

**PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM *PURGING*
OTOMATIS PADA *SAMPLE PROBE* CEMS (*CONTINUOUS
EMISSION MONITORING SYSTEM*) UNTUK
MENINGKATKAN AKURASI PEMANTAUAN EMISI
DI PLTGU PT JAWA SATU POWER**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG



DISUSUN OLEH:

AKHMAD RIZKYA

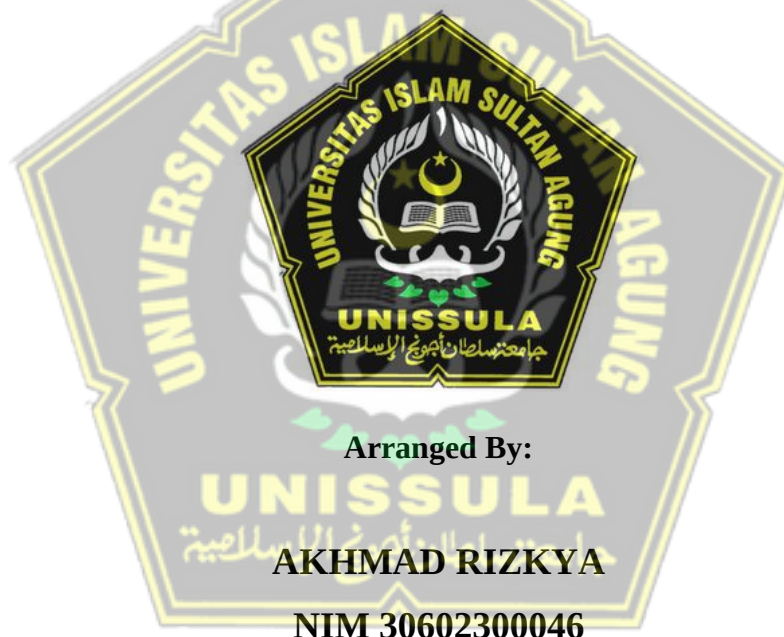
NIM 30602300046

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
AGUSTUS 2025**

FINAL PROJECT

DESIGN AND SIMULATION OF AUTOMATIC PURGING SYSTEM ON CEMS SAMPLE PROBE TO IMPROVE EMISSION MONITORING ACCURACY AT PLTGU PT JAWA SATU POWER

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at
Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung*



Arranged By:

AKHMAD RIZKYA

NIM 30602300046

**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
AUGUST 2025**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul **“PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM PURGING OTOMATIS PADA SAMPLE PROBE CEMS (CONTINUOUS EMISSION MONITORING SYSTEM) UNTUK MENINGKATKAN AKURASI PEMANTAUAN EMISI DI PLTGU PT JAWA SATU POWER”** ini disusun oleh:

Nama : Akhmad Rizkya
NIM : 30602300046
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Kamis
Tanggal : 14 Agustus 2025

Pembimbing


Dedi Nugroho, S.T., M.T.

NIDN. 0617126602

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro




Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.

NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM PURGING OTOMATIS PADA SAMPLE PROBE CEMS (CONTINUOUS EMISSION MONITORING SYSTEM) UNTUK MENINGKATKAN AKURASI PEMANTAUAN EMISI DI PLTGU PT JAWA SATU POWER**” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 14 Agustus 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

Agus Suprajitno, S.T., M.T.

NIDN. 0602047301

(Ketua Penguji)

Dr. Gunawan, S.T., M.T.

NIDN. 0607117101

(Penguji I)

Dedi Nugroho, S.T., M.T.

NIDN. 0617126602

(Penguji II)

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Akhmad Rizkya
NIM : 30602300046
Fakultas : Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi Industri UNISSULA Semarang** dengan judul **“PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM PURGING OTOMATIS PADA SAMPLE PROBE CEMS (*CONTINUOUS EMISSION MONITORING SYSTEM*) UNTUK MENINGKATKAN AKURASI PEMANTAUAN EMISI DI PLTGU PT JAWA SATU POWER”**, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Karawang, 3 Agustus 2025

Yang menyatakan



Akhmad Rizkya

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Akhmad Rizkya
NIM : 30602300046
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul **“PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM PURGING OTOMATIS PADA SAMPLE PROBE CEMS (CONTINUOUS EMISSION MONITORING SYSTEM) UNTUK MENINGKATKAN AKURASI PEMANTAUAN EMISI DI PLTGU PT JAWA SATU POWER”** dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Karawang, 3 Agustus 2025

Yang menyatakan



Akhmad Rizkya

Halaman Persembahan

Dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur yang mendalam, laporan tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan nikmat iman, kesehatan, kesempatan, serta kekuatan lahir dan batin sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini hingga tuntas.
2. Kedua orang tua tercinta, yang selalu mendoakan, mendukung, dan menjadi sumber semangat dalam setiap langkah hidup saya. Terima kasih atas kasih sayang, pengorbanan dan doanya yang tiada henti.
3. Istriku tersayang dan anakku tercinta, yang menjadi sumber motivasi terbesar dan penguat hati di setiap perjuangan. Terima kasih atas kesabaran, doa dan cinta yang tulus.
4. Dosen pembimbing, Bapak Dedi Nugroho, S.T., M.T., yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, ketelitian dan keikhlasan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
5. Seluruh keluarga besar dan sahabat-sahabat terbaik, yang selalu memberi dukungan moril, motivasi dan semangat tanpa lelah.
6. Rekan-rekan tim I&C Maintenance PT Jawa Satu Power yang telah membantu memberikan pengetahuan serta pengalaman yang sangat berharga selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Semoga karya sederhana ini dapat memberikan manfaat dan menjadi langkah awal untuk terus berkarya di bidang teknik dan otomasi industri.

