

BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini akan membahas terkait teori dan komponen-komponen yang digunakan untuk Implementasi *Fuzzy Logic Control* Metode Sugeno dan *Internet of Things* untuk Sistem Kontrol *Heat Exchanger* pada *Plant Dryer* berbasis PLC *Weidmuller UControl M4000*.

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka ini mencakup beberapa referensi yang telah dievaluasi dalam rangka pembuatan penelitian. Hasil dari tinjauan pustaka dapat dilihat pada **Tabel 2.1.** berikut ini.

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka

No	Judul Penelitian	Penulis	Persamaan dan Perbedaan
1	Optimization Moisture Content Using Fuzzy Logic Based on Programmable Logic Controller (PLC) for Soap Drying Process	Achmad Fathoni, Henry Nasution, Cuk Supriyadi Ali Nandar, 2023	Persamaan dengan jurnal ini adalah sama menggunakan Fuzzy Logic untuk kontrol <i>Heat Exchanger</i> , sama menggunakan variabel output persentase bukaan valve, dan sama menggunakan PLC Allen Bradley <i>Compact</i> . Perbedaan dengan jurnal ini adalah menggunakan variabel input <i>Pressure</i> saja, menggunakan <i>Fuzzy Logic Control</i> metode <i>Mamdani</i> , dan belum menggunakan PLC Weidmuller UControl M4000 sebagai PLC IoT.
2	Implementation of <i>Fuzzy Logic Controllers</i> on Laboratory System of <i>Heat Exchangers</i>	Diana Dzurkov', Monika Bakov'a, Anna Vasi'kaninov'a, 2023	Persamaan dengan jurnal ini adalah sama menggunakan <i>Fuzzy Logic Control</i> metode sugeno, menggunakan 2 input e dan de. Perbedaan dengan jurnal ini adalah menggunakan PID untuk optimalisasi Fuzzy.

3	<i>Optimal FLC-Sugeno Controller based on PSO for an Active Damping System</i>	Hoang Viet Nguyen, Feiqi Deng, Tien Duy Nguyen, 2024	Persamaan dengan jurnal ini adalah sama menggunakan metode kontrol Fuzzy Logic Sugeno orde 0. Perbedaan dengan jurnal ini adalah menggunakan PSO untuk lanjutan fuzzy-nya.
4	<i>Whale optimization algorithm-based Sugeno fuzzy logic Controller for Fault ride-through improvement of Grid-connected variable speed wind generators</i>	Mohammed H. Qaisa, Hany M. Hasaniens, Saad Alghuwainema, 2020	Persamaan dengan jurnal ini adalah sama menggunakan metode kontrol Fuzzy Logic Sugeno orde 0. Perbedaan dengan jurnal ini adalah menggunakan masukan 2 variabel yang berbeda, bukan <i>error</i> dan <i>delta error</i> .
5	<i>Event-driven Fuzzy Inference System Implementation in Node-RED</i>	Jozsef Kopjak, Gergely Sebestyen, 2019	Persamaan dengan jurnal ini adalah sama menggunakan metode kontrol Fuzzy Logic Sugeno orde 0, mengaplikasikan <i>Fuzzy Logic Control</i> nya pada Node-RED. Perbedaan dengan jurnal ini adalah jumlah <i>Rules</i> yang digunakan.

Berdasarkan penelitian terdahulu, *Fuzzy Logic Control* telah banyak diterapkan pada sistem Heat Exchanger dan proses pengeringan sabun. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa *Fuzzy Logic Control* mampu menghasilkan respons kontrol yang lebih stabil dan dapat digunakan untuk mengurangi deviasi terhadap *set point*. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada simulasi, sistem laboratorium, atau implementasi kontrol pada satu controller. Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis melakukan implementasi *Fuzzy Logic Control* metode Sugeno

orde nol berbasis Node-RED pada PLC Weidmuller UControl M4000. Sistem tersebut diintegrasikan dengan PLC Allen Bradley CompactLogix 5380 sebagai controller existing dan SCADA FactoryTalk sebagai interface monitoring. Dengan demikian, penelitian ini memiliki kontribusi pada penerapan *Fuzzy Logic Control* dalam arsitektur kontrol industri yang menggabungkan PLC existing dengan PLC berbasis Industrial *Internet of Things* untuk sistem kontrol *Heat Exchanger* pada *Plant Dryer*.

2.2 Soap Base dan Soap Flake

Dalam proses pembuatan sabun batang, *Raw material* yang digunakan adalah *Soap base*. *Soap base* diproses pengeringan dan pembentukan pada *Plant Dryer* agar menjadi *Soap flake* yang kemudian akan dibentuk menjadi sabun batang.



Gambar 2.1 *Soap base*

Pada **Gambar 2.1** tersebut adalah gambar *Soap base*. *Soap base* merupakan bahan baku dasar sabun yang dihasilkan dari proses saponifikasi, yaitu reaksi antara minyak atau lemak (seperti minyak kelapa, minyak sawit, atau palm kernel oil) dengan alkali kuat berupa natrium hidroksida (NaOH) sehingga menghasilkan garam natrium dari asam lemak (sabun) dan gliserol sebagai produk samping. Dalam proses industri, neat soap yang dihasilkan biasanya masih berada dalam kondisi panas dengan suhu sekitar 80°C dan memiliki kadar air sekitar 30%, sehingga masih

berbentuk massa sabun kental yang kemudian diproses lebih lanjut pada unit *Plant Dryer* untuk menurunkan kadar airnya. Komposisi utama *Soap base* terdiri dari garam natrium asam lemak sebagai bahan aktif pembersih, air, sisa gliserol, serta sejumlah kecil impuritas seperti free alkali (NaOH bebas) sekitar 0,05–0,10% dan natrium klorida (NaCl) maksimum 0,7% yang berasal dari proses pemurnian sabun.



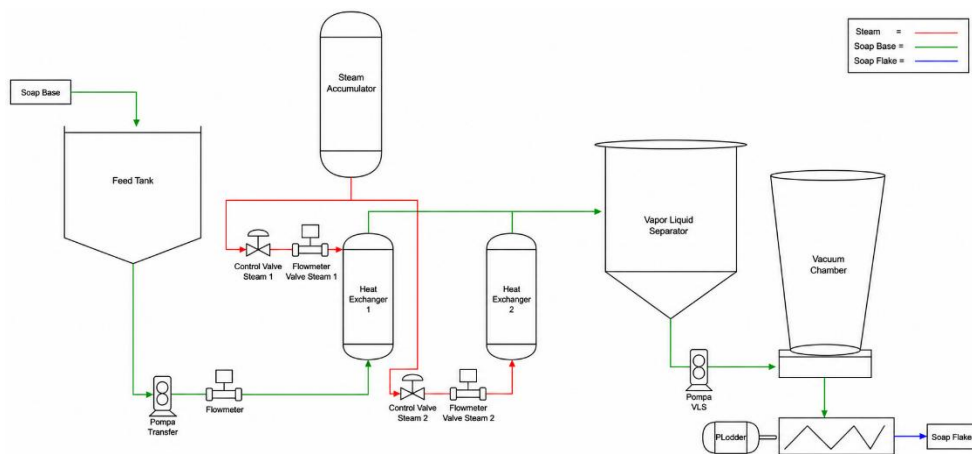
Gambar 2. 2 *Soap flake*

Pada **Gambar 2.2** tersebut adalah gambar *Soap flake*. Pada unit *Plant Dryer*, *soap flake* diproses melalui tahap pengeringan untuk mengurangi kadar air dari sekitar 30% menjadi sekitar 18,5–19,5% sehingga terbentuk produk berupa *Soap flake*. Proses pengeringan ini bertujuan untuk menghasilkan serpihan sabun dengan kadar air yang lebih rendah dan stabil sehingga memudahkan proses penanganan, penyimpanan, serta tahap formulasi selanjutnya dalam pembuatan produk sabun. *Soap flake* yang dihasilkan memiliki tekstur lebih kering dan ringan dibandingkan neat soap, sehingga lebih mudah dalam proses pembentukannya menjadi sabun batang. Data kadar air *Soap Base* dan *Soap Flake* pada penelitian ini mengacu pada standar proses internal *Plant Dryer* perusahaan.

2.3 *Plant Dryer*

Plant Dryer adalah plant yang memiliki fungsi utama mengubah *Soap base* menjadi *Soap flake* dengan cara menurunkan kadar airnya kemudian

dibentuk menjadi potongan silinder kecil. Pada *Plant Dryer* terdapat beberapa mesin produksi yaitu *Feed tank*, *Heat Exchanger*, *Vapor liquid separator*, *Vacuum chamber*, dan *Plodder*. Setiap mesin produksi memiliki tugasnya masing-masing dan alurnya berurutan. Untuk kontrolnya sendiri sudah menggunakan *Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)*. Gambar *Plant Dryer* terdapat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 *Plant Dryer*

Feed tank berfungsi untuk menampung dan menjaga suhu *Raw material Soap base* yang kemudian dialirkan ke *Heat Exchanger* melalui pompa dengan kecepatan 5.000 – 11.000 Kg/H. *Feed tank* terdiri dari tangki penyimpanan silo berbentuk tabung dengan kapasitas 2.000 Ton, Pompa transfer atau pengisian *Feed tank*, pompa feed out atau pendistribusi *Raw material* dan pemanas di bagian dinding luar untuk menjaga suhu *Raw material Soap base*. *Raw material Soap base* yang disimpan dalam *Feed tank* memiliki suhu 80 °C dan kadar air 30%.

Heat Exchanger berfungsi untuk memanaskan *Soap base* dari *Feed tank* dengan menggunakan cairan *Steam* jenuh ideal yang temperature saturationnya tergantung tekanannya saat dikeluarkan. *Heat Exchanger* terdiri dari 2 tabung yang berisi pipa *Tube* dan *Shell*, pipa *Tube* yang nanti diisi oleh *Soap base* dan *Shell* yang dialiri oleh *Steam*. Tabung pertama berfungsi untuk menaikkan suhu *Soap base* dari 80 °C menjadi 140 °C dan

tabung kedua berfungsi untuk meningkatkan tekanan uap sehingga tekanan uap dapat mengalir ke proses berikutnya dengan tekanan 1 – 1,5 bar. Pada tabung pertama tekanan maksimalnya 5 bar dan suhu maksimalnya 150 °C sedangkan pada tabung kedua tekanan maksimalnya 5 bar dan suhu maksimalnya 136 °C.

