

LAPORAN TUGAS SISTEM PENGENDALIAN CAIRAN INDUSTRI OTOMATIS



Disusun oleh:

NAMA : Muhammad Yusuf Aditiya
NIM : 125490072
Mata Kuliah : Pengantar Instrumentasi dan Automasi
Dosen Pengampu : 1. Sabar, M.Si.
2. Ronal, M.Kom.

**REKAYASA INSTRUMENTASI DAN AUTOMASI
INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA
2025/2026**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Sistem Kontrol Otomatis dengan judul "Perancangan Sistem Pengendalian Cairan Industri Otomatis Berbasis Mikrokontroler".

Laporan ini disusun untuk memenuhi tugas mata kuliah Pengantar Instrumentasi dan Automasi. Di dalamnya dibahas mengenai dasar teori sistem instrumentasi, perancangan simulasi menggunakan Tinkercad, pemrograman logika kontrol Arduino, hingga analisis keselamatan (safety) dan pembuatan diagram P&ID standar industri.

Saya menyadari bahwa keberhasilan penyusunan laporan ini tidak lepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak. Penulis berharap laporan ini dapat memberikan wawasan mengenai penerapan sistem kendali closed-loop dan instrumentasi pada skala industri.

Bandar Lampung, 2 Desember 2025



M Yusuf Aditiya
NIM. 125490072

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
BAB 1 LANDASAN TEORI DAN DESAIN SISTEM	1
1.1 Analisis Teori Sistem Instrumentasi	1
1.1.1 Hubungan Sensor, Kontroler, dan Aktuator	1
1.1.2 Fungsi Diagram P&ID dalam Industri	1
1.1.3 Contoh Sistem Multi-Sensor	1
1.1.4 Konsep Open Loop dan Close Loop	2
1.2 Desain Sistem Simulasi	2
1.2.1 Deskripsi Sistem	2
1.2.2 Spesifikasi Komponen (Input & Output)	2
1.2.3 Wiring Diagram	2
BAB 2 PEMROGRAMAN DAN LOGIKA KONTROL	3
2.1 Alur Logika Utama	3
2.2 Logika Histeresis (Pompa)	3
2.3 Logika Relief Valve (Servo)	3
2.4 Logika Safety Interlock (Alarm)	3
BAB 3 ANALISIS SISTEM DAN KESTABILAN	4
3.1 Diagram Blok Logika Sistem	4
3.2 Pohon Keputusan (Decision Tree)	5
3.3 Analisis Error dan Safety Priority	6
BAB 4 DIAGRAM INSTRUMENTASI (P&ID)	7
4.1 Deskripsi P&ID Standar ISA	7
4.2 Identifikasi Tag Instrumen	7
4.3 Kesesuaian Diagram dengan Simulasi	8
KESIMPULAN	9
DAFTAR PUSTAKA	10

BAB 1

DESAIN SISTEM DAN RANGKAIAN

1.1 Analisis Teori Sistem Instrumentasi

Sistem ini dirancang untuk mengotomatisasi pengisian dan pengamanan tangki cairan industri. Sistem menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengendali utama (Controller) yang menerima data dari tiga sensor fisik (Level, Suhu, Tekanan) dan mengendalikan tiga jenis aktuator (Pompa, Katup Servo, dan Alarm).

1.1.1 Hubungan Sensor, Kontroler, dan Aktuator

Dalam sistem instrumentasi otomatis, ketiga komponen ini bekerja dalam siklus yang tidak terputus:

- Sensor (Mata/Telinga): Berfungsi sebagai alat ukur yang mendeteksi parameter fisik (suhu, tekanan, level) dan mengubahnya menjadi sinyal listrik untuk dikirim ke kontroler.
- Kontroler (Otak): Menerima data dari sensor, membandingkannya dengan nilai yang diinginkan (setpoint), melakukan perhitungan logika, dan mengirimkan perintah.
- Aktuator (Otot): Menerima perintah dari kontroler dan melakukan aksi fisik (bergerak, memutar, memanaskan) untuk mengubah kondisi sistem.
- Hubungan: Sensor memberi data \rightarrow Kontroler berpikir \rightarrow Aktuator bertindak.

1.1.2 Fungsi Utama Diagram P&ID dalam Proses Industri

Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) berfungsi sebagai peta utama atau cetak biru (blueprint) sebuah pabrik. Fungsinya adalah:

- Menggambarkan hubungan fungsional antara perpipaan, instrumentasi, dan peralatan proses.
- Sebagai acuan standar keselamatan (safety) dan pemeliharaan (maintenance).
- Memudahkan insinyur memahami logika kontrol dan interlock sistem tanpa harus melihat fisik mesin.