Halaman Motto

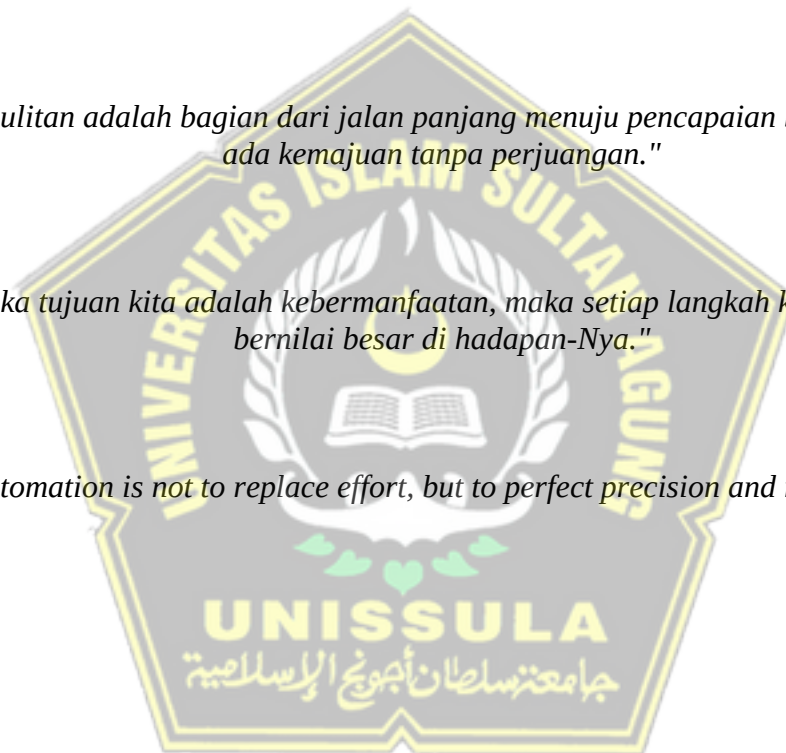
"Ketekunan dalam proses dan kesungguhan dalam niat akan membimbing setiap langkah menuju keberhasilan."

"Ilmu bukan sekadar untuk diketahui, tetapi untuk diamalkan dan memberi manfaat bagi sesama."

"Kesulitan adalah bagian dari jalan panjang menuju pencapaian besar. Tidak ada kemajuan tanpa perjuangan."

"Ketika tujuan kita adalah kebermanfaatan, maka setiap langkah kecil menjadi bernilai besar di hadapan-Nya."

"Automation is not to replace effort, but to perfect precision and reliability."



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur tak henti penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya karena atas izin-Nya lah peneliti dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM PURGING OTOMATIS PADA SAMPLE PROBE CEMS (CONTINUOUS EMISSION MONITORING SYSTEM) UNTUK MENINGKATKAN AKURASI PEMANTAUAN EMISI DI PLTGU PT JAWA SATU POWER”**. Penyusunan Tugas Akhir ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyadari Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, karena didalamnya masih terdapat kekurangan-kekurangan. Hal ini dikarenakan keterbatasan yang dimiliki oleh penulis baik dalam segi kemampuan, pengetahuan serta pengalaman penulis. Oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun agar dalam penyusunan karya tulis selanjutnya dapat menjadi lebih baik.

Proses penulisan Tugas Akhir ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan, kerjasama dari berbagai pihak baik moril maupun materil, terutama kepada Bapak Dedi Nugroho, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing, yang dengan sabar, dan ikhlas meluangkan waktu, tenaga dan pikiran serta memberikan bimbingan, motivasi, arahan, dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis selama menyusun Tugas Akhir ini.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, diantaranya yaitu kepada :

1. Orang tua, kakak, istri, anak dan keluarga yang tak henti-hentinya memberikan doa dan dukungan serta kasih sayang yang tulus sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

2. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, S.H., M.Hum selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. selaku Dosen Wali Teknik Elektro angkatan 2023 yang telah banyak membantu penulis selama perkuliahan.
6. Bapak Dedi Nugroho, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan kepada penulis.
7. Seluruh Staff dosen Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmu yang tak ternilai harganya, masukan, pemikiran dan tenaga selama proses pembelajaran yang dapat menambah wawasan bagi penulis.
8. Teman-teman Kelas Sore Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
9. Bapak Sanif Syafrani selaku mentor pada PT Jawa Satu Power yang memberikan pelajaran dan bantuan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
10. Teman-teman tim I&C Maintenance PT Jawa Satu Power yang telah banyak memberikan dukungan dan semangat.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak bisa disebutkan satu-persatu terimakasih atas do'a serta dukungan yang sangat berharga bagi penulis.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semuanya yang telah membantu dalam penulisan Tugas Akhir ini. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi para pembaca.