Vapor liquid separator berfungsi untuk memisahkan uap dengan soap menggunakan level dan tekanan, tujuannya untuk memaksimalkan kapasitas *Vacuum chamber* sehingga hanya soap saja yang mengisi. *Vapor liquid separator* terdiri dari tangki penyimpanan berbentuk tabung, pompa untuk menyedot uap dan pompa outlet untuk mengalirkan soap. Tekanan maksimal yang masuk ke tangki sebesar 1,5 bar dan level maksimal dari soap yang masuk 15%.

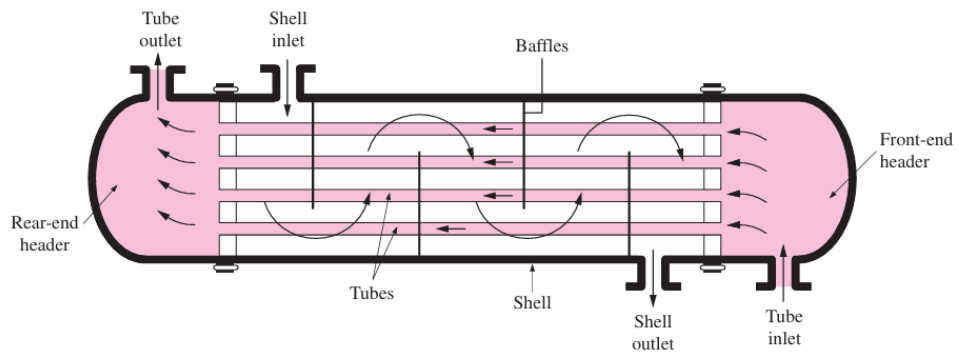
Vacuum chamber berfungsi untuk menurunkan kadar air soap dengan cara menarik uap panas soap yang sudah dipanaskan. Pada saat masuk *Vacuum chamber*, soap yang sudah dipanaskan kemudian disemprotkan sehingga uap bisa tertarik *Vacuum* dan material sabun bisa menempel di dinding chamber. Kemudian *Scraper blade* dalam chamber akan mengeruk material pada dinding chamber lalu jatuh ke dalam *Plodder* yang kemudian akan dibentuk menjadi *Soap flake*. Soap yang dihasilkan setelah proses *Vacuum chamber* bersuhu 48 °C dan memiliki kadar air 18,5 – 19,5 %.

Plodder berfungsi untuk memadatkan dan mencetak soap sehingga menjadi *Soap flake*. Soap yang turun dari *Vacuum chamber* akan memasuki *Plodder* yang di dalamnya ada screw yang berfungsi menggiling dan memadatkan sabun. Di dalam *Plodder* juga terdapat dinding atau barrel yang dialirkan air chiller untuk mendinginkan soap chip. Sabun akan keluar melalui plat orifice dalam bentuk pellet atau chip. Terdapat motor dan *Gearbox* untuk menggerakkan dua screw, dua screw digunakan untuk memadatkan dan mencetak soap chip.

Silo berfungsi untuk menyimpan sementara *Soap flake* yang dihasilkan. *Soap flake* nantinya akan dilanjutkan pada mesin pencetak sabun batang pada proses selanjutnya.

2.4 Heat Exchanger

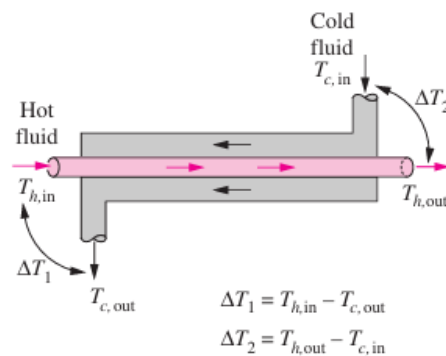
Heat Exchanger pada *Plant Dryer* ini menggunakan *Heat Exchanger* tipe *Double tubes counter flow heat Exchanger*, yaitu *Heat Exchanger* yang memiliki 2 inlet (*Tube* dan *Shell*) dan 2 outlet (*Tube* dan *Shell*) dengan arah aliran yang berlawanan arah [7]. Gambar *Double tubes counter flow heat Exchanger* terlihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 *Heat Exchanger Double Tubes Counter flow*

Sumber: [7]

Heat Exchanger yang digunakan adalah *double Tubes Counter flow* maka rumus yang digunakan terlihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Sistem *Heat Exchanger Double Tubes Counter flow*

Sumber: [7]

Berdasarkan pada **Gambar 2.4** tersebut dihasilkan persamaan perubahan suhu pada *Heat Exchanger*. Persamaan perubahan suhu pada *Heat Exchanger*

$$\begin{aligned}\Delta T_1 &= T_{h,in} - T_{c,out} \\ \Delta T_2 &= T_{h,out} - T_{c,in}\end{aligned}\tag{2.1}$$

Keterangan

ΔT_1 = Perubahan *Temperature* di ujung 1

ΔT_2 = Perubahan *Temperature* di ujung 2

$T_{h,in}$ = *Temperature* pemanas saat masuk

$T_{h,out}$ = *Temperature* pemanas saat keluar

$T_{c,in}$ = *Temperature* yang dipanaskan saat masuk

$T_{c,out}$ = *Temperature* yang dipanaskan saat keluar

Pada *Heat Exchanger Steam* jenuh mengembun, temperatur dianggap konstan sepanjang alat karena terjadi *phase change* maka rumus perpindahan panasnya dapat menggunakan rumus pendekatan metode *Log Mean Temperature Difference (LMTD)*. Berdasarkan rumus pendekatan metode *Log Mean Temperature Difference (LMTD)* yaitu

$$Q = UA \Delta T_{lm}\tag{2.2}$$

Dimana

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)}\tag{2.3}$$

Keterangan

Q = Laju Perpindahan Panas (W)

U = Koefisien Heat Transfer ($\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$)

A = Luas Perpindahan Panas (m^2)

ΔT_{lm} = *Log Mean Temperature Difference* (°C)

Pada *Heat Exchanger*, *Steam* yang digunakan adalah *Steam* jenuh maka *Temperature* dari *Steam* ditentukan oleh tekanannya. Pada **Tabel 2.2** adalah data saturasi *Steam*

Tabel 2. 2 Data Steam Jenuh

Tekanan <i>Steam</i> Absolute (bar)	Tekanan <i>Steam</i> (bar)	<i>Temperature</i> Saturation (°C)
2	1	120,2
3	2	133,5
4	3	143,6
5	4	151,9
6	5	158,8

Menurut data pada **Tabel 2.2** tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan *Steam* maka semakin tinggi juga *Temperature* saturation yang dihasilkan [8]. Karena *Steam* digunakan untuk memanaskan *Soap base* yang termasuk *Heavy oil* maka *Overall heat transfer* nya yaitu $180 \text{ W/m}^2\text{°C}$.



Gambar 2. 6 *Heat Exchanger*

Pada **Gambar 2.6** tersebut adalah gambar *Heat Exchanger*. *Heat Exchanger* memiliki spesifikasi jumlah *Tube*-nya (N) 250 dan diameter luar *Tube*-nya

(D_o) adalah 0,019 meter serta panjang *Tube*-nya (L) adalah 5 meter. *Heat Exchanger* menerima masukan *Soap base* dari pompa transfer *Feed tank* yang memiliki laju aliran 0 – 11.000 Kg/j

Setelah diketahui spesifikasi *Heat Exchanger* maka dicari luas perpindahan panas nya menggunakan rumus pada persamaan

$$A = N\pi D_o L \quad (2.4)$$

Keterangan

A = Luas perpindahan panas (m^2)

N = Jumlah *Tube*

π = 3,14

D_o = Diameter luar *Tube* (m)

L = Panjang *Tube* (m)

Hukum pertama termodinamika mensyaratkan bahwa laju transfer panas dari fluida panas harus sama dengan laju transfer panas ke fluida dingin , maka didapatkan persamaan pada persamaan 2.5.

$$Q = mc_p \Delta T \quad (2.5)$$

Keterangan :

Q = Laju Perpindahan Panas (W)

m = Laju aliran masa (Kg/s)

c_p = Kapasitas panas spesifik (J/Kg°C)

ΔT = Perubahan panas (°C)

Heat Exchanger digunakan untuk memanaskan *Raw material Soap base* menggunakan *Steam* jenuh. Laju aliran *Raw material* divariasikan, maka berapa *Pressure* atau *Temperature* yang dibutuhkan untuk mencapai *Temperature*

Soap base yang diinginkan? Maka rumus yang digunakan untuk menentukan *Set point Pressure* atau *Temperature* terdapat pada persamaan Persamaan *Heat Exchanger*

$$Q = UA \Delta T_{lm}$$

Substitusi LMTD

$$Q = \frac{U A (\Delta T_2 - \Delta T_1)}{lm \left(\frac{T_h - T_{c \text{ in}}}{T_h - T_{c \text{ out}}} \right)} \quad (2.6)$$

2.5 PLC Allen Bradley *CompactLogix* 5380

PLC Allen Bradley 5380 merupakan *Controller* dari seri *CompactLogix* 5380 yang digunakan sebagai pusat pengendali pada sistem otomasi industri. PLC ini dirancang untuk aplikasi kontrol mesin maupun proses yang membutuhkan performa tinggi, komunikasi cepat, serta integrasi jaringan berbasis *EtherNet/IP*. Produk ini termasuk dalam kategori *Compact 5000 I/O* dan berstatus aktif (*Active*) [9]. Gambar PLC Allen Bradley *CompactLogix* 5380 terdapat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2. 7 PLC Allen Bradley *CompactLogix* 5380

Sumber: [9]

Dari sisi *hardware*, PLC 5069-L320ER menggunakan *Processor Quad Core* yang memungkinkan eksekusi logika kontrol secara cepat dan stabil.

Dengan dukungan prosesor multicore tersebut, PLC mampu menjalankan program yang kompleks, menangani komunikasi jaringan, serta melakukan pengolahan data secara bersamaan (*Multitasking*).

Untuk komunikasi dan konektivitas, PLC ini dilengkapi dengan 2 port *Ethernet* berkecepatan 1 *Gigabit* serta 1 port USB untuk kebutuhan konfigurasi dan pemrograman. Kedua port *Ethernet* tersebut mendukung komunikasi *EtherNet/IP* dan dapat digunakan untuk integrasi dengan HMI, SCADA, maupun perangkat I/O terdistribusi. Spesifikasi isolasi pada port *Ethernet* adalah 300 V (continuous) dan tidak terdapat isolasi antar port

Dari sisi catu daya, PLC ini mendukung tegangan suplai MOD Power sebesar 18–32 V DC serta SA Power 0–32 V DC dan dapat digunakan hingga 240 V AC (47–63 Hz) sesuai konfigurasi sistem. Hal ini memberikan fleksibilitas dalam perancangan panel kontrol dan distribusi daya pada sistem otomasi.

