



Perancangan dan Implementasi Sistem Kontrol dan Monitoring Suhu serta Tekanan *Thermal Oil Heater* di PT Timah Industri

Maulana Idris Kamal ^{a,1}, Usman Nursusanto ^{b,2}, Muhammad Miftachurrohman ^{b,3}

^{a,b,2} Universitas Negeri Yogyakarta, Jl. Colombo No.1, Yogyakarta, Indonesia

^{b,3} PT Timah Industri, Jl. Eropa I Kawasan Industri Krakatau 1 Kav. A3, Cilegon, Indonesia

¹ maulanaidris.2022@student.uny.ac.id ; ² usmannursusanto@uny.ac.id ; ³ mmiftachurrohman@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRAK
Article History Submission : 13-02-2026 Revision : 20-04-2026 Accepted : 09-09-2026 Kata Kunci: Thermal Oil Heater, PLC Siemens S7-1200, HMI, Sistem Kontrol, Sistem <i>Monitoring</i>	Thermal Oil Heater (TOH) merupakan sistem pemanas industri yang membutuhkan pengendalian suhu dan tekanan secara akurat untuk menjaga efisiensi dan keselamatan operasi. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol dan <i>monitoring</i> suhu serta tekanan TOH yang menggunakan PLC Siemens S7-1200 sebagai pengendali sistem dan HMI Weintek MT8102iE sebagai media pemantauan. Metode penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model pengembangan ADDIE, meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi sensor suhu dan tekanan, serta pengujian fungsional dan kinerja sistem. Sensor <i>thermocouple</i> tipe K digunakan untuk pengukuran suhu <i>input</i>, <i>output</i>, dan <i>chimney</i>, sedangkan <i>temperature transmitter</i> dan <i>pressure transmitter</i> digunakan untuk pengukuran suhu dan tekanan sistem. Hasil pengujian diperoleh bahwa sistem mampu menampilkan parameter suhu dan tekanan secara <i>real-time</i> melalui HMI. Uji kinerja pada suhu input diperoleh 252–267°C, output 245–274°C, dan chimney 244–272°C dengan selisih $\pm 0,2^\circ\text{C}$, serta tekanan input 2,2–3,7 bar dan output 1,1–1,7 bar. Sistem yang dikembangkan terbukti berfungsi secara efektif dan dapat dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi <i>monitoring</i> jarak jauh berbasis jaringan industri. This is an open access article under license CC-BY-SA. 

1. Pendahuluan

Thermal Oil Heater (TOH) merupakan sistem pemanas *fluida* yang banyak digunakan pada industri kimia, manufaktur, dan metalurgi untuk menyediakan panas dengan suhu tinggi dan stabil [1]. Pengoperasian TOH memerlukan pengendalian suhu dan tekanan yang presisi untuk menjaga efisiensi energi, kualitas proses, serta keselamatan kerja. Ketidaknormalan suhu dan tekanan dapat menyebabkan penurunan kinerja sistem, kerusakan peralatan, hingga risiko kecelakaan industri [2].

Pengendalian suhu dan tekanan merupakan parameter kritis dalam sistem TOH karena berpengaruh langsung terhadap stabilitas proses dan umur peralatan [3]. Sistem kontrol yang tidak akurat dapat menyebabkan fluktuasi suhu yang berdampak pada kualitas produk dan konsumsi energi yang tidak efisien [2]. Oleh karena itu, diperlukan sistem kontrol dan *monitoring* yang andal untuk memastikan parameter operasi tetap berada dalam batas aman dan optimal [4].

Perkembangan teknologi otomasi industri memungkinkan penerapan sistem kontrol berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) dan *Human Machine Interface* (HMI) untuk meningkatkan keandalan dan fleksibilitas pengendalian proses [5]. PLC banyak digunakan karena memiliki keunggulan dalam ketahanan lingkungan industri, kemampuan pemrosesan *real-time*, serta kemudahan integrasi dengan berbagai sensor dan aktuator [6]. Selain itu, HMI digunakan sebagai antarmuka operator untuk menampilkan parameter proses secara visual dan memungkinkan interaksi langsung dengan sistem [6], [7].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem *monitoring* suhu dan tekanan pada proses industri menggunakan PLC, termasuk penerapan algoritma kendali lanjutan seperti *fuzzy logic* pada PLC Siemens S7-1200 [8], [9]. Namun, sebagian besar penelitian masih terbatas pada sistem *monitoring* tanpa integrasi kontrol atau belum diterapkan secara langsung pada sistem *thermal oil heater* di lingkungan industri. Selain itu, kinerja komponen pendukung seperti pompa sirkulasi pada sistem *thermal oil* telah dilaporkan turut memengaruhi kestabilan parameter proses pada TOH [10]. Selain itu, penelitian terkait implementasi sistem kontrol terintegrasi suhu dan tekanan pada TOH di industri masih terbatas, khususnya pada penerapan PLC generasi terbaru dan HMI industri sebagai sistem *monitoring real-time* [9]. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan pengembangan sistem kontrol dan *monitoring* TOH yang terintegrasi di lingkungan industri untuk meningkatkan keandalan sistem dan keselamatan operasi. Perbedaan utama penelitian ini dibandingkan sistem PLC-HMI atau SCADA sejenis terletak pada integrasi penuh fungsi kontrol dan *monitoring* suhu serta tekanan dalam satu sistem, yang dilengkapi fitur pengaturan set point, alarm, dan indikator keselamatan proses, serta diuji dan diimplementasikan langsung pada unit *thermal oil heater* yang beroperasi aktif di lingkungan industri, bukan pada skala laboratorium atau simulasi.

Penelitian ini membuat perancangan dan implementasi sistem kontrol dan *monitoring* suhu serta tekanan *thermal oil heater* berbasis PLC Siemens S7-1200 dan HMI Weintek MT8102iE pada PT Timah Industri. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan sensor *thermocouple* tipe K, *temperature transmitter*, dan *pressure transmitter* untuk memperoleh data suhu dan tekanan secara *real-time*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menampilkan dan mengontrol parameter operasi *thermal oil heater* serta memberikan dasar pengembangan sistem *monitoring* jarak jauh berbasis jaringan industri.