Karawang, 3 Agustus 2025



Akhmad Rizkya

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR ...	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH.....	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR ISTILAH	xix
ABSTRAK	xxii
BAB I : PENDAHULUAN.....	24
1.1 Latar Belakang	24
1.2 Perumusan Masalah.....	27
1.3 Pembatasan Masalah	27
1.4 Tujuan.....	28
1.5 Manfaat.....	28
1.5.1. Manfaat bagi penulis	28
1.5.2. Manfaat bagi perusahaan.....	29
1.6 Sistematika Penulisan.....	29
1.6.1. Bagian awal tugas akhir	29
1.6.2. Bagian utama tugas akhir	29
1.6.3. Bagian akhir tugas akhir.....	30
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	31
2.1 Tinjauan Pustaka	31
2.2 Landasan Teori	33
2.2.1 Profil perusahaan.....	33
2.2.2 Continuous emission monitoring system (CEMS)	35
2.2.3 Sample probe.....	37
2.2.4 Sistem purging	38

2.2.5	<i>Programmable logic controller (PLC)</i>	39
2.2.6	Sistem kontrol	41
2.2.7	Sistem instrumentasi	43
2.2.7.1	Pressure transmitter	43
2.2.7.2	Flow meter dan flow switch	44
2.2.7.3	Temperature element (RTD PT100).....	46
2.2.8	Aktuator (<i>solenoid valve</i>).....	47
2.2.9	<i>Preventive dan corrective maintenance</i>	48
2.2.10	Permen LHK No. 15 Tahun 2019	48
BAB III : METODE PENELITIAN / PERANCANGAN		51
3.1	Alur dan Tahapan Penelitian / Perancangan.....	51
3.1.1	Alur penelitian / perancangan	51
3.1.2	Tahapan penelitian / perancangan.....	52
3.2	Lokasi & Obyek Penelitian	53
3.2.1	Lokasi penelitian	53
3.2.2	Obyek penelitian	53
3.3	Metode Pengumpulan Data	53
3.3.1	Studi dokumentasi.....	53
3.3.1.1	Desain sistem continuous emission monitoring systems (CEMS) 53	
3.3.1.2	Data maintenance	54
3.3.2	Observasi lapangan	56
3.3.2.1	Alat dan bahan.....	56
3.3.2.2	Data komponen.....	57
3.3.2.2.1	Spesifikasi PLC.....	57
3.3.2.2.2	Spesifikasi pressure transmitter	57
3.3.2.3	Parameter sistem proteksi.....	58
3.3.2.3.1	<i>Stack pressure</i>	58
3.3.2.3.2	<i>Sample flow</i>	59
3.3.2.3.3	Suhu <i>heated line</i> dan <i>sample probe</i>	59
3.3.2.3.4	Mode kalibrasi dan <i>stack control</i>	60
3.3.2.4	Koneksi pada sistem PLC.....	61

3.3.2.4.1	<i>Stack pressure (absolute pressure)</i>	61
3.3.2.4.2	Suhu <i>heated line</i> dan <i>sample probe</i>	62
3.3.2.4.3	Mode kalibrasi dan <i>control stack</i>	63
3.3.2.4.4	Solenoid probe cleaning enable dan probe filter cleaning.....	64
3.3.3	Perancangan sistem	67
3.3.3.1	Perancangan sistem otomatis berdasarkan sistem proteksi instrumentasi	67
3.3.3.2	Perancangan sistem purging otomatis berdasarkan timer	69
3.4	Metode Analisa.....	71
BAB IV : DATA DAN ANALISA.....		73
4.1	Data Penelitian	73
4.1.1	Kondisi sistem <i>purging</i> manual	73
4.1.1.1	Start sistem purging manual	73
4.1.1.2	Stop sistem purging manual	75
4.1.2	Kondisi sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan parameter instrumentasi.....	76
4.1.2.1	Start sistem purging otomatis berdasarkan parameter instrumentasi	76
4.1.2.2	Stop sistem purging otomatis berdasarkan parameter instrumentasi	81
4.1.3	Kondisi sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan timer.....	83
4.1.3.1	Start sistem purging otomatis berdasarkan timer	83
4.1.3.2	Stop sistem purging otomatis berdasarkan timer	85
4.2	Analisa.....	86
4.2.1	Analisa sistem <i>purging</i> manual.....	86
4.2.2	Analisa sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan parameter instrumentasi.....	87
4.2.3	Analisa sistem purging otomatis berdasarkan timer	88
4.2.4	Analisa perbandingan sistem purging manual dan otomatis.....	89
BAB V : PENUTUP		91
5.1	Kesimpulan.....	91
5.2	Saran	91
DAFTAR PUSTAKA		93

LAMPIRAN.....	95
---------------	----



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku mutu emisi PLTG dan PLTGU.....	50
Tabel 4.1 Keterbatasan sistem <i>purging</i> manual	86
Tabel 4.2 Analisa sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan parameter instrumentasi	87
Tabel 4.3 Analisa sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan timer	89
Tabel 4.4 Perbandingan sistem <i>purging</i> manual dan otomatis	89