Secara mekanik, dimensi *Controller* ini memiliki tinggi 123 mm dan kedalaman 136,81 mm sehingga dirancang untuk dipasang pada sistem modular *Compact 5000 I/O*. PLC ini bekerja bersama modul-modul digital dan analog dari seri 5069 yang mencakup input dan output digital, analog, maupun modul khusus sesuai kebutuhan aplikasi

Secara sistem, *CompactLogix 5380* dirancang untuk mendukung arsitektur I/O modular dengan berbagai pilihan modul pada platform *Compact 5000*, sehingga dapat digunakan pada sistem otomasi skala menengah hingga besar

Dengan kombinasi prosesor Quad Core, komunikasi *Gigabit EtherNet/IP*, serta dukungan *Modular I/O* yang luas, PLC 5069-L320ER mampu memberikan performa kontrol yang cepat, stabil, dan terintegrasi dalam sistem industri modern. Spesifikasi PLC Allen Bradley *CompactLogix 5380* terdapat pada **Tabel 2.3**

Tabel 2. 3 Spesifikasi PLC *Allen Bradley CompactLogix 5380*

Spesifikasi PLC Allen Bradley <i>CompactLogix 5380</i>	
Processor	Quad Core
<i>Ethernet</i>	2 port, speed 2 Gbps
USB	1 port
Tegangan Input	MOD Power 18–32 V DC, SA Power 0–32 V DC dan 240 V AC (47–63 Hz)
Dimensi	123 mm x 136,81 mm

Dalam sistem *Heat Exchanger* ini, PLC Allen Bradley *CompactLogix 5380* berfungsi untuk kontroller utama atau pemrosesan utama sistem yaitu membaca nilai sensor, mengatur aktuator, dan berkomunikasi dengan perangkat lainnya menggunakan *Ethernet*. PLC tersebut membaca nilai sensor *Pressure* atau sensor *Temperature* yang kemudian dibaca oleh PLC Weidmuller untuk diolah dalam FLC nya, selanjutnya PLC Allen Bradley mengatur persentase bukaan valve berdasarkan output fuzzy yang dikirim PLC Weidmuller.

2.6 *Compact I/O Allen Bradley 5069-IF8*

5069-IF8 adalah modul *Analog input* pada sistem *Compact 5000 I/O* yang memiliki fungsi utama membaca sinyal analog berupa arus dan tegangan dari *Field device* seperti *Pressure transmitter*, *Level transmitter*, *Flow transmitter*, dan sensor analog lainnya [10]. Modul ini digunakan bersama *CompactLogix 5380* atau melalui adapter *EtherNet/IP* dan bekerja dengan mengubah sinyal analog menjadi data digital yang kemudian dikirim ke *Controller* melalui *Backplane* untuk diproses lebih lanjut.



Gambar 2. 8 Allen Bradley *Compact I/O 5069-IF8*

Sumber: [10]

Pada **Gambar 2.8** adalah 2.6 *Compact I/O* Allen Bradley 5069-IF8. 5069-IF8 terdiri dari 8 channel input, dimana Series A bertipe *Differential* dan Series B bertipe *Single-ended*. Setiap channel dapat dikonfigurasi secara individual melalui Studio 5000 sesuai tipe device yang digunakan. Modul ini mendukung perangkat 2-wire, 3-wire, dan 4-wire analog device serta dapat digunakan dalam mode *Current*, *Voltage*, maupun kombinasi *Current* dan *Voltage* dalam satu modul. Range tegangan yang dapat dibaca adalah $\pm 10V$, 0–10V, dan 0–5V, sedangkan range arus yang didukung adalah 0–20 mA dan 4–20 mA.

Dalam pengoperasiannya, modul menggunakan MOD power sebesar 75 mA pada 18–32V DC dan SA power sebesar 100 mA pada 18–32V DC, dengan batas maksimum arus passthrough sebesar 10 A. Secara internal, sinyal yang masuk akan melewati rangkaian *Signal conditioning* kemudian dikonversi menggunakan metode *Sigma-Delta 24-bit ADC multiplexed* sehingga menghasilkan pembacaan dengan resolusi tinggi. Waktu scan modul adalah 625 μs per channel dan 2,5 ms per group channel sehingga modul mampu membaca perubahan sinyal dengan cepat.

Dari sisi performa, akurasi kalibrasi pada suhu 25°C adalah 0,10% *Full scale* untuk mode tegangan maupun arus, dengan Total Unadjusted *Error*

sebesar 0,30% *Full scale* untuk tegangan dan 0,40% *Full scale* untuk arus. Modul ini juga memiliki proteksi *Overvoltage* hingga $\pm 30\text{V DC}$ dan *Overcurrent* hingga $\pm 30\text{ mA}$ pada mode *Current* serta dilengkapi fitur *Open circuit detection* untuk mendeteksi kondisi kabel putus. Dengan spesifikasi tersebut, 5069-IF8 digunakan untuk aplikasi proses industri yang membutuhkan pembacaan sinyal analog yang stabil, presisi, dan responsif dalam sistem kontrol berbasis *CompactLogix*. Spesifikasi 2.5 *Compact I/O* Allen Bradley 5069-IF8 terlihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2. 4 Spesifikasi *Compact I/O* Allen Bradley 5069-IF8

Spesifikasi <i>Compact I/O</i> Allen Bradley 5069-IF8	
Jumlah Channel	8 Channel
Tipe Input	Tegangan dan Arus
Range Tegangan	0 – 10 V, 0 – 5 V
Range Arus	4 – 20 mA
Resolusi ADC	24 – bit – Sigma - Delta
<i>Scan time</i>	625 μs per channel
Akurasi (25 C)	$\pm 0,10\%$ <i>Full scale</i>

Dalam sistem *Heat Exchanger*, *Compact I/O* ini digunakan untuk menerima nilai transmitter sensor yang kemudian dibaca oleh PLC Allen Bradley dan meneruskan perintah dari PLC Allen Bradley untuk menggerakkan aktuator.

2.7 PLC *Weidmuller UControl M4000*

PLC Weidmüller u-control M4000 (UC20-M4000) merupakan sebuah *Controller* berbasis *CODESYS* yang digunakan sebagai pusat pengendali sistem otomasi industri. PLC ini dirancang untuk menangani proses kontrol sekaligus pemrosesan data tingkat lanjut (*Edge computing*) dan dapat diintegrasikan langsung dengan sistem *Industrial IoT* (IIoT). u-control M4000 bekerja menggunakan sistem operasi *u-OS* dan memiliki

perlindungan IP20 untuk penggunaan di dalam panel control [11]. Gambar PLC Weidmuller UControl M4000 terdapat pada **Gambar 2.9**.

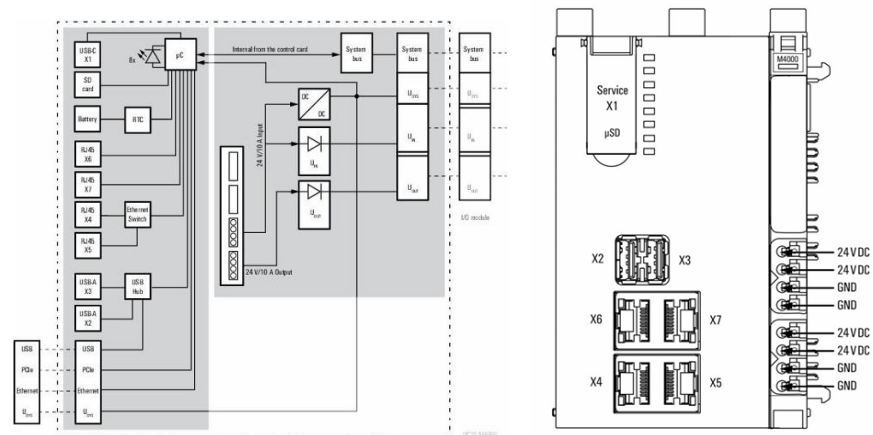


Gambar 2.9 PLC Weidmuller UControl M4000

Sumber: [11]

Dari sisi *hardware*, PLC ini menggunakan *Processor Quad Core ARM Cortex-A53* dengan kecepatan 1.200 MHz, sehingga mampu menjalankan logika kontrol yang kompleks dan *Multitasking*. PLC ini memiliki memori program sebesar 4 GB, user data memory 16 GB (eMMC), serta flash memory 16 GB, yang memungkinkan penyimpanan program, data proses, dan aplikasi tambahan dalam jumlah besar. Selain itu, PLC ini juga dilengkapi *Real-time clock (RTC)* dengan baterai, sehingga data waktu tetap tersimpan meskipun catu daya terputus.

Untuk komunikasi dan konektivitas, u-control M4000 dilengkapi dengan 4 port *Ethernet RJ45* berkecepatan 1 Gbps yang dapat digunakan untuk komunikasi jaringan industri maupun sistem monitoring. PLC ini mendukung protokol *PROFINET* dan *EtherNet/IP*, sehingga dapat diintegrasikan dengan berbagai perangkat otomasi dan SCADA. Selain *Ethernet*, tersedia 2 port USB-A (host), 1 port USB-C sebagai *interface* konfigurasi, serta slot *MicroSD Card* untuk ekspANSI memori dan konfigurasi sistem. Gambar arsitektur PLC Weidmuller UControl M4000 terdapat pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2. 10 Arsitektur PLC *Weidmuller UControl M4000*

Sumber: [11]

Pada **Gambar 2.10** adalah arsitektur PLC *Weidmuller UControl M4000*. PLC u-control M4000 bekerja dengan tegangan suplai 24 V DC (+20% / -15%). Arus konsumsi sistem tipikal sebesar 116 mA, dan PLC ini mendukung arus feed hingga 10 A untuk jalur input (IIN) maupun output (IOUT). Sistem koneksi kabel menggunakan tipe *PUSH IN*, dengan ukuran kabel hingga 1,5 mm², sehingga memudahkan instalasi di panel.

Dari sisi mekanik dan lingkungan kerja, PLC ini dipasang pada *DIN rail* TS 35 dengan orientasi horizontal atau vertikal. Dimensi PLC adalah lebar 80 mm, tinggi 120 mm, dan kedalaman 101 mm, dengan berat sekitar 604 gram. PLC ini dirancang untuk lingkungan industri dengan rentang suhu operasi -40 hingga 70 °C, kelembapan 10–95% *Non-condensing*, serta ketinggian operasi hingga 3.000 meter tergantung posisi pemasangan.