1.1.3 Contoh Sistem Instrumentasi Multi-Sensor

Sistem yang menggunakan lebih dari satu sensor disebut Multi-variable Control System. Contohnya:

- Sistem Boiler Pembangkit Listrik: Menggunakan sensor suhu (untuk api), sensor tekanan (uap), dan sensor level (air boiler) secara bersamaan untuk mencegah ledakan.
- Sistem ECU Mobil (Electronic Control Unit): Menggunakan sensor Oksigen, sensor MAF (udara), dan sensor suhu mesin untuk mengatur semprotan bahan bakar.
- Proyek Simulasi Ini: Menggunakan sensor Ultrasonik (Level), TMP36 (Suhu), dan Potensiometer (Tekanan).

1.1.4 Konsep Open Loop dan Close Loop

- Open Loop (Sistem Kendali Terbuka): Sistem yang keluarannya (output) tidak mempengaruhi aksi kontrol. Tidak ada umpan balik (feedback). Contoh: Mesin cuci (jalan sesuai timer, tidak peduli baju sudah bersih atau belum).
- Close Loop (Sistem Kendali Tertutup): Sistem yang menggunakan umpan balik (feedback) dari sensor untuk membandingkan output aktual dengan target. Jika ada selisih (error), kontroler akan melakukan koreksi otomatis. Contoh: AC Inverter (terus menyesuaikan kerja kompresor berdasarkan suhu ruangan saat ini) atau Sistem Tangki Air pada proyek ini.

1.2 Desain Sistem Simulasi

Deskripsi Sistem Sistem ini dirancang sebagai purwarupa (prototype) pengendalian tangki cairan industri. Sistem menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengendali utama (Controller) yang bertugas menjaga level air agar tidak habis, membuang tekanan berlebih secara otomatis, dan memberikan peringatan dini jika terjadi kondisi bahaya (overheat atau overpressure).

1.2.1 Spesifikasi Komponen (Input & Output)

Berdasarkan simulasi yang dibangun di Tinkercad, spesifikasi komponen yang digunakan adalah:

- Mikrokontroler: Arduino Uno R3 (ATmega328P).
- Sensor Level (LT): Ultrasonic HC-SR04. Mengukur ketinggian air menggunakan prinsip pantulan gelombang suara.
- Sensor Suhu (TT): TMP36. Sensor analog dengan output tegangan linear (10 mV/°C).
- Sensor Tekanan (PT): Potensiometer 10kΩ. Digunakan sebagai simulasi transduser tekanan industri (0-100%).
- Aktuator Pompa: Motor DC. Berfungsi sebagai pompa pengisi air (Filling Pump).
- Aktuator Katup: Micro Servo. Berfungsi sebagai Pressure Relief Valve (Katup Pembuang Tekanan).
- Indikator/Alarm: Buzzer Piezo dan LED Merah. Aktif saat kondisi Interlock (Bahaya).
- Display: LCD 16x2 I2C. Menampilkan data proses secara real-time.

1.2.3 Wiring Diagram (Pin Mapping)

Konfigurasi pin pada Arduino Uno adalah sebagai berikut:

- Input Analog: TMP36 (A0), Potensiometer (A1).
- Input Digital: Ultrasonic Echo (Pin 6).
- Output Digital: Servo (Pin 3 PWM), Motor DC (Pin 4), Ultrasonic Trig (Pin 5), LED (Pin 7), Buzzer (Pin 9).
- Komunikasi: LCD I2C terhubung pada pin SDA dan SCL.