2. Metode Penelitian

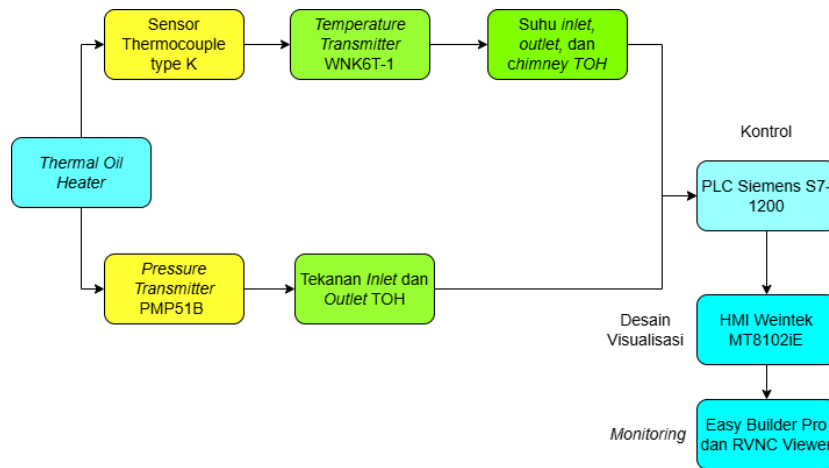
Penelitian ini menggunakan metode pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Metode penelitian R&D adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan suatu

produk tertentu serta menguji efektivitas, kinerja, dan kelayakan produk tersebut melalui tahapan yang sistematis mulai dari perencanaan hingga evaluasi [11]. Tahapan penelitian ini meliputi perancangan produk, pembuatan diagram blok dan *flowchart* sistem, desain *wiring diagram* sistem, pengujian dan implementasi pada sistem *thermal oil heater*, serta evaluasi kinerja sistem melalui pengujian yang dilakukan.

Pengujian sistem dilaksanakan secara bertahap melalui dua tahap, yaitu uji fungsional dan uji kinerja. Uji fungsional bertujuan memastikan seluruh komponen (sensor, *transmitter*, PLC, HMI) bekerja serta saling terintegrasi dengan baik, sedangkan uji kinerja difokuskan pada akurasi pembacaan sensor, respons sistem kontrol terhadap perubahan *set point* suhu dan tekanan, serta kestabilan sistem *monitoring* pada kondisi operasi aktual TOH 1 dan TOH 2 di PT Timah Industri. Pengambilan data pada setiap parameter dilakukan sebanyak lima kali pengulangan pada kondisi operasi normal, dengan membandingkan hasil pembacaan tegangan dan arus sinyal analog 4–20 mA dari *transmitter* terhadap nilai yang ditampilkan pada HMI setelah proses *scaling* di PLC. Kalibrasi instrumen ukur menggunakan multikalibrator sebagai alat acuan, dengan toleransi selisih pembacaan yang ditetapkan sebesar $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ untuk parameter suhu dan $\pm 0,2$ bar untuk parameter tekanan. Konversi sinyal analog 4–20 mA menjadi satuan teknik pada PLC Siemens S7-1200 dilakukan melalui proses *scaling* menggunakan blok fungsi NORM_X dan SCALE_X pada perangkat lunak TIA Portal, sedangkan logika kendali sistem, termasuk pengaturan *set point*, *alarm*, dan *interlock* keselamatan proses, diprogram menggunakan bahasa *ladder diagram*. Pengambilan data pengujian dilakukan pada kondisi TOH 1 dan TOH 2 beroperasi aktif menjalankan proses pemanasan oli, dengan pompa sirkulasi dan burner bekerja pada mode operasi normal pabrik, tanpa pengondisian beban secara terkendali di laboratorium, sehingga variasi nilai suhu dan tekanan antar titik pengambilan data merepresentasikan fluktuasi beban proses yang terjadi secara alami selama operasi.

2.1. Diagram Blok Sistem

Diagram blok berfungsi sebagai gambaran awal sistem dan acuan dalam proses perancangan perangkat keras. Diagram blok sistem pada penelitian ini menunjukkan alur sinyal dari sensor suhu dan tekanan sebagai masukan, kemudian diproses oleh PLC Siemens S7-1200 sebagai pusat kendali, dan selanjutnya ditampilkan pada HMI Weintek MT8102iE sebagai antarmuka pemantauan. Diagram blok sistem kontrol dan *monitoring* suhu dan tekanan pada TOH dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.



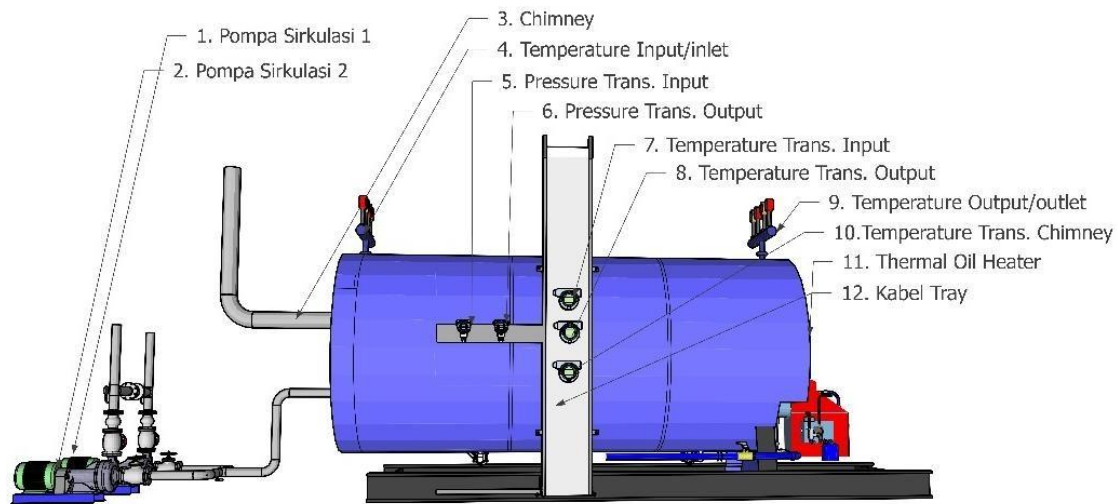
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Gambar 1 merupakan diagram blok sistem yang melibatkan beberapa komponen utama. Proses dimulai dari unit TOH sebagai sumber parameter suhu dan tekanan. Suhu pada titik *inlet*, *outlet*, dan *chimney* diukur menggunakan *thermocouple* tipe K, sedangkan tekanan pada titik *inlet* dan *outlet* diukur menggunakan *pressure transmitter* Endress Hauser PMP51B. Data dari sensor dikirim ke PLC Siemens S7-1200 sebagai pusat pengolahan sistem. Selanjutnya, data ditampilkan pada HMI Weintek MT8102iE untuk *monitoring* suhu dan tekanan secara *real-time* dalam bentuk indikator, grafik, dan *alarm*. Antarmuka HMI dirancang menggunakan EasyBuilder Pro, dan pemantauan jarak jauh dilakukan melalui RVNC Viewer menggunakan laptop atau *smartphone*.