Secara sistem, u-control M4000 mendukung hingga 64 modul ekspANSI, sehingga dapat digunakan pada sistem otomasi berskala menengah hingga besar. PLC ini juga memiliki MTBF sekitar 28 tahun, yang menunjukkan tingkat keandalan tinggi untuk operasi jangka panjang di industri. Spesifikasi PLC *Weidmuller UControl M4000* terlihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2. 5 Spesifikasi PLC *Weidmuller UControl M4000*

Spesifikasi PLC <i>Weidmuller UControl M4000</i>	
Sistem Operasi	<i>u-OS</i>
Processor	Quad Core ARM Cortex-A53
Kecepatan Processor	1200 MHz
Program Memory	4 GB
User Data Memory	16 GB eMMC
Flash Memory	16 GB
<i>Ethernet</i>	4 × <i>RJ45</i> (1 Gbps)
Protokol Komunikasi	<i>PROFINET, EtherNet/IP</i>
USB Port	2 × USB-A (Host), 1 × USB-C
Tegangan <i>Supply</i>	24 VDC
Dimensi	80 × 120 × 101 mm

Dalam sistem *Heat Exchanger*, PLC Weidmuller berfungsi untuk tempat beroperasinya Node-RED yaitu membaca nilai *Tag-Tag* pada PLC Allen Bradley yang kemudian melakukan proses *Parsing, SubFlow* FLC Sugeno orde 0 untuk pengolahan input dan mengatur output valve *Steam* dengan mengsetValue pada *Tag* PLC Allen Bradley.

2.8 Sensor *Temperature* United Head UT-9002

RTD & TC Temperature Sensor UT-9002 merupakan sensor suhu yang berfungsi untuk mengukur temperatur proses dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh sistem kontrol seperti PLC, DCS, atau *Temperature Controller*. Sensor ini digunakan pada berbagai aplikasi industri yang membutuhkan pengukuran suhu secara akurat dan stabil, baik di area indoor maupun outdoor [12]. Gambar Sensor *Temperature* United Head UT-9002 terlihat pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2. 11 Sensor *Temperature* United Head UT-9002

Sumber: [12]

Tipe sensor yang digunakan pada UT-9002 adalah *RTD PT100 (Simplex 3 Wire)*. Elemen sensing menggunakan *Thin film type*, di mana perubahan suhu akan menyebabkan perubahan resistansi pada elemen PT100. Konfigurasi 3 wire digunakan untuk mengurangi pengaruh resistansi kabel sehingga hasil pengukuran lebih akurat dibandingkan konfigurasi 2 wire. Selain RTD, sensor ini juga tersedia dalam opsi *Thermocouple (TC)* sesuai kebutuhan aplikasi.

Sensor ini memiliki akurasi $\pm 0,5\%$ untuk *Class A*, sehingga cocok digunakan pada proses yang membutuhkan ketelitian pengukuran suhu yang cukup tinggi. Rentang pengukuran suhu berada pada -50 hingga 300 °C, dengan suhu operasi yang direkomendasikan berada di kisaran 0 hingga 200 °C sesuai spesifikasi sensor.

Dari sisi konstruksi mekanik, UT-9002 menggunakan sheath berbahan *Stainless steel SS316* dengan diameter luar 4 mm. Panjang sheath dapat disesuaikan mulai dari 5 mm hingga 5000 mm, sehingga fleksibel untuk berbagai kedalaman dan posisi pemasangan pada proses. Proses penyambungan menggunakan *Argon arc welding*, yang memberikan kekuatan mekanis dan ketahanan terhadap kebocoran.

Untuk isolasi internal, sensor ini menggunakan *Magnesium Oxide (MgO)* powder sebagai material isolasi antara elemen sensor dan sheath. Material ini berfungsi untuk menjaga stabilitas sinyal, meningkatkan ketahanan temperatur, serta melindungi elemen sensor dari getaran dan kondisi lingkungan proses.

Bagian head sensor tersedia dalam opsi *Flame proof* maupun *Weather proof* sesuai permintaan. Enclosure sensor memiliki tingkat perlindungan IP65/IP67, sehingga tahan terhadap debu dan air dan cocok digunakan di lingkungan industri. Terminal sensor dilengkapi dengan kabel teflon 3 core dengan panjang 1 atau 2 meter, yang tahan terhadap suhu dan kondisi lingkungan kerja.

Sensor UT-9002 dirancang untuk *Direct mount* pada process atau solution, dengan tekanan operasi pada kondisi *Ambient*, sehingga umum digunakan pada tangki, pipa, maupun peralatan proses lainnya yang tidak memiliki tekanan tinggi. Spesifikasi Sensor *Temperature United Head UT-9002* terlihat pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2. 6 Spesifikasi Sensor *Temperature United Head UT-9002*

Spesifikasi Sensor <i>Temperature United Head UT-9002</i>	
Jenis sensor	RTD / <i>Thermocouple Temperature Sensor</i>
Elemen sensor	<i>RTD PT100 (Simplex 3 Wire)</i>
Akurasi	$\pm 0,5\%$ (<i>Class A</i>)
Rentang Pengukuran Suhu	-50 hingga 300 °C
Material Sheath	<i>Stainless steel SS316</i>

Dalam sistem *Heat Exchanger*, sensor *Temperature United Head UT-9002* berfungsi untuk membaca suhu *Steam* pada *Heat Exchanger*. yang kemudian pembacaan suhu tersebut digunakan untuk masukan FLC.

2.9 Pressure transmitter SPT301/302

Pressure transmitter merupakan perangkat instrumentasi yang berfungsi untuk mengukur besaran tekanan fluida baik berupa gas maupun cairan, kemudian mengubah nilai tekanan tersebut menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh sistem kontrol. Pada sistem otomasi industri, *Pressure transmitter* digunakan untuk memonitor tekanan pada pipa, tangki, maupun peralatan proses sehingga kondisi sistem dapat diketahui secara real-time. Sinyal keluaran dari *Pressure transmitter* biasanya berupa sinyal analog standar industri seperti 4–20 mA atau sinyal tegangan yang kemudian dikirimkan ke PLC, sistem SCADA, maupun perangkat monitoring lainnya. Salah satu contoh perangkat yang digunakan dalam sistem instrumentasi adalah *Pressure transmitter* tipe SPT301/302 [13]. *Digital pressure transmitter* tipe SPT301/302 seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2. 12 *Pressure transmitter* SPT301/302

Sumber: [13]

Pressure transmitter SPT301/302 merupakan perangkat pengukur tekanan digital yang dilengkapi dengan tampilan *Display* untuk memudahkan proses monitoring secara langsung di lapangan. Perangkat ini menggunakan teknologi *Diffused Silicon Core* yang memiliki tingkat sensitivitas tinggi dalam mendeteksi perubahan tekanan. Teknologi ini memungkinkan sensor untuk menghasilkan pengukuran yang stabil, presisi, serta memiliki respons yang cepat terhadap perubahan tekanan fluida dalam

sistem. *Pressure transmitter* ini tersedia dalam dua jenis tampilan yaitu LCD *Display* dan LED *Display* yang menampilkan nilai tekanan secara digital sehingga memudahkan operator dalam membaca nilai pengukuran.

Pressure transmitter SPT301/302 memiliki tingkat akurasi pengukuran sebesar 0,2 – 0,4 % dari *Full scale*, sehingga mampu memberikan hasil pengukuran yang cukup presisi untuk aplikasi industri. Perangkat ini mendukung berbagai satuan pengukuran tekanan yang dapat dipilih sesuai kebutuhan sistem. Rentang pengukuran tekanan yang dimiliki cukup luas yaitu mulai dari -1 bar hingga 1000 bar, sehingga dapat digunakan pada berbagai jenis aplikasi industri seperti sistem pneumatik, hidrolis, maupun sistem proses lainnya. Selain itu perangkat ini dirancang mampu menahan tekanan berlebih hingga 150% dari tekanan maksimum, sehingga memberikan perlindungan tambahan terhadap kerusakan akibat lonjakan tekanan.

Dari sisi konstruksi, bagian yang bersentuhan langsung dengan fluida menggunakan material *Stainless steel 316*, yang memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi serta cocok digunakan pada berbagai kondisi lingkungan industri. *Pressure transmitter* ini juga memiliki tingkat perlindungan IP65, yang menunjukkan bahwa perangkat memiliki ketahanan terhadap debu serta percikan air sehingga aman digunakan di dalam panel maupun di area industri terbuka. Perangkat ini dirancang untuk dapat bekerja pada rentang suhu operasional -40°C hingga $+150^{\circ}\text{C}$, sehingga mampu beroperasi pada kondisi lingkungan industri yang cukup ekstrem.

SPT301/302 menggunakan catu daya sebesar 12 – 30 VDC dengan sinyal keluaran standar 4 – 20 mA yang umum digunakan dalam sistem instrumentasi industri. Sinyal analog tersebut merepresentasikan nilai tekanan yang terukur secara proporsional, dimana nilai 4 mA menunjukkan tekanan minimum dan 20 mA menunjukkan tekanan maksimum pada rentang pengukuran yang telah dikonfigurasi. Selain itu perangkat ini memiliki stabilitas jangka panjang sebesar $\pm 0,2\%$ *Full scale* per tahun, yang

menunjukkan bahwa perubahan akurasi pengukuran dalam jangka waktu penggunaan relatif kecil sehingga perangkat tetap dapat memberikan hasil pengukuran yang konsisten.

Pressure transmitter SPT301/302 bekerja dengan prinsip sensor tekanan berbasis difusi silikon. Tekanan fluida yang masuk akan memberikan gaya pada diafragma sensor sehingga menyebabkan perubahan resistansi pada elemen sensor *Piezoresistive*. Perubahan resistansi tersebut kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik oleh rangkaian elektronik internal. Sinyal tersebut selanjutnya diproses oleh sistem pengkondisi sinyal dan diubah menjadi sinyal analog 4–20 mA yang proporsional terhadap tekanan yang terukur. Nilai tekanan tersebut juga ditampilkan pada layar *Display* sehingga operator dapat melakukan monitoring tekanan secara langsung pada perangkat. *Pressure transmitter* mampu menghasilkan pengukuran tekanan yang stabil, akurat, dan dapat diandalkan dalam berbagai aplikasi otomasi industri. Spesifikasi *Pressure transmitter* SPT301/302 terdapat pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2. 7 Spesifikasi *Pressure transmitter* SPT301/302

Spesifikasi <i>Pressure transmitter</i> SPT301/302	
Jenis Perangkat	<i>Digital pressure transmitter</i>
Teknologi Sensor	<i>Diffused Silicon Core (Piezoresistive)</i>
Akurasi	$\pm 0,2 - 0,4$ % <i>Full scale</i>
Rentang Pengukuran	-1 bar hingga 1000 bar
<i>Overpressure protection</i>	Hingga 150% dari tekanan maksimum
Sinyal Output	4 – 20 mA
Tegangan <i>Supply</i>	12 – 30 VDC
Suhu Operasi	-40 °C hingga +150 °C
Stabilitas Jangka Panjang	$\pm 0,2$ % <i>Full scale</i> / tahun

Dalam *Heat Exchanger*, *Pressure transmitter* SPT301/302 digunakan untuk membaca laju aliran *Steam* pada valve *Steam* 1 dan valve *Steam* 2.