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 PLTGU PT Jawa Satu Power	34
Gambar 2.2 CEMS <i>Analyzer</i> PLTGU PT Jawa Satu Power	36
Gambar 2.3 Flow chart (diagram sistem) cara kerja CEMS	37
Gambar 2.4 <i>Sample Probe</i> CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power	38
Gambar 2.5 <i>Purging Box</i> CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power	39
Gambar 2.6 Komponen Utama PLC	40
Gambar 2.7 PLC Allen-Bradley FlexI/O	41
Gambar 2.8 Sistem Kontrol PLC Sistem <i>Purging</i> CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power	43
Gambar 2.9 <i>Pressure Transmitter</i> CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power	44
Gambar 2.10 <i>Flow meter</i> CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power	45
Gambar 2.11 Flow switch	46
Gambar 2.12 RTD PT100 Heated Line Sampling CEMS	47
Gambar 2.13 Aktuator <i>solenoid valve</i>	48
Gambar 3.1 Alur penelitian / perancangan	51
Gambar 3.2 P&ID sistem CEMS & sistem <i>purging</i>	54
Gambar 3.3 Jadwal <i>Work Order Preventive Maintenance</i> CEMS Shelter	55
Gambar 3.4 <i>Form Preventive Maintenance</i> CEMS Shelter	55
Gambar 3.5 Kerusakan yang ditemukan saat <i>Corrective Maintenance</i>	56
Gambar 3.6 <i>Trend</i> pembacaan <i>stack pressure</i> CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power	58
Gambar 3.7 P&ID setingan <i>flow gas sample</i>	59
Gambar 3.8 <i>Set point</i> suhu <i>heated line</i> dan <i>sample probe</i>	60
Gambar 3.9 Mode kalibrasi & <i>stack control</i> CEMS PT Jawa Satu Power	61
Gambar 3.10 Koneksi <i>stack pressure transmitter</i> pada PLC	62
Gambar 3.11 Koneksi suhu <i>heated line</i> dan <i>sample probe</i> pada PLC	63
Gambar 3.12 Koneksi mode kalibrasi dan <i>control stack</i> pada PLC	64
Gambar 3.13 Koneksi <i>probe cleaning enable</i> dan <i>probe filter cleaning</i> pada PLC	65
Gambar 3.14 Program <i>ladder diagram</i> PLC sistem <i>purging</i> CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power	66
Gambar 3.15 Flowchart sistem berdasarkan sistem proteksi instrumentasi	67

Gambar 3.16 Diagram blok sistem berdasarkan sistem proteksi instrumentasi....	68
Gambar 3.17 Flowchart sistem berdasarkan <i>timer</i>	69
Gambar 3.18 Diagram blok sistem berdasarkan timer.....	70
Gambar 4.1 Tampilan HMI saat kondisi start sistem <i>purging</i> manual	74
Gambar 4.2 Tampilan <i>logic ladder diagram PLC</i> saat kondisi start sistem <i>purging</i> manual	74
Gambar 4.3 Tampilan HMI saat kondisi <i>stop</i> sistem <i>purging</i> manual	75
Gambar 4.4 Tampilan <i>logic ladder diagram PLC</i> saat kondisi <i>stop</i> sistem <i>purging</i> manual	76
Gambar 4.5 Tampilan HMI saat kondisi start sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan parameter <i>pressure stack abnormal</i>	77
Gambar 4.6 Tampilan <i>logic ladder diagram PLC</i> pengkondisi sinyal <i>stack pressure</i> dan <i>output stack pressure abnormal</i> aktif.....	78
Gambar 4.7 Tampilan <i>logic ladder diagram PLC</i> saat kondisi start sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan parameter <i>pressure stack abnormal</i>	79
Gambar 4.8 Tampilan HMI saat kondisi start sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan parameter <i>sample flow</i> tidak normal.....	79
Gambar 4.9 Tampilan <i>logic ladder diagram PLC</i> pengkondisi sinyal <i>sample flow</i> dan <i>output sample flow abnormal</i> aktif.....	80
Gambar 4.10 Tampilan <i>logic ladder diagram PLC</i> saat kondisi start sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan parameter <i>sample flow</i> tidak normal	81
Gambar 4.11 Tampilan HMI saat kondisi <i>stop</i> sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan parameter <i>stack pressure</i> dan <i>sample flow</i> normal kembali	82
Gambar 4.12 Tampilan <i>logic ladder diagram PLC</i> saat kondisi <i>stop</i> sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan parameter <i>stack pressure</i> dan <i>sample flow</i> normal kembali.....	82
Gambar 4.13 Tampilan HMI saat kondisi start sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan <i>timer</i>	84
Gambar 4.14 Tampilan <i>logic ladder diagram PLC</i> saat kondisi start sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan <i>timer</i>	84
Gambar 4.15 Tampilan HMI saat kondisi <i>stop</i> sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan <i>timer</i>	85
Gambar 4.16 Tampilan <i>logic ladder diagram PLC</i> saat kondisi <i>stop</i> sistem <i>purging</i> otomatis berdasarkan <i>timer</i>	86

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Artikel Jurnal Tugas Akhir.....	95
Lampiran 2: Hasil Turn It In	106
Lampiran 3: Lembar Revisi Pemaparan Proposal.....	108
Lampiran 4: Surat Tugas Bimbingan Tugas Akhir	110
Lampiran 5: Logbook Bimbingan Tugas Akhir.....	111
Lampiran 6: <i>Logic ladder diagram</i> PLC.....	113



DAFTAR ISTILAH

1. CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*)

Sistem pemantauan emisi secara kontinu yang digunakan untuk memonitor, mengukur, dan merekam kandungan gas buang secara otomatis di pembangkit listrik.