PLC Siemens S7-1200 berfungsi sebagai pengendali utama sistem yang memproses data dari sensor serta menjalankan logika kontrol. PLC ini mengatur pengoperasian sistem kontrol dan *monitoring* sesuai dengan program yang telah dibuat [12]. Modul AI SM1231 berfungsi sebagai modul *input* analog untuk menerima sinyal analog dari sensor suhu dan tekanan. Modul tersebut memungkinkan PLC membaca nilai parameter proses secara akurat. HMI Weintek MT8102iE digunakan sebagai antarmuka antara sistem dan operator. HMI menampilkan data suhu dan tekanan secara *real-time* serta menyediakan menu pengaturan dan *monitoring* sistem [13]. Sensor *thermocouple* tipe K digunakan untuk mengukur suhu *thermal oil* pada sistem pemanas. Sensor tersebut dipilih karena memiliki rentang pengukuran yang luas dan cocok untuk aplikasi suhu tinggi [14]. *Temperature transmitter* WNK6T-1 berfungsi untuk mengonversi sinyal dari *thermocouple* menjadi sinyal standar analog (4–20 mA) yang dapat dibaca oleh PLC [15]. *Pressure transmitter* Endress Hauser PMP51B, digunakan untuk mengukur tekanan pada sistem TOH. Sensor ini menghasilkan sinyal analog yang akurat untuk *monitoring* dan pengendalian tekanan [16]. Easy builder pro digunakan sebagai *software* untuk pemantauan jarak jauh sistem TOH melalui HMI. RVNC Viewer digunakan sebagai media pendukung *monitoring* dan kontrol jarak jauh melalui *smartphone*, terutama untuk mengakses HMI yang terhubung dengan PLC TOH dan digunakan oleh operator untuk memantau parameter suhu dan tekanan pada TOH.

2.2. Desain Sistem

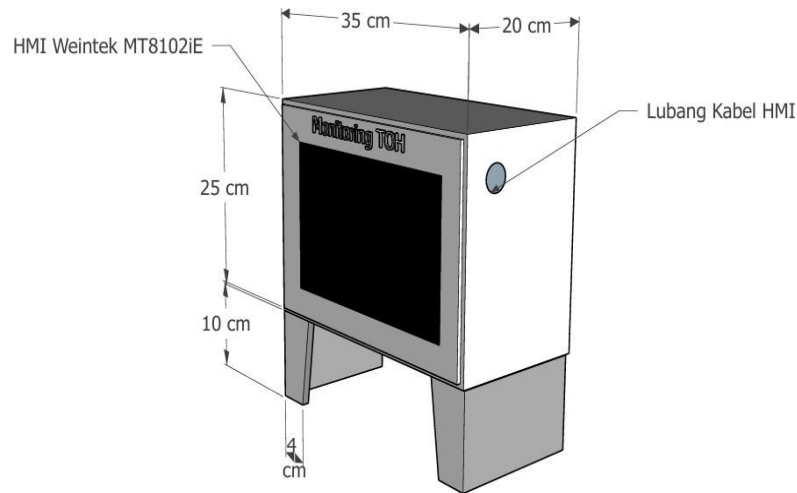
Desain sistem digunakan untuk menggambarkan implementasi fisik alat dan antarmuka pengguna yang dirancang. Desain perangkat keras dibuat menggunakan *software* SketchUp untuk menunjukkan tata letak komponen sistem kontrol dan *monitoring* pada *thermal oil heater*. Sementara itu, desain tampilan HMI dibuat menggunakan EasyBuilder Pro untuk menampilkan parameter suhu dan tekanan secara *real-time*. Desain sistem ini digunakan sebagai acuan dalam proses perakitan perangkat keras dan pengembangan antarmuka sistem. Desain tampilan *layout* sistem *monitoring* TOH dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



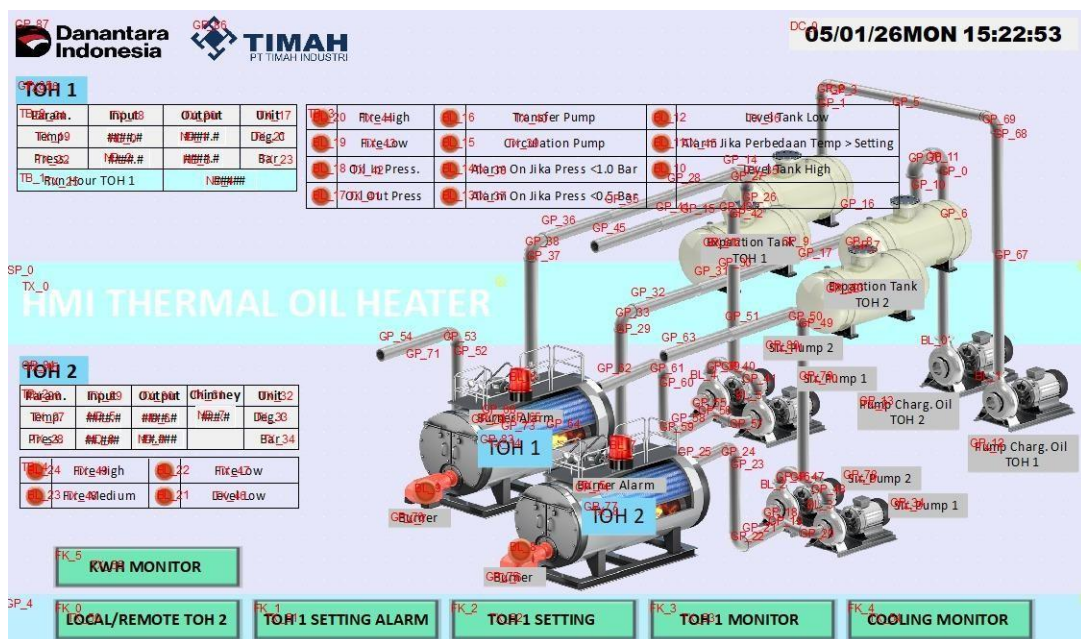
Gambar 2. Desain *Layout* Sistem *Monitoring* TOH

Gambar 2 merupakan desain sistem kontrol dan *monitoring* suhu serta tekanan pada TOH yang dirancang untuk dapat mempermudah operator dalam pemantauan sistem TOH baik saat beroperasi maupun tidak beroperasi. Desain tersebut digunakan sebagai tata letak dan penempatan komponen yang nantinya akan digunakan sebagai acuan selama proses pembuatan sistem. Terdapat beberapa bagian dalam desain tersebut pada sistem TOH, penempatan komponen, yaitu sebagai berikut.

1. Pompa sirkulasi 1 dan 2;
2. Chimney;
3. *Temperature input*;
4. *Pressure Transmitter Input, output*;
5. *Temperature Transmitter Input, output* dan chimney;
6. *Temperature Output*;
7. *Thermal Oil Heater*; dan
8. Kabel Tray