2.10 *Globe Control valve* Spriano L20-A2

Globe Control valve seri L20-A2 adalah valve yang memiliki fungsi utama untuk mengatur aliran fluida secara kontinu pada sistem proses industri. Valve ini dirancang sebagai *Two-way single Seat globe valve* dengan aliran fluida searah (*Flow guided*) dan digunakan untuk mengontrol fluida seperti *Steam*, air, minyak, serta fluida industri lainnya. Valve ini digunakan pada aplikasi kontrol proses mulai dari kondisi ringan hingga kondisi kerja yang berat [14]. Gambar *Globe Control valve* spriano L20-A2 terdapat pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2. 13 *Globe Control valve* Spriano L20-A2

Sumber: [14]

Cara kerja *Globe Control valve* L20-A2 dimulai dari sinyal kontrol yang dikirim oleh sistem kontrol seperti PLC atau DCS. Sinyal ini diteruskan ke aktuator yang terpasang pada valve, baik aktuator pneumatik maupun elektrik. Aktuator kemudian mengubah sinyal tersebut menjadi gerakan mekanis berupa pergerakan naik-turun pada *Stem valve*. Gerakan stem ini menggerakkan *Plug* (*otturatore*) terhadap *Seat* sehingga bukaan valve

berubah secara bertahap. Perubahan bukaan inilah yang mengatur besar kecilnya aliran fluida yang melewati valve sesuai dengan kebutuhan proses.

Secara konstruksi, L20-A2 merupakan *Top entry globe valve*, yang berarti seluruh komponen internal valve dapat diakses dari bagian atas tanpa harus melepas *Body valve* dari pipa. Valve ini menggunakan *Top guided Plug*, di mana stem dan *Plug* dipandu dari bagian atas untuk menjaga kestabilan gerakan sepanjang stroke valve. Desain ini bertujuan untuk meminimalkan getaran, keausan, serta meningkatkan umur pakai valve, terutama pada aplikasi dengan *Pressure drop* yang tinggi.

Valve seri L20-A2 tersedia dalam ukuran ½ inci hingga 8 inci dengan rating tekanan ANSI *Class 600*. Konstruksi body mengikuti standar ANSI B16.34, dengan sambungan flange ANSI B16.5 Class 600 RF. Dimensi valve mengacu pada standar ANSI / ISA 75.08.01, sehingga mudah diintegrasikan ke dalam sistem perpipaan industri yang sudah ada.

Material *Body valve* standar menggunakan *Carbon steel* ASTM A216 WCC atau *Stainless steel* ASTM A351 CF8M, sementara material trim menggunakan ASTM A182 F316. Kombinasi material ini memberikan ketahanan mekanik dan ketahanan korosi yang baik terhadap berbagai jenis fluida proses. Selain material standar, valve ini juga tersedia dalam berbagai pilihan material khusus seperti *Low temperature carbon steel*, alloy steel, *Stainless steel* khusus, hingga *Nickel alloy* untuk aplikasi tertentu.

Dari sisi karakteristik aliran, *Globe Control valve* L20-A2 tersedia dengan beberapa jenis *Flow characteristic*, yaitu *Quick opening*, *Linear*, dan *Equal percentage*. Karakteristik *Quick opening* umumnya digunakan untuk aplikasi on/off, karakteristik *Linear* digunakan untuk kontrol level dan *Flow*, sedangkan karakteristik *Equal percentage* digunakan pada aplikasi kontrol tekanan atau sistem dengan variasi *Pressure drop* yang besar. Pemilihan karakteristik ini disesuaikan dengan kebutuhan kontrol pada proses.

Valve ini juga dapat dilengkapi dengan berbagai jenis trim seperti *Balanced trim*, *Anti-noise cage*, dan *Anti-cavitation cage*. Trim tersebut berfungsi untuk mengurangi kebisingan, mencegah kavitasi, serta memungkinkan valve bekerja pada kondisi *Pressure drop* yang tinggi tanpa merusak komponen internal. Selain itu, tersedia juga opsi *Soft seat* (Class VI) maupun *Metal seat* (Class IV atau V) sesuai dengan kebutuhan tingkat kebocoran yang diizinkan.

Untuk penggeraknya, L20-A2 dapat menggunakan *Pneumatic diaphragm Actuator*, *Pneumatic piston Actuator*, maupun *Electric Actuator*. Aktuator pneumatik bekerja dengan sinyal tekanan udara standar seperti 3–15 psi atau 6–30 psi, dan dapat dikonfigurasi sebagai *Air to open* atau *Air to close*. Aktuator ini dapat dilengkapi dengan berbagai aksesoris seperti *Positioner*, *I/P converter*, *Position transmitter* 4–20 mA, *Limit Switch*, dan *Lock-up device* untuk meningkatkan performa kontrol dan keselamatan sistem.

Secara keseluruhan, *Globe Control valve* seri L20-A2 merupakan valve kontrol yang dirancang untuk kontrol aliran fluida secara presisi, stabil, dan andal pada sistem proses industri. Dengan desain top entry, pilihan material yang luas, serta fleksibilitas aktuator dan trim, valve ini cocok digunakan pada berbagai aplikasi kontrol proses seperti pengaturan *Flow Steam*, air, dan fluida proses lainnya di industri kimia, petrokimia, energi, dan manufaktur. Spesifikasi *Globe Control valve* Spriano L20-A2 terdapat pada

Tabel 2.8

Tabel 2. 8 *Globe Control valve Spriano L20-A2*

Spesifikasi <i>Globe Control valve</i> Spriano L20-A2	
Jenis Valve	Two-way Single <i>Seat Globe Control valve</i>
Tipe Aliran	<i>Flow guided</i>
Tipe Desain	<i>Top entry globe valve</i>

Spesifikasi <i>Globe Control valve</i> Spriano L20-A2	
Ukuran Valve	4 inch
Material Body	<i>Stainless steel</i> ASTM A351 CF8M
Material Trim	<i>Stainless steel</i> ASTM A182 F316
Jenis Aktuator	Pneumatic Piston
Sinyal Aktuator Pneumatik	3–15 psi atau 6–30 psi
Mode Aktuator	<i>Air to open / Air to close</i>

Pada *Heat Exchanger*, *Globe Control valve* Spriano L20-A2 digunakan untuk mengatur aliran *Steam* yang masuk ke *Shell Heat Exchanger*. Valve dikontrol menggunakan regulator *Pressure* yang menggerakkan *Actuator* pneumatiknya.

2.11 *Pressure Control Air 550 X*

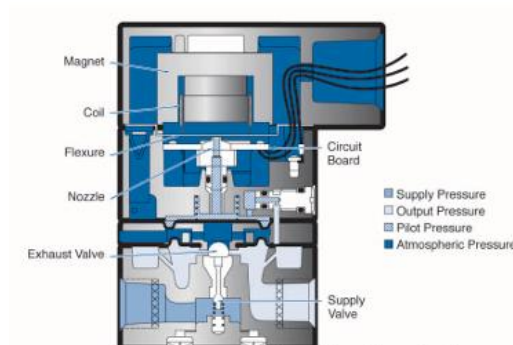
Pressure Control Air Type 550X merupakan *Electronic pressure regulator* yang berfungsi untuk mengubah sinyal listrik berupa arus atau tegangan menjadi output tekanan pneumatik yang proporsional. Perangkat ini umum digunakan sebagai penghubung antara sistem kontrol elektronik (PLC atau DCS) dengan peralatan pneumatik seperti *Control valve*, *Actuator*, dan *Positioner*. Dengan ukuran yang ringkas, Type 550X dirancang untuk aplikasi yang memiliki keterbatasan ruang namun tetap membutuhkan kontrol tekanan yang presisi [15]. Gambar sensor *Pressure control air type 550 X* terdapat pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2. 14 *Pressure Control Air 550 X*

Sumber: [15]

Secara prinsip kerja, Type 550X menggunakan mekanisme *Force balance*. Di dalam unit terdapat sebuah *Coil* yang digantung dalam medan magnet menggunakan *Flexure*. Ketika sinyal input listrik diberikan, arus yang mengalir pada *Coil* akan menghasilkan pergerakan mekanis *Flexure*. Pergerakan ini mendekati *Nozzle* dan menghasilkan *Back pressure* yang kemudian digunakan sebagai sinyal *Pilot* untuk menggerakkan *Booster relay* internal. Perubahan sinyal input akan menghasilkan perubahan tekanan output secara proporsional dan akurat. Gambar Arsitektur *Pressure Control Air 550 X* terdapat pada **Gambar 2.15**.



Gambar 2. 15 Arsitektur *Pressure Control Air 550 X*

Sumber: [15]

Type 550X mendukung beberapa jenis sinyal input, yaitu 4–20 mA serta sinyal tegangan 0–5 VDC, 0–10 VDC, 1–5 VDC, dan 1–9 VDC. Output tekanan pneumatik tersedia dalam beberapa rentang, mulai dari 3–15 psig hingga 0–120 psig, tergantung pada tipe dan konfigurasi unit. Untuk mendukung output tersebut, tekanan *Supply* udara berada pada kisaran 20 hingga 150 psig, sesuai dengan range output yang digunakan.

Perangkat ini dilengkapi dengan integral volume booster yang memungkinkan kapasitas aliran udara yang besar. Kapasitas aliran dapat mencapai hingga 20 SCFM, sehingga respons kontrol menjadi lebih cepat, terutama pada aplikasi yang membutuhkan perubahan tekanan secara dinamis. Konsumsi udara relatif rendah, yaitu sekitar 1,8 hingga 6,0 SCFH pada kondisi tipikal.

Dari sisi performa, Type 550X memiliki tingkat *Linearitas* kurang dari $\pm 0,5\%$ span untuk range standar, serta *Hysteresis* dan *Repeatability* kurang dari $0,5\%$ span, sehingga cocok untuk aplikasi kontrol yang membutuhkan presisi tinggi. Unit ini juga memiliki ketahanan terhadap gangguan elektromagnetik (RFI/EMI) sesuai standar EN 61000-4-3.

Type 550X bekerja menggunakan media udara instrumen yang bersih, kering, dan bebas oli, dengan filtrasi minimum 40 micron. Port pneumatik menggunakan $1/4''$ NPT, sementara koneksi listrik tersedia dalam beberapa opsi seperti $1/2''$ NPT conduit, terminal block, DIN 43650, dan konektor M12, sehingga fleksibel untuk berbagai kebutuhan instalasi .