2. PLTGU (*Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap*)

Jenis pembangkit listrik yang menggabungkan dua siklus yaitu siklus gas dan siklus uap (*combined cycle*) untuk meningkatkan efisiensi pembangkitan energi.

3. *Sample Probe*

Alat yang digunakan untuk mengambil sampel gas dari cerobong (*stack*) sebelum dialirkan ke sistem analisa dalam CEMS.

4. *Purging*

Proses pembersihan jalur pengambilan sampel menggunakan udara kering untuk menghilangkan partikel, uap air, dan sisa gas agar hasil pengukuran tetap akurat.

5. *Solenoid Valve*

Katup elektromagnetik yang dikendalikan oleh sinyal listrik untuk membuka atau menutup aliran udara dalam sistem otomatisasi.

6. *CX-Programmer*

Perangkat lunak dari Omron yang digunakan untuk pemrograman, pengeditan, dan simulasi PLC dengan menggunakan *ladder diagram*.

7. PLC (*Programmable Logic Controller*)

Pengendali logika terprogram yang digunakan dalam otomasi industri untuk mengontrol proses secara digital berdasarkan input/output.

8. *Heated Sample Line*

Pipa pemanas yang menjaga suhu gas buang tetap tinggi agar tidak terjadi kondensasi yang dapat mempengaruhi akurasi pengukuran.

9. Gas Analyzer

Alat yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi gas tertentu (seperti SO₂, NO_x, CO, O₂) dalam emisi gas buang.

10. Pressure Transmitter

Sensor yang mengukur tekanan fluida dan mengubahnya menjadi sinyal analog (biasanya 4–20 mA) yang dibaca oleh sistem kontrol.

11. Flow Meter

Alat pengukur yang digunakan untuk mengetahui laju aliran atau volume gas/cairan dalam suatu periode waktu tertentu.

12. Flow Switch

Sakelar yang mendeteksi adanya aliran fluida, dan mengaktifkan sistem atau alarm jika aliran berada di luar batas normal.

13. RTD PT100 (Resistance Temperature Detector)

Sensor suhu berbahan platinum yang memiliki resistansi 100 ohm pada suhu 0°C, digunakan untuk pengukuran suhu dengan presisi tinggi.

14. Stack

Cerobong buang pada pembangkit listrik tempat keluarnya gas hasil pembakaran menuju atmosfer.

15. Interlock

Logika pengaman dalam sistem kontrol untuk mencegah aktivasi proses jika kondisi tertentu belum terpenuhi atau tidak aman.

16. Permissive Logic

Logika kendali yang hanya memperbolehkan suatu proses berlangsung jika seluruh syarat yang ditentukan telah terpenuhi.

17. Preventive Maintenance

Pemeliharaan sistem atau peralatan yang dilakukan secara berkala untuk mencegah kerusakan sebelum terjadi.

18. Corrective Maintenance

Pemeliharaan atau perbaikan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan untuk mengembalikan fungsi alat ke kondisi normal.

19. Baku Mutu Emisi

Batas maksimum kadar polutan dalam emisi gas buang sesuai ketentuan regulasi, seperti yang diatur dalam Permen LHK No. 15 Tahun 2019.

20. Timer

Fitur pada PLC yang digunakan untuk mengatur durasi waktu proses, seperti durasi purging selama 1800 detik (30 menit).

21. Manual Mode

Mode pengoperasian sistem di mana proses dijalankan secara manual oleh operator melalui HMI atau tombol kontrol.

22. Auto Mode

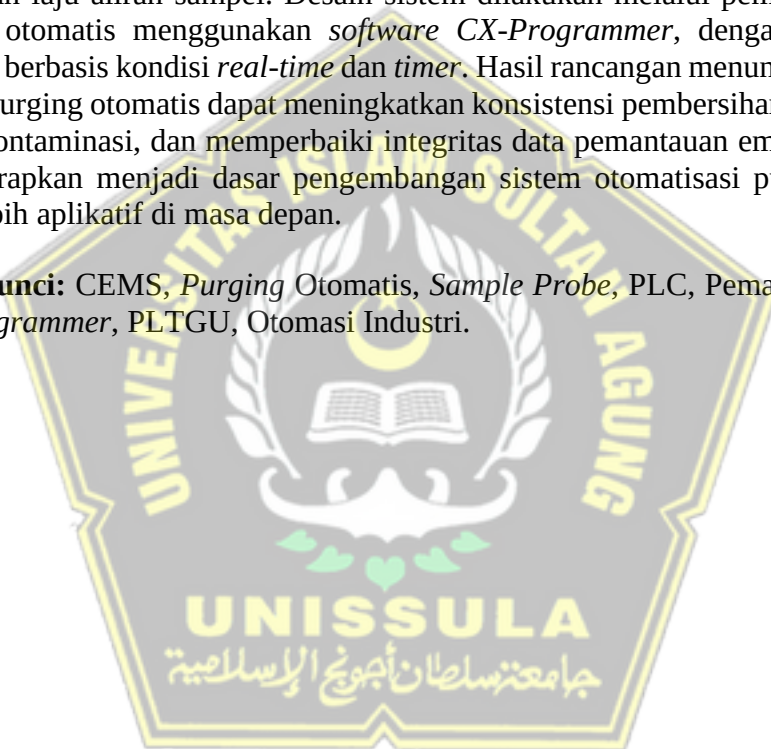
Mode operasi otomatis di mana sistem akan berjalan berdasarkan parameter dan logika dari sistem kontrol (PLC) tanpa intervensi manual.