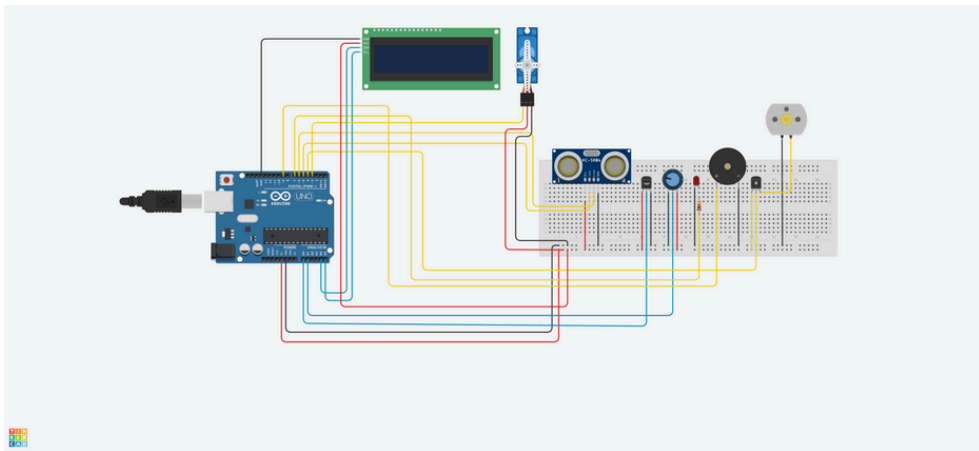
BAB 2

PEMROGRAMAN DAN LOGIKA KONTROL

2.1 Alur Logika Utama

Program Arduino disusun menggunakan pendekatan Loop Tertutup (Closed Loop). Di dalam fungsi void loop(), mikrokontroler menjalankan tiga tahapan berulang:

- Reading: Membaca data mentah dari ketiga sensor.
- Processing: Mengonversi data mentah menjadi satuan teknik ($^{\circ}\text{C}$, cm, %) dan membandingkannya dengan Setpoint.
- Actuating: Mengirim sinyal listrik ke aktuator berdasarkan hasil perbandingan.



2.2. Logika Histeresis (Pengendalian Pompa)

Sistem menggunakan logika Hysteresis untuk menjaga kestabilan pompa agar tidak menyala-mati terlalu cepat (chattering):

- Setpoint Bawah (20%): Jika sensor level membaca jarak udara > 268.8 cm (air surut), Pompa ON.
- Setpoint Atas (80%): Jika sensor level membaca jarak udara < 67.2 cm (air penuh), Pompa OFF.
- Zona Mati: Di antara 20%-80%, pompa mempertahankan kondisi terakhirnya.

2.3 Logika Relief Valve (Pengendalian Katup)

- Kondisi: Jika sensor tekanan mendeteksi nilai di atas 80%.
- Aksi: Servo bergerak ke sudut 90° (Terbuka/Vertikal) untuk membuang tekanan (Venting).
- Normal: Jika tekanan $< 80\%$, Servo kembali ke 0° (Tertutup/Horizontal).

2.4 Logika Safety Interlock (Sistem Alarm)

Sistem keamanan menggunakan gerbang logika OR. Alarm (Buzzer & LED) akan aktif jika:

- Suhu cairan $> 40^{\circ}\text{C}$, ATAU
- Tekanan tangki $> 80\%$. Hal ini memastikan operator segera mengetahui adanya anomali, baik itu Overheat maupun Overpressure.