Untuk pemasangan, perangkat ini mendukung berbagai metode mounting seperti *Wall mounting*, *Panel mounting*, *DIN rail*, *Pipe mounting*, maupun menggunakan manifold Type 925. *Housing* terbuat dari aluminium berlapis epoxy, dengan elastomer Buna-N, sehingga cukup tahan untuk lingkungan industri. Rentang suhu operasi perangkat ini adalah $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan tingkat proteksi hingga NEMA 4X / IP65 pada tipe tertentu.

Selain itu, Type 550X juga tersedia dalam versi *Zero-based*, yang dilengkapi *Negative bias booster relay*, sehingga memungkinkan output tekanan nol (0 psig) namun tetap dapat diperkuat hingga tekanan maksimum 120 psig. Perangkat ini juga telah memiliki berbagai sertifikasi keselamatan, seperti FM, CSA, dan *ATEX* (opsional) untuk penggunaan di area berbahaya. Spesifikasi *Pressure Control Air 550 X* terdapat pada **Tabel 2.9**.

Tabel 2. 9 *Pressure Control Air 550 X*

Spesifikasi <i>Pressure Control Air 550 X</i>	
Jenis Perangkat	<i>Electronic pressure regulator (I/P converter)</i>
Prinsip Kerja	<i>Force balance mechanism</i>

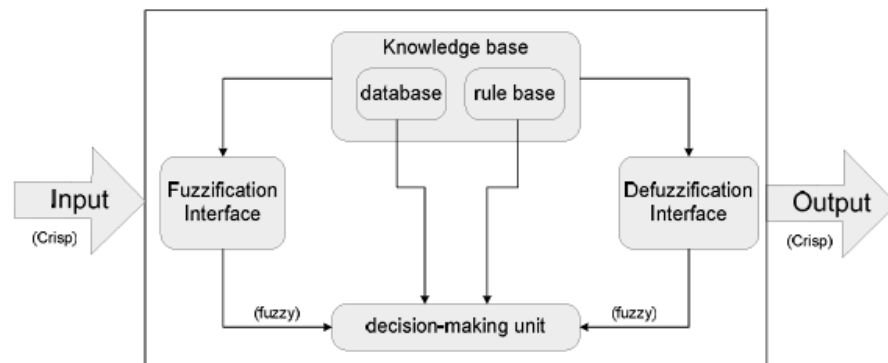
Spesifikasi <i>Pressure Control Air 550 X</i>	
Sinyal Input	4–20 mA, 0–5 VDC, 0–10 VDC, 1–5 VDC, 1–9 VDC
Range Output Tekanan	3–15 psig hingga 0–120 psig
Tekanan <i>Supply</i> Udara	20 – 150 psig
Port Pneumatik	1/4" NPT
Suhu Operasi	–40 °C hingga +70 °C
Material <i>Housing</i>	Aluminium berlapis epoxy

Pada *Heat Exchanger*, *Pressure Control Air 550X* digunakan untuk mengatur aktuator pneumatic dari *Control valve* spriano dengan cara mengubah arus Listrik yang diterima dari Analog Output PLC Allen Bradley menjadi tekanan udara yang masuk ke aktuator pneumatic.

2.12 *Fuzzy Logic Control*

Fuzzy Logic Control (FLC) merupakan salah satu pendekatan kontrol cerdas yang mampu menangani sistem dengan *Nonlinearitas*, ketidakpastian, dan perilaku yang sulit dimodelkan secara matematis. Prinsip dasar kontrol logika fuzzy adalah meniru cara berpikir manusia dalam mengambil keputusan melalui aturan linguistik (*IF–THEN*), sehingga tidak memerlukan model matematis yang kompleks tetapi tetap menghasilkan respons yang adaptif terhadap variasi kondisi sistem. Dalam pengembangan FLC, metode Takagi–Sugeno atau Sugeno menjadi salah satu teknik yang populer karena kemampuannya menghasilkan keluaran numerik secara langsung serta efisiensi komputasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *Mamdani* konvensional. Metode Sugeno sering diterapkan dalam berbagai aplikasi teknik seperti sistem kendali *Robotika*, industri proses, dan pengaturan lalu lintas karena mampu mengakomodasi struktur aturan yang kompleks dan memberikan keluaran yang kontinyu dan stabil.

Metode Sugeno dikembangkan oleh Takagi, Sugeno, dan Kang pada pertengahan 1980-an sebagai varian dari sistem inferensi fuzzy yang memasukkan fungsi matematis pada bagian konsekuen dari aturan FLC. Pada metode ini, setiap aturan fuzzy memiliki bentuk IF (kondisi) THEN (hasil) di mana hasil bukanlah himpunan fuzzy seperti pada *Mamdani*, melainkan berupa konstanta (*Zero-order*) atau fungsi linier dari variabel input (*First-order*). Hal ini memungkinkan keluaran sistem fuzzy dihitung melalui *Weighted average* dari nilai-nilai konsekuen fungsi tersebut tanpa memerlukan proses *defuzzifikasi* yang berat, sehingga lebih cepat dan cocok untuk sistem real-time. Keunggulan ini menjadikan Sugeno sangat efektif untuk sistem yang memerlukan respons cepat di bawah variasi beban atau gangguan [16]. Gambar *Fuzzy Inference System* terdapat pada **Gambar 2.16**.



Gambar 2. 16 *Fuzzy Inference System*

Sumber: [16]

Secara operasional, sistem FLC Sugeno dimulai dari tahap *Fuzzifikasi* yang mengubah variabel input nyata menjadi derajat keanggotaan pada himpunan fuzzy tertentu. Selanjutnya, pada tahap inferensi, aturan fuzzy dievaluasi berdasarkan logika fuzzy yang berlaku, dan derajat keanggotaan setiap aturan kemudian digunakan untuk menghitung nilai keluaran melalui fungsi konsekuen. Karena metode Sugeno menggunakan fungsi linier atau konstanta di bagian keluaran, proses penentuan nilai keluaran menjadi lebih sederhana dan dapat dihitung dengan cepat melalui pemrosesan numerik

langsung, sehingga cocok untuk aplikasi yang memerlukan kecepatan komputasi tinggi. Dengan karakter output yang kontinu dan tidak memerlukan *defuzzifikasi* tradisional, pendekatan ini sering dipilih pada aplikasi kendali *Embedded* dan sistem otomatisasi industri modern.

Pada FLC metode Sugeno orde 0, tahap *implication* dilakukan menggunakan operator MIN untuk menentukan nilai *firing strength* dari setiap aturan fuzzy yang aktif. Nilai *firing strength* diperoleh dari nilai minimum derajat keanggotaan antar input pada bagian premis aturan. Setelah nilai *firing strength* diperoleh, setiap aturan menghasilkan nilai konsekuen berupa konstanta. Selanjutnya, nilai keluaran akhir sistem dihitung menggunakan metode *weighted average* berdasarkan nilai *firing strength* dan konsekuen dari seluruh aturan yang aktif.

Pada FLC Sugeno *implication* menggunakan MIN, yaitu :

$$w_i = \text{MIN} (\mu(X1), (\mu(X2)) \quad (2.7)$$

Keterangan

w_i = *Firing strength* dari *Rule* ke-i

$(\mu(X1))$ = Nilai derajat keanggotaan X1

$(\mu(X2))$ = Nilai derajat keanggotaan X2

Pada FLC Sugeno orde 0 *agregation* menggunakan *weighted average*, yaitu:

$$u = \frac{\sum_i^n w_i z_i}{\sum_i^n w_i} \quad (2.8)$$

Keterangan

u = nilai keluaran akhir kontrol

w_i = *Firing strength* dari *Rule* ke-i

z_i = *Output konsekuen* dari *Rule* ke-i

n = Jumlah *Rule* fuzzy

2.13 SCADA *FactoryTalk*

FactoryTalk View adalah sebuah perangkat lunak HMI (Human *Machine Interface*) yang dikembangkan oleh Rockwell Automation dan digunakan untuk membuat, memantau, serta mengendalikan sistem otomasi industri. *Software* ini merupakan bagian dari platform *FactoryTalk* yang dirancang untuk memberikan antarmuka visual antara operator dengan peralatan kontrol seperti PLC (Programmable Logic *Controller*). Melalui tampilan grafis pada layar komputer atau terminal HMI, operator dapat melihat kondisi proses produksi secara real-time, mengontrol peralatan, serta menerima informasi *Alarm* atau peringatan jika terjadi gangguan pada sistem [17]. Gambar SCADA *FactoryTalk* terdapat pada **Gambar 2.17**.



Gambar 2. 17 SCADA *FactoryTalk*

Sumber: [17]

FactoryTalk View biasanya digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti manufaktur, pengolahan makanan dan minuman, pengolahan air, hingga sistem produksi skala besar. Dengan menggunakan sistem ini, berbagai parameter proses seperti suhu, tekanan, level, kecepatan motor, dan status mesin dapat ditampilkan dalam bentuk grafik, animasi, maupun indikator digital sehingga memudahkan operator dalam melakukan pengawasan terhadap proses produksi.

Secara umum, *FactoryTalk View* bekerja dengan cara menghubungkan aplikasi HMI dengan perangkat kontrol seperti PLC Allen-Bradley melalui jaringan komunikasi industri. Data dari PLC akan dibaca oleh sistem HMI kemudian ditampilkan pada layar dalam bentuk objek grafis seperti tombol, indikator lampu, gauge, maupun grafik tren. Operator juga dapat memberikan perintah melalui layar HMI yang kemudian dikirim kembali ke PLC untuk mengendalikan proses di lapangan.

FactoryTalk View memiliki dua versi utama yang digunakan dalam sistem otomasi industri, yaitu *FactoryTalk View Machine Edition (ME)* dan *FactoryTalk View Site Edition (SE)*. *Machine Edition* biasanya digunakan untuk aplikasi pada mesin tunggal atau terminal HMI seperti PanelView Plus, sedangkan *Site Edition* digunakan untuk sistem yang lebih besar seperti sistem SCADA yang melibatkan banyak *Server* dan *Client* dalam satu jaringan pabrik.

Beberapa fitur utama yang tersedia pada *FactoryTalk View* antara lain:

- Pembuatan tampilan HMI grafis untuk memonitor dan mengendalikan proses industri.
- Integrasi dengan PLC Allen-Bradley melalui berbagai protokol komunikasi industri.
- *Alarm* dan *Event* management untuk mendeteksi serta memberi peringatan terhadap kondisi abnormal.
- Trending data proses untuk memantau perubahan parameter dari waktu ke waktu.
- Keamanan pengguna (*User security*) untuk membatasi akses operator sesuai dengan level otorisasi.