ABSTRAK

Peningkatan akurasi pemantauan emisi pada sistem CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*) menjadi krusial dalam mendukung kepatuhan terhadap regulasi lingkungan, khususnya pada pembangkit listrik berbasis gas dan uap (PLTGU). Di PLTGU PT Jawa Satu Power, sistem *purging* pada *sample probe* CEMS masih dilakukan secara manual dan terbatas pada jadwal *preventive maintenance*, sehingga berpotensi menurunkan keandalan data emisi akibat kontaminasi partikel. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mensimulasikan sistem purging otomatis berbasis PLC (*Programmable Logic Controller*) dengan mempertimbangkan parameter teknis seperti *timer*, tekanan gas, suhu, dan laju aliran sampel. Desain sistem dilakukan melalui pemodelan logika kendali otomatis menggunakan *software CX-Programmer*, dengan pendekatan proteksi berbasis kondisi *real-time* dan *timer*. Hasil rancangan menunjukkan bahwa sistem purging otomatis dapat meningkatkan konsistensi pembersihan, mengurangi risiko kontaminasi, dan memperbaiki integritas data pemantauan emisi. Penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengembangan sistem otomatisasi purging CEMS yang lebih aplikatif di masa depan.

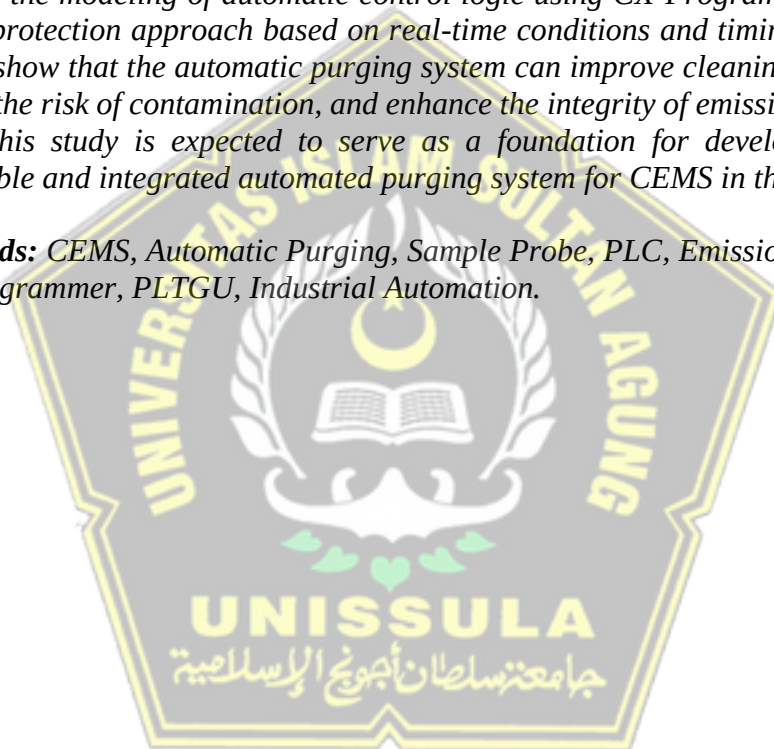
Kata Kunci: CEMS, *Purging* Otomatis, *Sample Probe*, PLC, Pemantauan Emisi, *CX-Programmer*, PLTGU, Otomasi Industri.



ABSTRACT

Improving the accuracy of emission monitoring in the Continuous Emission Monitoring System (CEMS) is crucial to support compliance with environmental regulations, especially in gas and steam-based power plants (PLTGU). At PT Jawa Satu Power's PLTGU, the purging system on the CEMS sample probe is still performed manually and limited to scheduled preventive maintenance, potentially reducing emission data reliability due to particle contamination. This study aims to design and simulate an automatic purging system based on a Programmable Logic Controller (PLC), taking into account technical parameters such as timer, gas pressure, temperature, and sample flow rate. The system design was carried out through the modeling of automatic control logic using CX-Programmer software, with a protection approach based on real-time conditions and timing. The design results show that the automatic purging system can improve cleaning consistency, reduce the risk of contamination, and enhance the integrity of emission monitoring data. This study is expected to serve as a foundation for developing a more applicable and integrated automated purging system for CEMS in the future.