Gambar 3. Desain Panel Weintek MT8102iE untuk *Monitoring* TOH

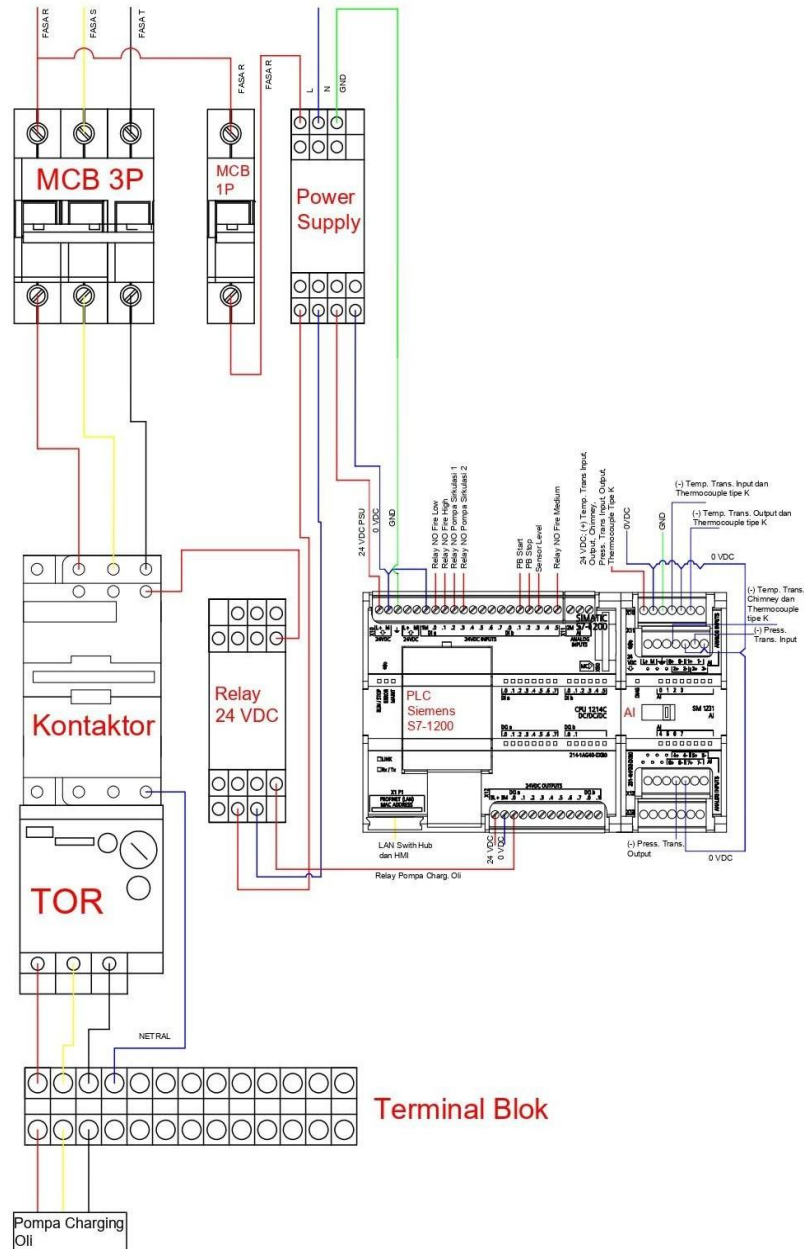
Gambar 3 merupakan desain dari box panel kontrol pada rancang bangun sistem kontrol dan *monitoring* suhu serta tekanan pada TOH, desain box panel yang digunakan pada penelitian ini berukuran 35 cm x 25 cm x 20 cm dengan panjang kaki 10 cm.

Gambar 4. Hasil Desain Tampilan Keseluruhan *Monitoring* TOH 1 dan 2

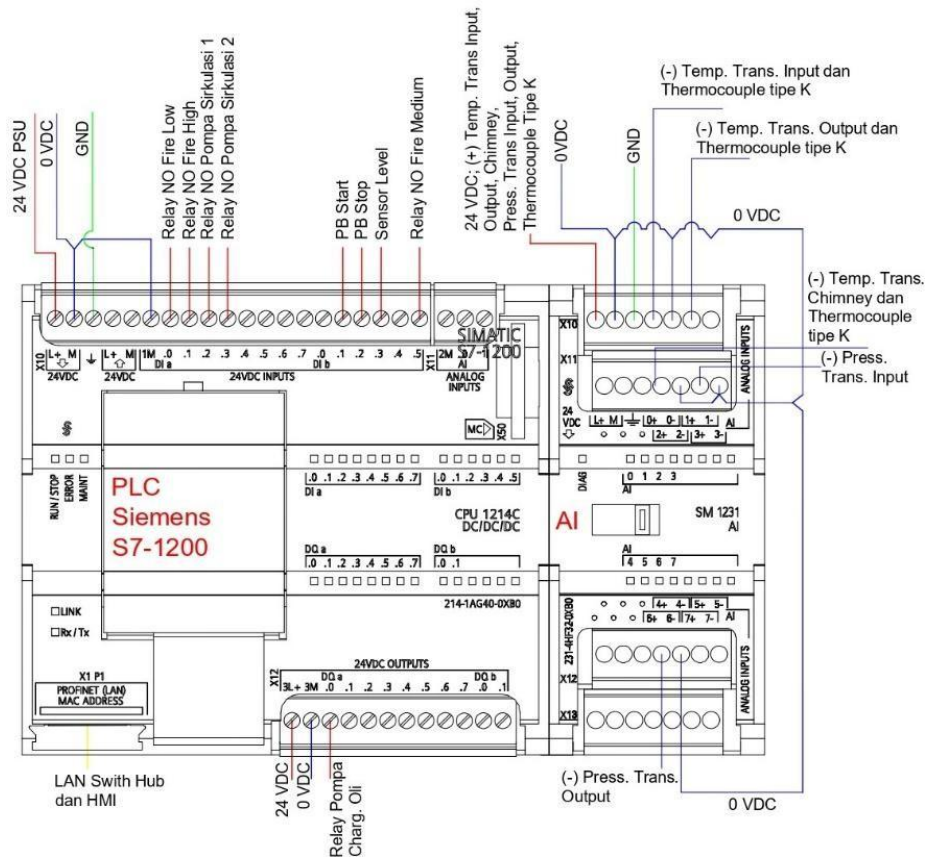
Gambar 4 merupakan tampilan *monitoring* keseluruhan TOH 1 dan TOH 2 yang menampilkan visual sistem berupa tangki, jalur pipa, pompa, dan burner, disertai nilai suhu, tekanan, serta indikator status peralatan. Halaman ini berfungsi sebagai pusat pemantauan kondisi sistem secara menyeluruh.

2.3. Wiring Diagram Rangkaian

Wiring diagram pada penelitian ini meliputi rangkaian sistem kontrol untuk pengisian oli dan rangkaian *monitoring*. Wiring diagram dibuat menggunakan *software* AutoCAD 2023 dan dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 5. Wiring Diagram Sistem Kontrol Pengisian Oli



Gambar 6. Wiring Diagram Sistem Monitoring

Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6, dapat diketahui bahwa pada *Wiring diagram* rangkaian tersebut terdapat pin di setiap komponen yang saling terhubung, pin tersebut dapat yang dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:

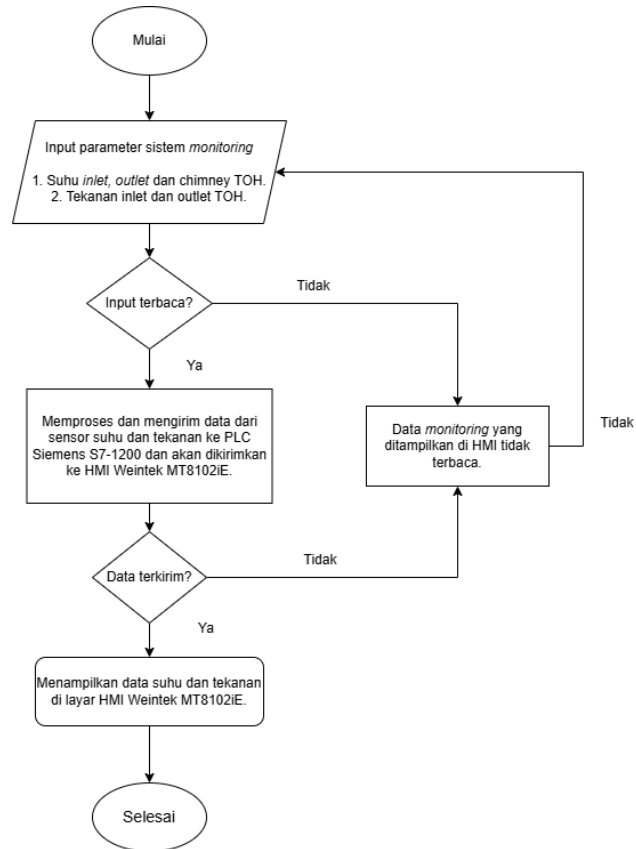
Tabel 1: Koneksi Pin Komponen

No.	Nama Komponen	Koneksi
1.	MCB 3P	R → Sumber R, MCB 1P S → Sumber S T → Sumber T R → Kontaktor pin 1 S → Kontaktor pin 3 T → Kontaktor pin 5
2.	MCB 1P	Input → Sumber Fasa R Output → Sumber L Power Supply
3.	Power Supply	GND → GND PLC (+) 24 VDC → L+ PLC (-) 0 VDC → M PLC (+) 24 VDC → (+) Relay (-) 0 VDC → (-) Relay
4.	Magnetik Kontaktor	A1 → Relay pin 9

No.	Nama Komponen	Koneksi
		A2 → Netral 2 → TOR pin 1 4 → TOR pin 3 6 → TOR pin 5
5.	TOR	TOR pin 2 → Terminal TOR pin 4 → Terminal TOR pin 6 → Terminal
6.	Relay 24 VDC	Pin 5 → DO.0 PLC
7.	PLC Siemens S7-1200	1M → M DIa.0 → Relay NO Fire Low DIa.1 → Relay NO Fire High DIa.2 → Relay NO Pompa Sirkulasi 1 DIa.3 → Relay NO Fire Pompa Sirkulasi 2 Dib.1 → PB Start Dib.2 → PB Stop Dib.3 → Sensor level Dib.5 → Relay NO Fire Medium Socket LAN → Switch Hub, HMI dan jaringan server utama
8.	AI SM1231	L+ → 24 VDC, (+) Temp. Trans. Input, Output, Chimney, Press. Trans. Input, Output, Thermocouple Tipe K 1,2,3 M → 0VDC GND → GND 0+ → (-) Temp. Trans. Input dan Thermocouple tipe K1 0 (-) → (-) Temp. Trans. Output dan Thermocouple tipe K2 2+ → (-) Temp. Trans. Chimney dan Thermocouple tipe K3 2 (-) → 0VDC 3+ → (-) Press. Trans. Input 4+ → (-) Press. Trans. Output 4 (-) → 0VDC

2.4. Flowchart Alur Kerja Sistem

Flowchart alur kerja sistem digunakan untuk menggambarkan proses kerja sistem kontrol dan *monitoring* secara keseluruhan. Proses kerja sistem dapat dipahami dengan adanya *flowchart* secara jelas mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data oleh PLC, hingga penampilan informasi pada HMI. Penggunaan *flowchart* bertujuan untuk memberikan gambaran sistem yang lebih terstruktur dan mudah dipahami, sehingga dapat dijadikan acuan pada tahap perancangan lanjutan dan implementasi sistem. *Flowchart* alur kerja sistem dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 7. Flowchart Alur Kerja Sistem

Gambar 7 merupakan alur kerja sistem dari tahap “Mulai”, yang menandai aktivasi sistem *monitoring*. Setelah sistem aktif, dilakukan *input* parameter berupa data suhu dan tekanan dari beberapa titik penting pada TOH, yaitu suhu *inlet*, *outlet*, dan *chimney*, serta tekanan *inlet* dan *outlet*. Data ini diperoleh melalui sensor suhu dan tekanan yang terpasang pada unit TOH. Selanjutnya, sistem melakukan verifikasi apakah *input* terbaca dengan baik. Jika data berhasil dibaca oleh sensor, maka informasi tersebut akan diproses dan dikirimkan ke PLC Siemens S7-1200. PLC Siemens S7-1200 berfungsi sebagai pusat kendali yang mengolah data sensor dan meneruskannya ke HMI Weintek MT8102iE untuk ditampilkan.

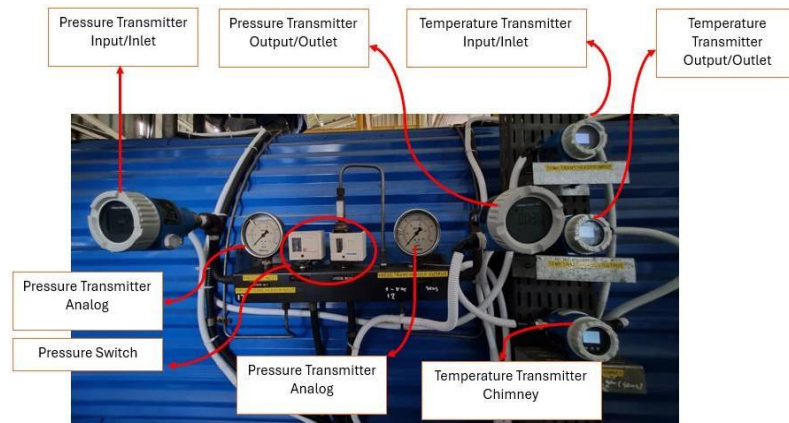
Setelah data dikirim, sistem kembali melakukan pengecekan apakah data berhasil diterima oleh HMI. Jika “Ya”, maka informasi suhu dan tekanan akan ditampilkan secara *real-time* di layar HMI, sehingga operator dapat melakukan pemantauan langsung dan jarak jauh dengan lebih efisien. Proses ini kemudian dinyatakan selesai. Akan tetapi, jika “Tidak” pada tahap pembacaan *input* atau pengiriman data terjadi kegagalan, maka sistem akan menampilkan peringatan bahwa data *monitoring* tidak terbaca di HMI, sehingga operator perlu melakukan pengecekan ulang terhadap sensor atau koneksi sistem.

