon sistem. Kontrol ini dapat meminimalisir kesalahan, tetapi pada kondisi tertentu di internal maupun eksternal sistem, dapat mengakibatkan *overshoot* ketika di-*setting* terlalu besar nilainya dan memperlambat respon sistem bila di-*setting* terlalu kecil. Ditunjukkan pada **Gambar 2.20** adalah diagram blok kontrol *integral*.



Gambar 2. 20 Diagram Blok Kontrol *Integral*

Sumber : [23]

Dan untuk menjelaskan diagram blok tersebut, dapat dirumuskan untuk kontrol *integral* sebagai persamaan (2.2) [24].

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$u(t)$ = Luaran sistem kendali

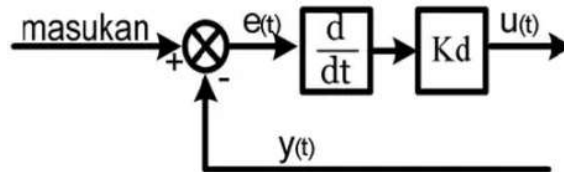
K_i = Konstanta *integral*

$e(t)$ = *Error*

dt = Sinyal *error*

2.5.3 Derivative

Kontrol *Derivative* berperan untuk menghasilkan sinyal sebanding dengan perubahan *error* pada laju sinyal. Dengan itu, kontrol *derivative* dapat meredam lonjakan pada respon sistem. Sehingga, *overshoot* dapat diredam, namun apabila di-*setting* terlalu besar nilainya, maka sistem tidak akan stabil. Pada **Gambar 2.21** adalah diagram blok kontrol *derivative*.



Gambar 2. 21 Diagram Blok Kontrol *Derivative*

Sumber : [23]

Untuk menjelaskan kontrol *derivative* yang berdasarkan dari diagram blok tersebut, maka akan dirumuskan pada persamaan (2.3) [24].

$$u(t) = K_d \frac{d}{dt} e(t) \dots\dots(2.3)$$

Dimana :

$u(t)$ = Luaran sistem kendali

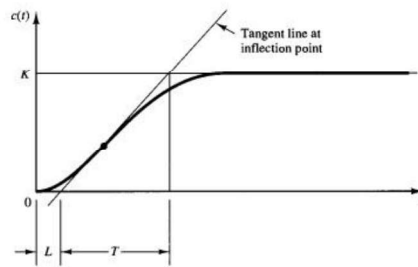
K_d = Konstanta *derivative*

$e(t)$ = *Error*

dt = Turunan *error* terhadap waktu

2.5.4 Metode Ziegler-Nichols

Metode Ziegler-Nichols adalah metode yang dilakukan guna menentukan dan tuning parameter PID. Caranya adalah dengan melakukan percobaan *open loop* dengan meng-*input* parameter proporsional kepada sistem, hingga mendapat respon sistem yang mengalami osilasi pada *outputnya*. Dari respon sistem tersebut, didapat grafik yang memiliki beberapa parameteran awal yang dapat dilihat pada **Gambar 2.22** .[28] Setelah mendapat parameter-parameter tersebut, maka bisa disubstitusikan nilainya ke rumus pada table berikut.



Gambar 2. 22 Grafik Kurva S

Sumber : [28]

Tabel 2. 17 Rumus Ziegler-Nichols

Tipe Pengontrol	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$\frac{1.2 T}{K L}$	$2L$	$0.5L$