Keywords: CEMS, Automatic Purging, Sample Probe, PLC, Emission Monitoring, CX-Programmer, PLTGU, Industrial Automation.



BAB I : PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan vital dalam kehidupan modern yang mendukung berbagai sektor, mulai dari industri, transportasi, hingga kegiatan rumah tangga. Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan teknologi, permintaan terhadap energi listrik di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, pemerintah terus berupaya meningkatkan kapasitas pembangkit listrik nasional dengan mengutamakan keandalan pasokan serta efisiensi energi.

Salah satu jenis pembangkit yang berkembang pesat di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang menggabungkan dua siklus termal, yaitu siklus gas dan siklus uap, dalam satu sistem terpadu untuk meningkatkan efisiensi pembangkitan energi. Teknologi ini dikenal sebagai sistem pembangkitan kombinasi atau *combined cycle power plant*, yang mampu mencapai efisiensi termal hingga lebih dari 55% dibandingkan pembangkit konvensional lainnya. Pada umumnya, proses pembangkitan diawali oleh turbin gas yang menghasilkan energi listrik dan gas buang bersuhu tinggi, yang kemudian dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan uap air melalui *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). Uap ini selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin uap guna menghasilkan tambahan energi listrik.[1]

Salah satu PLTGU terbesar dan strategis di Indonesia adalah PLTGU PT Jawa Satu Power, yang terletak di Cilamaya, Kabupaten Karawang, Jawa Barat. Dengan kapasitas terpasang sebesar 1.760 MW, PLTGU Jawa Satu Power memegang peranan penting dalam mendukung kestabilan sistem kelistrikan di wilayah Jawa-Bali dan mendukung program pemerintah dalam transisi energi bersih berbasis gas alam.

Perkembangan sektor ketenagalistrikan di Indonesia menuntut adanya pembangkit listrik yang tidak hanya andal dan efisien, tetapi juga ramah lingkungan. Dalam upaya pengendalian pencemaran udara, terdapat berbagai

pendekatan teknis yang dapat dilakukan, salah satunya melalui teknik pemurnian emisi seperti *electrostatic precipitator*, *scrubber*, dan *selective catalytic reduction*. Teknik-teknik ini bertujuan untuk menurunkan kadar polutan secara langsung dari gas buang sebelum dilepaskan ke atmosfer. Namun, pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), khususnya seperti yang digunakan di PT Jawa Satu Power, karakteristik gas buang hasil pembakaran gas alam cenderung lebih bersih dan memiliki kadar emisi yang relatif rendah dibandingkan pembangkit berbahan bakar padat seperti batubara. Oleh karena itu, sistem pemurnian emisi tidak diterapkan di PLTGU PT Jawa Satu Power.

Meskipun demikian, penggunaan bahan bakar fosil tetap menghasilkan emisi gas buang yang perlu dikendalikan dan diawasi secara ketat guna memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan, seperti yang tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) No. 15 Tahun 2019 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak. Dalam konteks ini, *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) menjadi solusi yang relevan dan strategis. CEMS bukan merupakan sistem pemurnian, melainkan sistem pemantauan emisi secara kontinu yang berfungsi untuk merekam, mengukur, dan melaporkan kadar emisi secara otomatis. Sistem ini berperan penting dalam menjaga akurasi data lingkungan dan memastikan bahwa pembangkit listrik beroperasi dalam batas emisi yang ditetapkan. Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan dan simulasi sistem purging otomatis pada *sample probe* CEMS untuk meningkatkan keandalan pengambilan sampel emisi.

Untuk memastikan kepatuhan terhadap regulasi tersebut, PLTGU PT Jawa Satu Power menerapkan sistem pemantauan emisi berbasis teknologi *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS). Sistem ini dirancang untuk melakukan pemantauan emisi gas buang secara *real-time* dan terus menerus, sehingga dapat memberikan informasi akurat dan terkini mengenai kandungan gas seperti NO, NO₂, SO₂, CO dan O₂. Data dari CEMS tidak hanya menjadi dasar untuk evaluasi internal performa pembangkit, tetapi juga dilaporkan secara periodik kepada instansi lingkungan sebagai bagian dari kewajiban pelaporan emisi.

Salah satu komponen kunci dalam sistem CEMS adalah *sample probe*, yang berfungsi untuk mengambil sampel gas dari dalam cerobong sebelum dialirkan ke sistem analisa. Namun, dalam praktiknya, *sample probe* sangat rentan terhadap kontaminasi oleh debu, uap air, dan gas-gas korosif. Kontaminasi ini dapat menyebabkan penyumbatan, korosi, atau penurunan akurasi pengukuran. Untuk mengatasi hal tersebut, digunakan sistem *purging*, yaitu sistem pembersihan probe secara berkala menggunakan udara kering (*dry air*).

Permasalahan yang muncul di PLTGU PT Jawa Satu Power adalah bahwa sistem *purging* yang ada saat ini belum sepenuhnya efektif dan efisien. Beberapa kendala teknis yang sering terjadi meliputi, minimnya *monitoring* sistem *purging* secara langsung, sehingga sulit dilakukan evaluasi kondisi secara *real-time*. Sistem *purging* belum dilengkapi dengan mekanisme otomatis. Proses *purging* masih dilakukan secara manual dan hanya dilaksanakan pada saat kegiatan *preventive maintenance*. Akibatnya, waktu jeda (*delay time*) antar *purging* menjadi tidak konsisten dan sepenuhnya bergantung pada jadwal *preventive maintenance* yang telah ditentukan.