FactoryTalk Studio adalah lingkungan pengembangan (*Development environment*) yang digunakan untuk membuat dan mengelola aplikasi HMI pada sistem *FactoryTalk View*. *Software* ini berfungsi sebagai alat utama bagi *Engineer* atau *Programmer* untuk merancang tampilan HMI,

mengkonfigurasi komunikasi dengan PLC, serta mengatur berbagai fitur seperti *Alarm*, *Data logging*, dan keamanan sistem.

FactoryTalk Studio menyediakan berbagai tool yang memudahkan proses pembuatan aplikasi HMI secara terstruktur. Melalui *software* ini, pengguna dapat membuat layar tampilan (*Display*), menambahkan objek grafis seperti tombol, indikator, dan grafik, serta menghubungkannya dengan *Tag* data dari PLC atau *Server* data lainnya. Selain itu, *FactoryTalk Studio* juga digunakan untuk melakukan konfigurasi jaringan komunikasi dan pengaturan *Server* dalam sistem SCADA berbasis *FactoryTalk*.

Cara kerja *FactoryTalk Studio* dimulai dengan pembuatan sebuah proyek aplikasi HMI yang kemudian dikembangkan menggunakan berbagai editor yang tersedia di dalam *software*. Setelah desain tampilan dan konfigurasi selesai, aplikasi tersebut dapat diunduh ke perangkat HMI seperti PanelView Plus atau dijalankan pada *Server FactoryTalk View SE* untuk digunakan oleh operator di lapangan.

Dalam lingkungan *FactoryTalk Studio*, pengguna juga dapat melakukan pengujian aplikasi melalui fitur *Runtime simulation*, sehingga tampilan HMI dapat diuji terlebih dahulu sebelum diterapkan pada sistem produksi yang sebenarnya.

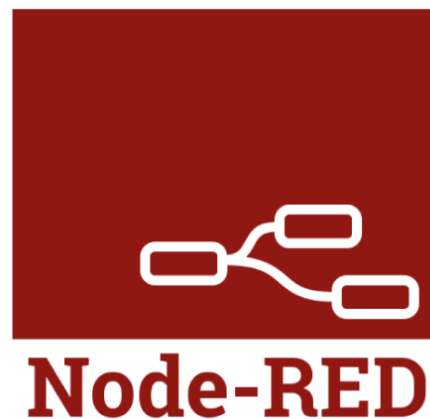
Beberapa fitur utama yang tersedia pada *FactoryTalk Studio* antara lain:

- Editor grafis HMI untuk membuat tampilan antarmuka operator.
- *Tag database management* untuk mengelola variabel yang terhubung dengan PLC.
- Konfigurasi komunikasi industri untuk menghubungkan HMI dengan perangkat kontrol.
- *Alarm* dan *Event* configuration untuk pengaturan sistem peringatan pada proses.
- *Runtime simulation* untuk menguji aplikasi sebelum digunakan pada sistem nyata.

Dengan menggunakan *FactoryTalk Studio* sebagai alat pengembangan dan *FactoryTalk View* sebagai platform *Runtime HMI*, sistem otomasi industri dapat dibangun secara lebih terintegrasi, sehingga memudahkan pemantauan, pengendalian, serta analisis proses produksi secara efisien.

2.14 Node-RED

Node-RED merupakan perangkat lunak berbasis *Flow programming* yang digunakan untuk menghubungkan perangkat keras, API, dan layanan online dalam suatu sistem otomasi maupun *Internet of Things (IoT)*. *Node-RED* dikembangkan menggunakan platform *Node.js* dan menyediakan antarmuka pemrograman berbasis visual yang memudahkan pengguna dalam merancang alur proses tanpa harus menulis kode program yang kompleks. Pada sistem otomasi industri maupun sistem IoT, *Node-RED* sering digunakan untuk mengintegrasikan berbagai perangkat seperti sensor, PLC, database, *Dashboard monitoring*, serta layanan *Cloud* dalam satu sistem yang terhubung [18]. Gambar Node Red terlihat pada **Gambar 2.18**.



Gambar 2. 18 Node-RED

Sumber: [18]

Node-RED bekerja dengan konsep *Flow programming*, dimana setiap proses direpresentasikan dalam bentuk node yang saling terhubung membentuk suatu alur kerja. Setiap node memiliki fungsi tertentu seperti

menerima data, memproses data, atau mengirimkan data ke perangkat lain. Node-node tersebut dihubungkan menggunakan garis alur sehingga membentuk suatu sistem logika yang dapat dijalankan secara otomatis. Antarmuka *Node-RED* berbasis web sehingga pengguna dapat melakukan konfigurasi dan pemrograman melalui *Browser* tanpa memerlukan perangkat lunak tambahan.

Node-RED memiliki beberapa komponen utama yaitu *Node input*, *Node processing*, dan *Node output*. *Node input* berfungsi untuk menerima data dari berbagai sumber seperti sensor, protokol komunikasi industri, HTTP request, MQTT broker, maupun database. *Node processing* digunakan untuk melakukan pengolahan data seperti *Filtering*, *Formatting*, pengolahan logika, atau transformasi data. Sedangkan *Node output* berfungsi untuk mengirimkan data hasil proses ke perangkat lain seperti *Dashboard monitoring*, database *Server*, sistem kontrol, atau perangkat IoT lainnya.

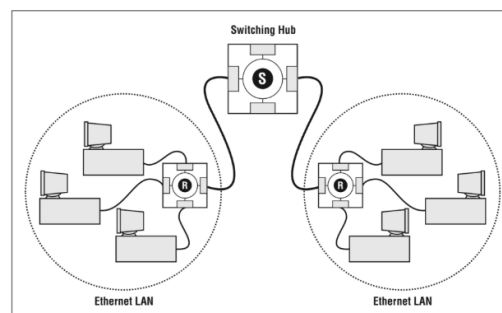
Dalam implementasinya, *Node-RED* mendukung berbagai protokol komunikasi yang umum digunakan dalam sistem otomasi dan IoT seperti MQTT, HTTP, TCP/IP, Modbus, *OPC-UA*, serta *WebSocket*. Dengan dukungan protokol tersebut, *Node-RED* mampu berfungsi sebagai *Middleware* yang menghubungkan berbagai perangkat dengan standar komunikasi yang berbeda. Hal ini memungkinkan integrasi sistem yang lebih fleksibel antara perangkat lapangan, sistem kontrol, dan sistem monitoring berbasis jaringan.

Node-RED juga dilengkapi dengan fitur *Dashboard* yang memungkinkan pengguna untuk membuat tampilan monitoring dan kontrol berbasis web secara real-time. Melalui node *Dashboard*, data yang diperoleh dari sensor atau sistem kontrol dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik, indikator, tabel, maupun tombol kontrol. Dengan adanya fitur ini, pengguna dapat memantau kondisi sistem serta melakukan pengendalian perangkat secara langsung melalui *Browser*.

Secara teknis, *Node-RED* berjalan di atas *Runtime Node.js* yang menggunakan arsitektur *Event-driven* dan *Non-blocking I/O* sehingga mampu menangani banyak proses komunikasi secara efisien. Data yang masuk dari *Node input* akan diproses secara berurutan sesuai alur *Flow* yang telah dibuat oleh pengguna. Setiap node akan menerima data dalam bentuk *Message object* yang kemudian diproses dan diteruskan ke node berikutnya. Dengan sistem ini, *Node-RED* mampu mengelola pertukaran data antar perangkat secara cepat dan fleksibel dalam suatu sistem otomasi maupun IoT.

2.15 Protokol Komunikasi *Ethernet*

Protokol komunikasi *Ethernet* merupakan metode komunikasi jaringan yang digunakan untuk menghubungkan berbagai perangkat dalam suatu sistem jaringan komputer maupun sistem otomasi industri. *Ethernet* bekerja dengan menggunakan media kabel sebagai jalur transmisi data sehingga memungkinkan perangkat seperti komputer, PLC, sensor pintar, *Human Machine Interface (HMI)*, dan *Server* dapat saling bertukar informasi secara cepat dan stabil. Dalam sistem otomasi industri, *Ethernet* banyak digunakan karena memiliki kecepatan transmisi data yang tinggi, keandalan komunikasi yang baik, serta mampu mendukung integrasi berbagai perangkat dalam satu jaringan [19]. Gambar penerapan protocol komunikasi *Ethernet* terlihat pada **Gambar 2.19**.



Gambar 2. 19 Penerapan protocol komunikasi *Ethernet*

Sumber ; [19]

Ethernet merupakan standar komunikasi jaringan yang dikembangkan berdasarkan standar IEEE 802.3. Protokol ini bekerja dengan menggunakan metode pengiriman data dalam bentuk paket data (data frame) yang dikirim melalui jaringan lokal atau Local Area Network (LAN). Setiap perangkat yang terhubung dalam jaringan *Ethernet* memiliki alamat fisik unik yang disebut MAC Address (Media ACcess Control Address). Alamat ini digunakan untuk mengidentifikasi perangkat sehingga data yang dikirim dapat diterima oleh perangkat tujuan dengan tepat.

Dalam sistem *Ethernet*, proses komunikasi data dilakukan melalui beberapa perangkat jaringan seperti *Switch*, router, dan *network interface card* (NIC). *Switch* berfungsi untuk menghubungkan beberapa perangkat dalam satu jaringan dan mengatur lalu lintas data agar dapat sampai ke tujuan dengan efisien. Router digunakan untuk menghubungkan dua jaringan yang berbeda, sedangkan NIC merupakan perangkat keras yang memungkinkan suatu perangkat terhubung ke jaringan *Ethernet*. Media transmisi yang umum digunakan dalam *Ethernet* adalah kabel twisted pair seperti UTP (Unshielded Twisted Pair) dan STP (Shielded Twisted Pair) dengan konektor *RJ45*.

Ethernet memiliki beberapa standar kecepatan komunikasi yang umum digunakan, antara lain 10 Mbps (*Ethernet*), 100 Mbps (*Fast Ethernet*), 1 Gbps (*Gigabit Ethernet*), dan hingga 10 Gbps pada jaringan yang lebih modern. Kecepatan komunikasi ini memungkinkan sistem untuk mentransmisikan data secara real-time, terutama pada sistem kontrol industri yang membutuhkan respons cepat dan stabil. Selain itu *Ethernet* juga mendukung komunikasi *full duplex* yang memungkinkan pengiriman dan penerimaan data dilakukan secara bersamaan tanpa terjadinya collision atau tabrakan data.