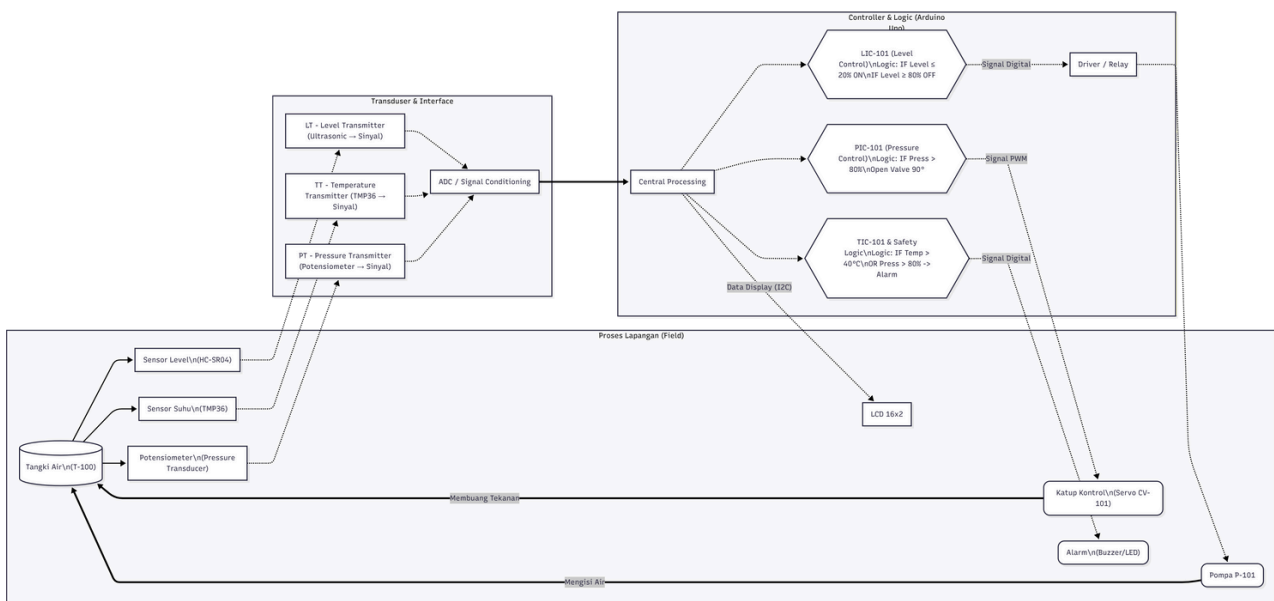
BAB 3

PEMROGRAMAN DAN LOGIKA KONTROL

3.1 Diagram Blok Logika Sistem

Berdasarkan diagram blok yang telah dirancang, sistem terdiri dari tiga bagian utama:

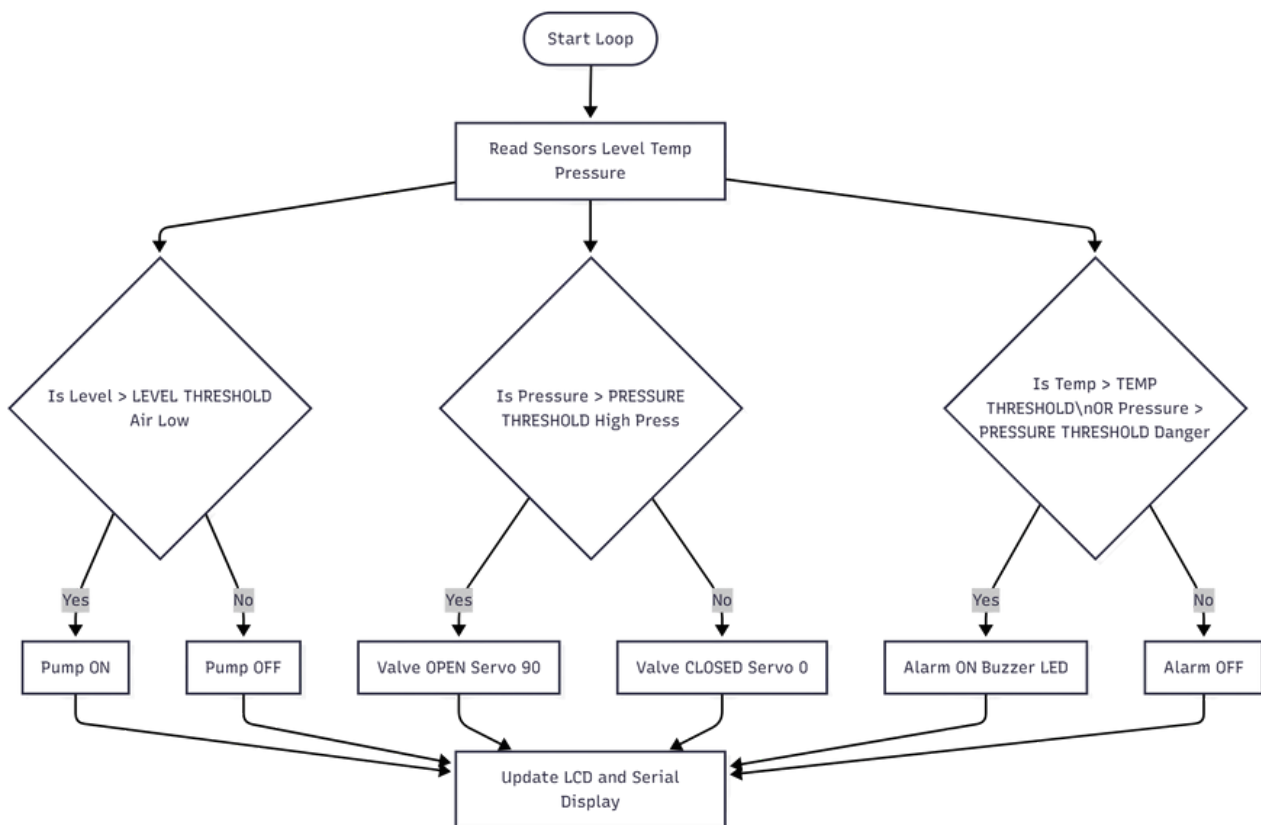
- Transduser & Interface: Mengubah besaran fisik menjadi sinyal listrik (ADC).
- Controller & Output Driver: Arduino memproses data dan mengirim sinyal ke driver daya (Relay/Transistor).
- Proses Lapangan (Plant): Tangki air beserta sensor dan aktuator yang terpasang fisik padanya.