3. Hasil dan Pembahasan

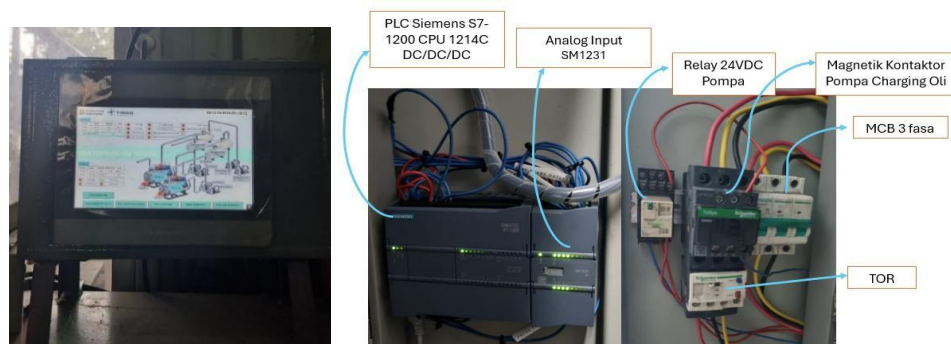
Bagian ini membahas hasil perancangan dan implementasi sistem kontrol dan *monitoring* suhu serta tekanan *thermal oil heater* yang meliputi hasil pengujian fungsional sistem, serta hasil pengujian kinerja pada pengukuran suhu dan tekanan TOH 1 dan TOH 2.

3.1. Hasil Pembuatan Sistem

Sistem kontrol dan *monitoring* suhu serta tekanan pada *thermal oil heater* berhasil dirancang dengan mengintegrasikan perangkat keras, perangkat lunak, dan antarmuka pengguna. Sistem terdiri dari sensor suhu *thermocouple* tipe K, *temperature transmitter*, *pressure transmitter*, PLC Siemens S7-1200, modul analog input SM1231 AI, serta HMI Weintek MT8102iE sebagai antarmuka operator. selain itu terdapat komponen magnetik kontaktor, *Thermal Overload Relay* (TOR) dan *relay*. Hasil pembuatan sistem dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 8. Hasil Instalasi Rangkaian *Temperature* dan *Pressure Transmitter*



Gambar 9. Hasil Instalasi Rangkaian PLC dan HMI

3.2. Hasil Pengujian Fungsional Sistem

Hasil uji fungsional diperoleh bahwa seluruh komponen sistem bekerja sesuai dengan spesifikasi. PLC Siemens S7-1200 mampu membaca sinyal *input*, mengolah logika program, serta mengendalikan *output* dengan baik. Modul analog SM1231 AI dapat menerima sinyal arus 4–20 mA secara stabil. HMI mampu menampilkan data suhu dan tekanan secara *real-time*, mengirim perintah kontrol ke PLC, serta menampilkan *alarm* dan *history alarm* dengan baik. Sensor suhu *thermocouple* tipe K dan *temperature transmitter* WNK6T-1 berfungsi dengan baik, selisih pembacaan berada pada rentang 0 hingga sekitar $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. *Pressure transmitter* PMP51B juga menunjukkan selisih sangat kecil, dengan selisih maksimum sekitar $\pm 0,2$ bar. Hal ini menandakan sistem pengukuran dan akuisisi data bekerja akurat dan andal.

3.3. Hasil Pengujian Kinerja Sistem

Pengujian kinerja sistem dilakukan untuk mengevaluasi akurasi, kestabilan, dan keandalan sistem *monitoring* suhu dan tekanan pada TOH. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membaca parameter proses secara *real-time* serta kesesuaian hasil pembacaan sensor. Parameter yang diuji meliputi pembacaan suhu pada bagian *input* dan *output* TOH 1 dan TOH 2, suhu *chimney* TOH 2, serta tekanan pada bagian *input* dan *output* TOH 1 dan TOH 2 sebagai berikut.

3.3.1. Pembacaan Suhu *Input, output* TOH 1, TOH 2 dan *Chimney* TOH 2

Pengujian pembacaan suhu *input* dan *output* dilakukan untuk mengetahui akurasi sensor suhu dan *transmitter* dalam mengukur suhu *thermal oil* pada TOH 1, TOH 2 dan pengujian suhu *chimney* dilakukan untuk memantau suhu gas buang hasil pembakaran pada TOH 2. Data pembacaan disajikan pada Tabel 2 sebagai berikut.

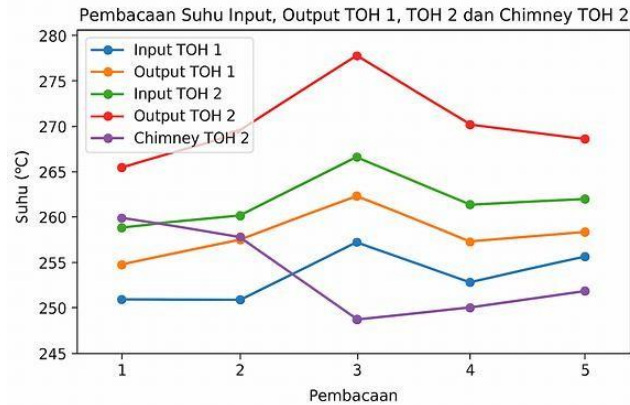
Tabel 2: Pembacaan Suhu *Input, Output* TOH 1, TOH 2 dan *Chimney* TOH 2

No	TOH 1		TOH 2		Chimney TOH 2 (°C)
	Input (°C)	Output (°C)	Input (°C)	Output (°C)	
1.	254	262.6	264.8	274.6	263
2.	256.4	263.9	258.4	245.1	272
3.	258.3	268.5	260.1	258.4	244.3
4.	246.3	256.8	267	253.7	255
5.	260.2	265.0	252.1	257.6	265

Berdasarkan Tabel 2, suhu *input* dan *output* pada TOH 1 dan TOH 2 serta suhu *chimney* TOH 2 berada pada rentang operasi normal selama pengujian. Suhu *input* pada TOH 1 berada pada rentang 254–260,2°C dan suhu *output* 256,8–268,5°C. Suhu *input* pada TOH 2 berada pada rentang 252,1–267°C dan suhu *output* 245,1–274,6°C. Suhu *chimney* TOH 2 berada pada rentang 244,3–272°C, yang menunjukkan proses pembakaran berlangsung dengan baik dan gas buang berada pada kondisi yang stabil. Secara umum, data pengujian menunjukkan sistem *monitoring* suhu mampu membaca parameter proses secara *real-time* dan memberikan hasil yang konsisten, sehingga sistem dapat digunakan untuk pengawasan operasi *thermal oil heater*. Secara statistik deskriptif, kelima data suhu input TOH 1 memiliki rata-rata 255,0°C dengan simpangan baku 5,4°C (KV 2,1%), suhu output TOH 1 rata-rata 263,4°C dengan simpangan baku 4,3°C (KV 1,6%), suhu input TOH 2 rata-rata 260,5°C dengan simpangan baku 5,8°C (KV 2,2%), suhu output TOH 2 rata-rata 257,9°C dengan simpangan baku 10,7°C (KV 4,2%), serta suhu chimney TOH 2 rata-rata 259,9°C dengan simpangan baku 10,6°C (KV 4,1%). Nilai koefisien variasi yang relatif kecil (di bawah 5%) pada seluruh titik pengukuran menunjukkan bahwa fluktuasi suhu antar pengambilan data masih berada pada rentang operasi yang wajar. Variasi suhu yang teramati, khususnya pada suhu output dan chimney TOH 2, secara teknis dipengaruhi oleh perubahan laju pembakaran (*firing rate*) burner mengikuti kebutuhan panas proses, fluktuasi laju alir sirkulasi oli, kehilangan panas (*heat loss*) ke lingkungan sekitar unit TOH, serta waktu tunda (*time lag*) perpindahan panas dari sisi pembakaran menuju titik pengukuran output dan chimney. Perlu digarisbawahi bahwa nilai statistik ini dihitung dari lima titik pengambilan data pada tiap parameter sebagaimana

disajikan pada Tabel 2, sehingga bersifat indikatif dan belum merepresentasikan variabilitas proses dalam jangka waktu operasi yang panjang.