Dalam aplikasi otomasi industri, *Ethernet* sering digunakan sebagai dasar berbagai protokol komunikasi industri seperti *Modbus* TCP/IP, *EtherNet/IP*, *PROFINET*, dan *OPC UA*. Protokol-protokol tersebut

memanfaatkan jaringan *Ethernet* sebagai media komunikasi untuk mengirimkan data proses, parameter kontrol, maupun data monitoring dari perangkat lapangan menuju sistem kontrol atau sistem supervisi seperti SCADA. Dengan menggunakan jaringan *Ethernet*, integrasi antar perangkat menjadi lebih fleksibel serta memudahkan pengembangan sistem otomasi yang terhubung dengan jaringan industri maupun jaringan internet.

Protokol komunikasi *Ethernet* bekerja dengan prinsip pengiriman data dalam bentuk frame yang terdiri dari beberapa bagian seperti alamat MAC pengirim, alamat MAC penerima, tipe data, payload, dan *Error checking* menggunakan metode CRC (*Cyclic Redundancy Check*). Data yang dikirim akan melewati perangkat jaringan seperti *Switch* sebelum sampai ke perangkat tujuan. Dengan adanya mekanisme pengalamatan, pengaturan lalu lintas data, serta sistem deteksi kesalahan, komunikasi *Ethernet* mampu menjaga keandalan dan integritas data dalam sistem jaringan industri maupun jaringan komputer secara umum.

2.16 Power Supply Allen Bradley 1606-XLE120E

Power *Supply* merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik AC menjadi tegangan DC yang stabil sesuai kebutuhan sistem kontrol dan instrumentasi. Pada sistem otomasi industri, power *Supply* digunakan untuk menyuplai tegangan ke PLC, sensor, aktuator, modul input output, dan perangkat kontrol lainnya. Tegangan DC yang umum digunakan pada sistem industri adalah 24 VDC karena memiliki tingkat keamanan dan kestabilan yang baik [20]. Gambar power *Supply* Allen Bradley 1606-XLE120E terdapat pada **Gambar 2.20**.



Gambar 2. 20 Power Supply Allen Bradley 1606-XLE120E

Sumber: [20]

Power Supply Allen Bradley tipe 1606-XLE120E merupakan *Switching power Supply* yang memiliki daya keluaran 120 W dengan tegangan output nominal 24 VDC dan arus maksimal 5 A. Power Supply ini termasuk dalam kategori AC/DC converter dengan tegangan input operasi 90 – 132 VAC. Tegangan output yang dihasilkan sudah dalam kondisi *stabilized* sehingga cocok digunakan untuk sistem kontrol yang membutuhkan suplai tegangan konstan.

Power Supply 1606-XLE120E memiliki tegangan output nominal sebesar 24 VDC dengan arus output maksimal 5 A. Daya total yang dapat dihasilkan sebesar 120 W. Tegangan output dapat diatur (*adjustable*) sesuai kebutuhan sistem dalam batas yang telah ditentukan. Power Supply ini juga memiliki *power reserve* sebesar 20% serta fitur *dynamic power boost* hingga 120% pada suhu di bawah 45°C untuk mengakomodasi lonjakan beban sesaat. Tegangan input nominal pada frekuensi 50 Hz dan 60 Hz sebesar 100 VAC, sedangkan tegangan input DC sebesar 110 VDC. Arus input nominal sebesar 2,6 A pada 100 VAC. *Power factor* yang dimiliki sebesar 0,91 *typical* sehingga efisiensi penggunaan daya menjadi lebih optimal.

Power *Supply* 1606-XLE120E memiliki efisiensi sebesar 94,3% typical dengan *power losses* sekitar 7,3 W typical. Nilai *ripple* dan *noise* maksimal sebesar 50 mV sehingga tegangan output yang dihasilkan relatif stabil dan minim gangguan sinyal. Perangkat ini dilengkapi dengan input inrush *Current* limiter aktif untuk membatasi lonjakan arus saat pertama kali dinyalakan. Nilai input inrush *Current* sebesar 4 A / 3 A. Selain itu terdapat DC OK relay contACt yang berfungsi sebagai indikator bahwa tegangan output dalam kondisi normal. Hold-up time yang dimiliki lebih dari 80 ms pada 120 V, sehingga ketika terjadi gangguan tegangan input dalam waktu singkat, output tetap stabil dan tidak langsung drop.

Power *Supply* ini memiliki dimensi tinggi 124 mm, lebar 32 mm, dan kedalaman 102 mm. Metode pemasangan menggunakan *DIN rail* mounting dan juga memungkinkan untuk *Wall mounting*. Derajat perlindungan yang dimiliki adalah IP20 sehingga cocok digunakan di dalam panel kontrol. Perangkat ini memiliki ketahanan terhadap getaran sebesar 2 g dan shock sebesar 30 G selama 6 ms serta 20 G selama 11 ms. Nilai MTBF (*Mean Time Between Failure*) sebesar 867.000 jam pada suhu 40°C berdasarkan standar SN29500, yang menunjukkan tingkat keandalan perangkat yang tinggi. Rentang suhu operasional mencapai -25°C dan mampu bekerja pada kelembaban relatif 5 – 95%. Lifetime minimum sebesar 166.000 jam pada suhu +40°C.

Power *Supply* 1606-XLE120E bekerja dengan prinsip *Switching* regulator. Tegangan AC yang masuk akan disearahkan menjadi DC kemudian di*Switching* dengan frekuensi tinggi menggunakan rangkaian trANSIstor *Switching*. Tegangan tersebut kemudian diturunkan melalui transformator frekuensi tinggi dan disearahkan kembali menjadi tegangan DC yang stabil. Sistem kontrol internal akan menjaga agar tegangan output tetap 24 VDC meskipun terjadi variasi beban maupun fluktuasi tegangan input. Dengan adanya sistem regulasi dan proteksi internal, power *Supply* mampu menjaga kestabilan tegangan, membatasi arus berlebih, serta

melindungi perangkat dari gangguan listrik. Spesifikasi *Power Supply* 1606-XLE120E terdapat pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2. 10 *Power Supply 1606-XLE120E*

Spesifikasi <i>Power Supply</i> 1606-XLE120E	
Jenis Perangkat	<i>Switching Power Supply</i> (AC/DC Converter)
Daya Output	120 W
Tegangan Output Nominal	24 VDC
Arus Output Maksimum	5 A
Tegangan Input AC	90 – 132 VAC
Tegangan Input DC	110 VDC
Frekuensi Input	50 / 60 Hz
Arus Input Nominal	2,6 A (pada 100 VAC)
Dimensi	124 × 32 × 102 mm
Suhu Operasi	–25 °C hingga +60 °C
Kelembaban Operasi	5 – 95 % RH

Pada *Plant Dryer*, *Power Supply* 1606-XLE120E digunakan sebagai catu daya utama perangkat-perangkat yang terdapat pada panel, baik PLC Allen Bradley, sensor, transmitter dan aktuator

2.17 *Flowmeter* ABB CoriolisMaster FCB400 DN 25

Flowmeter FCB400 DN 25 adalah salah satu tipe Coriolis mass *Flowmeter* dari ABB yang digunakan untuk mengukur laju aliran massa fluida secara langsung dalam suatu sistem proses industri. Alat ini termasuk dalam seri CoriolisMaster FCB400, yang mampu mengukur beberapa parameter proses sekaligus seperti mass *Flow*, volume *Flow*, density, *Temperature*, dan concentration dalam satu perangkat [21]. Gambar *Flowmeter* FCB400 DN 25 terdapat **Gambar 2.21**.



Gambar 2. 21 *Flowmeter* ABB FCB400 DN 25

Sumber: [21]

Flowmeter ini bekerja berdasarkan prinsip Coriolis, yaitu perubahan getaran pada tabung sensor akibat adanya aliran fluida yang melewati tabung tersebut. Perubahan getaran ini kemudian diproses oleh transmitter menjadi data laju aliran massa yang sangat akurat. Sistem ini menggunakan digital signal processor (DSP) untuk mengubah sinyal sensor menjadi data digital sehingga menghasilkan pengukuran yang stabil dan presisi.

Pada tipe FCB400 DN 25, ukuran nominal pipa yang digunakan adalah DN 25 atau sekitar 1 inch. *Flowmeter* ini memiliki rentang pengukuran maksimum hingga sekitar 35.000 kg/h, tergantung jenis fluida yang diukur. Rentang operasi yang direkomendasikan biasanya berada pada 5% sampai 100% dari kapasitas maksimum agar hasil pengukuran tetap akurat dan stabil.

Sensor pada FCB400 DN 25 terbuat dari material *Stainless steel 316L* (1.4404 atau 1.4435) yang memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi dan cocok digunakan pada berbagai jenis fluida proses. Selain itu, alat ini mampu bekerja pada suhu fluida sekitar $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ atau sampai $205\text{ }^{\circ}\text{C}$ tergantung tipe sensornya, sehingga dapat digunakan pada berbagai

aplikasi industri seperti kimia, makanan, minyak, dan proses pencampuran bahan.

Transmitter pada *Flowmeter* ini berfungsi untuk memproses sinyal dari sensor dan mengubahnya menjadi output yang dapat dibaca oleh sistem kontrol. Output standar yang tersedia antara lain 4–20 mA, digital output, serta komunikasi HART atau fieldbus sehingga dapat diintegrasikan dengan sistem kontrol seperti PLC, DCS, atau SCADA pada plant produksi.

Secara umum, FCB400 DN 25 digunakan untuk aplikasi pengukuran aliran yang membutuhkan akurasi tinggi, terutama pada fluida yang sulit diukur dengan metode lain seperti fluida kental, non-konduktif, atau fluida dengan partikel padat. Selain mengukur aliran massa, alat ini juga dapat memberikan informasi tambahan seperti densitas dan temperatur fluida, sehingga mempermudah monitoring proses dalam sistem produksi. Spesifikasi *Flowmeter* FCB400 DN 25 terdapat pada **Tabel 2.11**.

Tabel 2. 11 *Flowmeter* FCB400 DN 25

Spesifikasi <i>Flowmeter</i> FCB400 DN 25	
Ukuran Pipa Nominal	DN 25 (± 1 inch)
Rentang Pengukuran Maksimum	± 35.000 kg/h
Rentang Operasi Rekomendasi	5% – 100%
Material Sensor	<i>Stainless steel 316L</i>
Suhu Fluida Operasi	-50 °C hingga 160 °C
Sistem Pemrosesan Sinyal	Digital Signal Processor (DSP)
Output Analog	4–20 mA

Pada *Heat Exchanger*, *Flowmeter* FCB400 DN 25 digunakan untuk membaca laju aliran *Raw material* dari *Feed tank*, laju aliran yang dibaca range max nya 11.000 Kg/j