3.2 Pohon Keputusan (Decision Tree)

Pengambilan keputusan dilakukan secara paralel melalui tiga percabangan logika (Decision Diamond):

1. Cek Level: Apakah $\text{Level} \leq \text{Threshold}$? \rightarrow Ya: Pompa ON / Tidak: Pompa OFF.
2. Cek Tekanan: Apakah $\text{Tekanan} > \text{Threshold}$? \rightarrow Ya: Servo Buka / Tidak: Servo Tutup.
3. Cek Bahaya: Apakah $(\text{Suhu} > \text{Max})$ ATAU $(\text{Tekanan} > \text{Max})$? \rightarrow Ya: Alarm ON / Tidak: Alarm OFF.



3.3 Analisis Error dan Safety Priority

Sistem dirancang dengan mempertimbangkan kemungkinan kegagalan sensor (Sensor Failure Analysis):

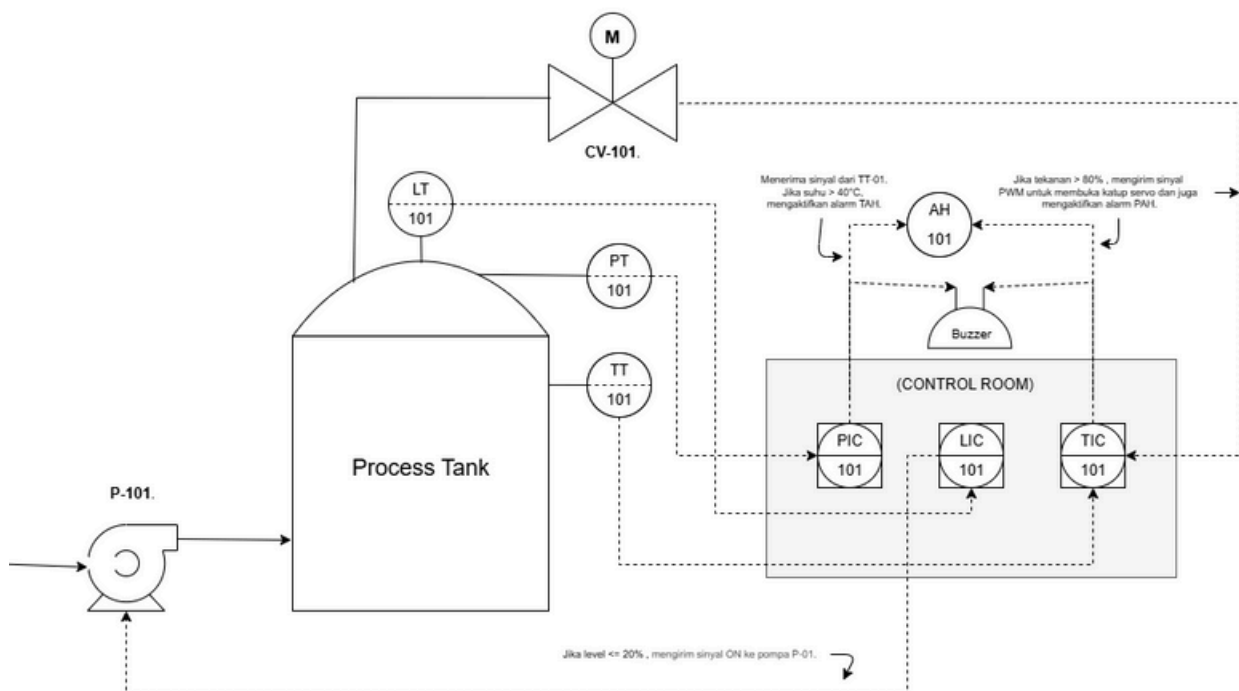
1. Kegagalan Sensor Ultrasonik: Jika sensor rusak dan membaca jarak 0 cm (seolah penuh), sistem menerapkan prinsip Fail-Safe dimana pompa akan mati (OFF). Hal ini mencegah risiko banjir (overflow) akibat pengisian tak terkendali.
2. Kegagalan Sensor Tekanan: Jika potensiometer rusak dan memberikan sinyal tegangan tinggi terus-menerus, sistem akan menganggap tekanan kritis. Safety Interlock akan merespons dengan membuka Katup Servo dan membunyikan Alarm. Ini menunjukkan sistem memprioritaskan keamanan (Safety First) di atas efisiensi operasional.