Gambar 10 berikut disajikan Grafik hasil pembacaan suhu *input* dan *output* TOH 1, TOH 2 dan suhu *chimney* pada TOH 2 selama pengujian untuk mengevaluasi kestabilan sistem *monitoring* suhu. Grafik diperlihatkan bahwa suhu berada pada rentang operasi normal dan relatif stabil, sehingga sistem *monitoring* dapat bekerja dengan baik.



Gambar 10. Grafik Pembacaan Suhu *Input*, *Output* TOH 1 dan TOH 2

3.3.2. Pembacaan Tekanan *Input*, *output* TOH 1 dan TOH 2

Pengujian tekanan *input* dan *output* dilakukan untuk mengevaluasi kinerja *pressure transmitter* dalam mengukur tekanan *fluida thermal oil*. Parameter tekanan diukur pada sisi *input* dan *output* sistem untuk mengetahui karakteristik aliran serta penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi selama proses pemanasan dan distribusi oli termal. Data pembacaan disajikan pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3: Pembacaan Tekanan *Input*, *output* TOH 1 dan TOH 2

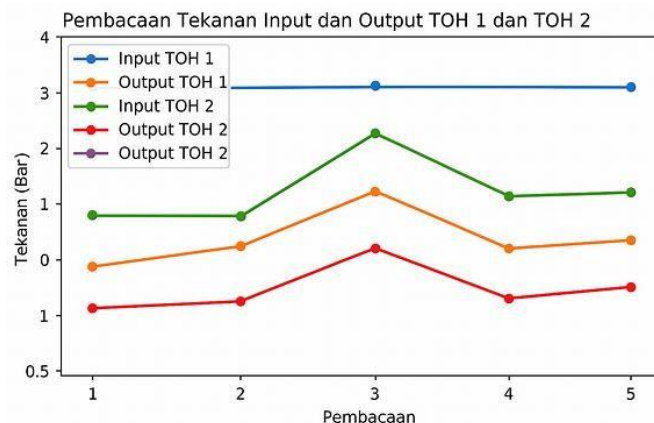
No	TOH 1		TOH 2	
	Input (Bar)	Output (Bar)	Input (Bar)	Output (Bar)
1.	3.7	1.1	2.2	1.7
2.	3.7	1.3	2.5	2
3.	3.7	1.2	3.7	1.5
4.	3.7	1.1	2.7	1.2
5.	3.7	1.2	2.9	1.1

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh bahwa tekanan *input* pada TOH 1 relatif stabil pada nilai 3,7 bar untuk seluruh pengujian. Tekanan *output* TOH 1 berada pada rentang 1,1–1,3 bar, yang menunjukkan adanya penurunan tekanan setelah proses pemanasan dan sirkulasi oli. Tekanan *input* pada TOH 2 berada pada rentang 2,2–3,7 bar, sedangkan tekanan *output* berada pada rentang 1,1–2,0 bar. Variasi tekanan *input* TOH 2 disebabkan oleh perbedaan kondisi operasi dan beban sistem selama pengujian. Secara umum, tekanan *output* yang lebih rendah dibandingkan tekanan *input* disebabkan adanya *pressure drop* yang normal akibat gesekan *fluida* dan komponen sistem, sehingga sistem sirkulasi oli termal dapat dikatakan bekerja secara stabil dan sesuai karakteristik aliran *fluida*. Penurunan tekanan ini secara teknis disebabkan oleh gesekan *fluida* terhadap dinding pipa (*major losses*), hambatan pada

sambungan, katup, dan perubahan penampang aliran (*minor losses*), serta tahanan aliran saat oli melewati elemen pemanas pada TOH. Selama nilai pressure drop berada pada rentang yang teramati dan tidak menunjukkan kenaikan tren yang signifikan, kondisi ini masih berada pada batas aman operasi dan mengindikasikan tidak adanya penyumbatan jalur maupun kebocoran sistem yang berarti. Kestabilan tekanan input dan output ini turut berkontribusi terhadap efisiensi energi, karena aliran oli termal yang tidak mengalami hambatan berlebih akan menjaga laju perpindahan panas tetap optimal, sekaligus mendukung aspek keselamatan operasi dengan mencegah kondisi tekanan berlebih (*overpressure*) yang berpotensi membebani pompa sirkulasi dan sambungan perpipaan.

Secara statistik deskriptif, tekanan input TOH 1 tercatat konstan pada 3,7 bar (simpangan baku 0,00), sedangkan tekanan output TOH 1 memiliki rata-rata 1,18 bar dengan simpangan baku 0,08 bar (KV 7,1%). Tekanan input TOH 2 memiliki rata-rata 2,80 bar dengan simpangan baku 0,57 bar (KV 20,2%), sedangkan tekanan output TOH 2 memiliki rata-rata 1,50 bar dengan simpangan baku 0,37 bar (KV 24,5%). Variasi (KV) yang lebih besar pada tekanan TOH 2 dibandingkan TOH 1 mengindikasikan bahwa TOH 2 mengalami fluktuasi beban proses yang lebih dinamis selama pengambilan data, sementara nilai simpangan baku yang tetap kecil secara absolut (kurang dari 0,6 bar) menunjukkan tekanan sistem masih berada pada rentang operasi yang aman dan tidak menunjukkan indikasi kegagalan komponen. Sebagaimana pada data suhu, nilai statistik ini bersifat indikatif karena dihitung dari lima titik pengambilan data dan belum mencerminkan variabilitas proses dalam jangka waktu operasi yang lebih panjang.

Gambar 11 berikut disajikan Grafik hasil pengujian tekanan *input* dan *output* pada TOH 1 dan TOH 2 untuk setiap pengambilan data. Grafik ini digunakan untuk melihat perbedaan tekanan sebelum dan sesudah proses pemanasan oli serta kestabilan sistem selama pengujian.



Gambar 11. Grafik Pembacaan Tekanan *Input*, *output* TOH 1 dan TOH 2

3.3.3. Hasil Pengujian Kinerja Kontrol dan Alarm

Selain kemampuan *monitoring*, fungsi kontrol sistem turut diuji untuk membuktikan bahwa sistem tidak hanya memantau, tetapi juga mengendalikan proses secara aktif. Pengujian dilakukan dengan mengubah nilai *set point* suhu (*high fire limit*, *upper limit*, *safety oil temperature*, serta *limit oil temperature* SP1 dan SP2) dan *set point* tekanan (*limit low oil in/out pressure*, *limit high oil pressure*) melalui *keypad integer* pada HMI. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap perubahan *set point* direspons oleh sistem tanpa keterlambatan

maupun gangguan, dengan pompa sirkulasi dan burner bekerja sesuai logika ladder diagram yang telah diprogram pada PLC. Pengujian fungsi alarm dan *interlock* keselamatan turut dilakukan pada parameter level oli rendah (*level oil low*), suhu oli input dan output tinggi/rendah (*oil in/out high dan low*). Seluruh parameter alarm yang diuji berhasil menampilkan pesan peringatan pada HMI dan tercatat pada *history alarm*, sehingga fungsi proteksi dan *interlock* keselamatan proses dinyatakan bekerja sesuai rancangan. Hasil ini melengkapi data pengujian *monitoring* pada bagian sebelumnya dan menunjukkan bahwa klaim sistem kontrol dan *monitoring* pada penelitian ini didukung oleh bukti pengujian pada kedua aspek, yaitu ketepatan pembacaan sensor dan responsivitas fungsi kendali serta keselamatan proses. Perlu ditegaskan bahwa evaluasi respons sistem pada penelitian ini bersifat kualitatif, yaitu berdasarkan pengamatan langsung terhadap kesesuaian pembacaan sensor suhu dan tekanan untuk ditampilkan pada HMI setiap kali *set point* diubah, tanpa pengukuran waktu respons secara kuantitatif (dalam satuan detik). Pengujian pada kondisi abnormal juga masih terbatas pada skenario alarm dan *interlock* yang telah diprogram (level oli rendah serta suhu oli tinggi/rendah), dan belum mencakup simulasi gangguan tambahan seperti kegagalan sensor atau deviasi ekstrem dari *set point*. Pengukuran waktu respons kuantitatif serta pengujian pada skenario gangguan yang lebih luas direkomendasikan sebagai penelitian lanjutan untuk memperkuat validasi performa kontrol sistem.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol dan *monitoring* suhu serta tekanan pada *thermal oil heater* berbasis PLC Siemens S7-1200 dan HMI Weintek MT8102iE di PT Timah Industri. Sistem terintegrasi dengan sensor *thermocouple* tipe K, *temperature transmitter*, dan *pressure transmitter* untuk memperoleh data parameter suhu dan tekanan secara *real-time*. Hasil pengujian fungsional diperoleh bahwa seluruh komponen sistem bekerja sesuai spesifikasi. Sistem mampu menampilkan parameter suhu dan tekanan secara *real-time* melalui HMI. Pengujian kinerja diperoleh pada suhu *input, output*, dan *chimney* berada pada rentang operasi normal dengan selisih pengukuran sekitar $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, serta tekanan *input* dan *output* menunjukkan karakteristik *pressure drop* yang sesuai dengan kondisi aliran *fluida* pada sistem pemanas oli. Keunggulan penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya adalah integrasi sistem kontrol dan *monitoring* yang diuji dan diimplementasikan langsung pada lingkungan industri, sehingga ditunjukkan keandalan sistem dalam kondisi operasi nyata. Pengujian kinerja pada penelitian ini masih dilakukan dalam cakupan pengambilan data yang terbatas, sehingga pengujian lanjutan dengan durasi operasi yang lebih panjang, jumlah pengulangan yang lebih banyak, serta analisis statistik dan data berbasis waktu diperlukan untuk memperkuat akurasi dan keandalan sistem secara lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ali, F. Haiqal, D. Ajiyanto, and M. Ali, "Optimasi Thermal Oil Heater Menggunakan ACO Sebagai Tuning PID Controller," *Nucleus J.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–11, 2023.
- [2] E. I. Gunawan, M. Ali, and H. Nurohmah, "Optimasi Thermal Oil Heater Menggunakan PSO Sebagai Tuning PID Controller," *J. Nucl. J. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 2, pp. 53–64, 2022.
- [3] A. F. Rifani, "Rancang Bangun Sirkulasi Thermal Oil Heater Bagi Sarana Pembelajaran,"

Politek. Ilmu Pelayaran Semarang Repos., 2023.

- [4] Cahyadi, T. Hidayat, Y. Ahda, and T. Sutardi, "Enhancing Energy Efficiency of Thermal Oil System in Gas Processing Plant," in *Research Center for Energy Conversion & Conservation National*, 2024.
- [5] M. T. A. Seman, M. N. Abdullah, and M. K. Ishak, "Monitoring temperature , humidity and controlling system in industrial fixed room storage based on IoT," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 15, no. 6, pp. 3588–3600, 2020.
- [6] W. G. Buratto *et al.*, "A Review of Automation and Sensors : Parameter Control of Thermal Treatments for Electrical Power Generation," *J. Sensors*, vol. 3, no. 24, pp. 1–23, 2024, doi: <https://doi.org/10.1038/s41378-024-00723-3>.
- [7] *Industrial automation and control systems*. ISA Publications, 2021.
- [8] Doan and Thanh, "Liquid Level Stabilization Using Fuzzy Algorithm with PLC S7-1200," *EJS J.*, vol. 7, no. 1, pp. 93–101, 2025.
- [9] D. O. Tambun, "Rancang Bangun *Monitoring* dan Kendali Miniatur Pembangkit Listrik Tenaga Uap," pp. 1–31, 2024.
- [10] N. F. Aulia, "Evaluasi Kinerja Pompa Sentrifugal pada Sistem Thermal Oil di Industri Pengolahan Makanan Menggunakan Software PSAT," *Eksergi J. Energi dan Teknol. Termal*, vol. 17, no. 3, pp. 239–251, 2021.
- [11] Sugiyono, *Metode penelitian dan pengembangan (Research and Development/R&D)*. Alfabeta, 2019.
- [12] Asole, Bogir, and Darekar, "Design and implementation of a web-based control and monitoring system using Siemens S7-1200 PLC," *Int. J. Adv. Res. Sci. Commun. Technol.*, vol. 5, no. 3, pp. 112–118, 2025.
- [13] S. Adriel, M. Mulyadi, B. Kartadinata, and L. Wijayanti, "Penggunaan Human Machine Interface untuk simulasi pengolahan minyak kelapa sawit," *J. Elektro*, vol. 13, no. 1, pp. 21–30, 2020.
- [14] D. P. Sari, Evelina, S. Rasyad, Amperawan, and S. Muslimin, "Kendali suhu air dengan sensor termokopel tipe-K pada simulator sistem pengisian botol otomatis," *J. Ampere*, vol. 3, no. 1, pp. 128–134, 2018.
- [15] Habibie, Lubis, and Toruan, "Rancang bangun temperature transmitter pada sistem kontrol tangki menggunakan PLC berbasis SCADA dan IoT," in *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*, 2025.
- [16] R. T. Wintio, B. W. Dionova, and A. Yusuf, "Validation of Pressure Transmitter Input / Output Loop Testing Based on Hybrid Analog and Digital," *J. Eksergi*, vol. 21, no. 1, pp. 1–6, 2025.