BAB 4

DIAGRAM INSTRUMENTASI (P&ID)

4.1 Deskripsi P&ID Standar ISA

Diagram P&ID dirancang mengikuti standar ISA-5.1 (Instrumentation Symbols and Identification). Diagram ini menggambarkan hubungan fungsional antara perpipaan, instrumen, dan peralatan proses.



4.2 Identifikasi Tag Instrumen

Sistem menggunakan penomoran Loop 101 untuk menjaga konsistensi identitas instrumen. Berikut adalah daftar lengkap instrumen yang digunakan dalam diagram P&ID:

A. Sensor dan Transmitter (Input)

1. LT-101 (Level Transmitter): Sensor ultrasonik yang mengukur ketinggian level air dan mengirimkan sinyal data ke kontroler.
2. PT-101 (Pressure Transmitter): Sensor potensiometer yang mengukur tekanan dalam tangki dan mengirimkan sinyal data ke kontroler.
3. TT-101 (Temperature Transmitter): Sensor TMP36 yang mengukur suhu cairan dan mengirimkan sinyal data ke kontroler.

B. Controller (Pengendali Logika)

4. LIC-101 (Level Indicator Controller): Menerima sinyal dari LT-101 dan mengontrol nyala/mati Pompa P-101.
5. PIC-101 (Pressure Indicator Controller): Menerima sinyal dari PT-101 dan mengatur pembukaan Katup CV-101.
6. TIC-101 (Temperature Indicator Controller): Menerima sinyal dari TT-101 dan memicu Alarm TAH jika suhu tinggi.

C. Final Control Element (Aktuator)

7. P-101 (Pump): Motor pompa yang bertugas mengisi air ke dalam tangki (Filling).
8. CV-101 (Control Valve): Katup servo yang bertugas membuang tekanan berlebih (Venting).

D. Safety & Alarm (Indikator Bahaya)

9. AH-101 (Alarm High - Common Alarm): Merupakan sistem indikator peringatan gabungan (Buzzer & LED). Alarm ini berfungsi sebagai Common Alarm yang akan aktif secara otomatis jika salah satu dari kondisi berikut terpenuhi:
 - Suhu melebihi batas aman ($> 40^{\circ}\text{C}$) dari logika TIC-101.
 - ATAU Tekanan melebihi batas aman ($> 80\%$) dari logika PIC-101.

4.3 Kesesuaian Diagram dengan Simulasi

Diagram P&ID yang dibuat telah divalidasi dan konsisten 100% dengan rangkaian simulasi Tinkercad. Garis sinyal elektrik (dashed line) menghubungkan semua instrumen lapangan ke satu kotak "Shared Controller" (Arduino Uno), merepresentasikan sistem kendali terpusat digital (DDC - Direct Digital Control).

KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan dan simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- Sistem kendali otomatis berbasis Arduino Uno berhasil mengintegrasikan tiga variabel proses (Level, Suhu, Tekanan) secara simultan.
- Penerapan logika Closed Loop dengan sensor umpan balik mampu menjaga level air pada batas aman (20%-80%) secara otomatis.
- Sistem Safety Interlock berfungsi efektif dalam mendeteksi kondisi bahaya dan melakukan tindakan pencegahan (membuka katup dan membunyikan alarm) secara otomatis tanpa campur tangan manusia.
- Diagram P&ID yang dihasilkan telah memenuhi standar industri (ISA), menggambarkan alur proses dan sinyal kontrol dengan jelas dan logis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Analog Devices, “TMP35/TMP36/TMP37 Low Voltage Temperature Sensors Datasheet,” Norwood, MA, USA, 2015.
- [2] Autodesk, “Tinkercad Circuits: Simulation & Component Library,” 2024.
- [3] W. Bolton, *Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering*, 6th ed. Pearson, 2015.
- [4] ElecFreaks, “Ultrasonic Ranging Module HC-SR04 Datasheet.”
- [5] International Society of Automation, *Instrumentation Symbols and Identification (ANSI/ISA-5.1-2009)*, 2009.
- [6] Tower Pro, “Micro Servo SG90 Datasheet,” 2014.