Kondisi ini menimbulkan beberapa dampak serius, antara lain akumulasi kotoran pada probe dalam jangka waktu tertentu yang berpotensi menurunkan keakuratan data emisi yang dihasilkan, meningkatnya frekuensi perawatan manual (*manual cleaning*), hingga berisiko terjadi ketidakpatuhan terhadap batas emisi yang ditetapkan oleh regulasi atau peraturan lingkungan. Jika kondisi ini tidak segera ditangani, dapat menimbulkan konsekuensi berupa sanksi dari pihak regulator (KLHK), terganggunya operasi pembangkit, dan menurunnya citra perusahaan dari sisi kepatuhan lingkungan.

Oleh karena itu, diperlukan suatu upaya modifikasi sistem *purging sample probe* pada CEMS yang dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi pembersihan, mengurangi *downtime*, serta menjamin integritas dan keakuratan data emisi. Modifikasi ini diharapkan tidak hanya menjadi solusi teknis atas permasalahan yang ada, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem monitoring yang lebih reliabel, otomatis, dan berorientasi pada keberlanjutan lingkungan di sektor pembangkitan tenaga listrik.

Perlu diketahui bahwa perancangan sistem *purging* otomatis ini dilakukan dalam bentuk simulasi menggunakan perangkat lunak pemrograman PLC (*CX-Programmer*) dan belum diimplementasikan secara langsung pada sistem CEMS yang sedang beroperasi di lapangan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dimaksudkan sebagai kajian awal yang dapat menjadi dasar pengembangan sistem *purging* otomatis yang lebih aplikatif dan terintegrasi di masa mendatang.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penyusunan penelitian ini, telah ditentukan perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem *purging* otomatis pada *sample probe* CEMS di PLTGU PT Jawa Satu Power untuk mengurangi intervensi manual?
2. Bagaimana melakukan simulasi kerja sistem *purging* otomatis guna memverifikasi kinerja logika kendali dan fungsi pembersihan berdasarkan parameter instrumentasi dan pengaturan *timer*?
3. Bagaimana menganalisis potensi keunggulan fungsional sistem *purging* otomatis dibandingkan sistem manual?

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penyusunan penelitian ini, telah ditentukan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada sistem *purging sample probe* pada CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*) yang digunakan di PLTGU PT Jawa Satu Power. Komponen lain dalam sistem CEMS, seperti analyzer, data logger, atau sistem pelaporan, tidak menjadi bagian dari ruang lingkup penelitian ini.
2. Cakupan penelitian terbatas pada identifikasi permasalahan dan perancangan modifikasi sistem *purging* yang lebih efektif dan efisien. Penelitian tidak mencakup tahap implementasi langsung atau pengujian sistem secara fisik di lapangan.

3. Fokus utama diarahkan pada pengembangan sistem purging otomatis untuk meningkatkan sistem purging yang saat ini digunakan. Hal ini mencakup perancangan kontrol otomatisasi dan pemilihan sensor.
4. Implementasi perancangan sistem *purging* otomatis dilakukan melalui simulasi menggunakan perangkat lunak pemrograman PLC (*Software Cx Programmer*), tanpa dilakukan pengujian langsung pada sistem fisik.

1.4 Tujuan

Dalam penyusunan penelitian ini, telah ditentukan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Merancang sistem *purging* otomatis pada *sample probe* CEMS di PLTGU PT Jawa Satu Power untuk mengurangi intervensi manual.
2. Melakukan simulasi kerja sistem *purging* otomatis untuk memverifikasi kinerja logika kendali dan fungsi pembersihan berdasarkan parameter instrumentasi dan pengaturan timer.
3. Menganalisis potensi keunggulan fungsional sistem *purging* otomatis dibandingkan sistem manual sebagai acuan pengembangan sistem pada tahap implementasi.

1.5 Manfaat

1.5.1. Manfaat bagi penulis

1. Memberikan pengalaman langsung dalam merancang solusi teknis berbasis sistem otomasi, khususnya dalam penerapan teknologi *purging* otomatis pada sistem pemantauan emisi berbasis CEMS.
2. Meningkatkan pemahaman dan keterampilan teknis dalam bidang instrumentasi dan sistem kontrol.
3. Menjadi salah satu bentuk kontribusi dalam pengembangan teknologi yang mendukung efisiensi dalam pemeliharaan dan sistem pemantauan emisi berbasis CEMS.

1.5.2. Manfaat bagi perusahaan

1. Memberikan rekomendasi solusi teknis untuk peningkatan performa sistem purging sample probe pada CEMS, yang berpotensi meningkatkan akurasi dan reliabilitas pemantauan emisi gas buang.
2. Mendukung upaya perusahaan dalam memenuhi standar baku mutu emisi sesuai Permen LHK No. 15 Tahun 2019, serta mengurangi risiko ketidakpatuhan terhadap regulasi lingkungan.
3. Mengurangi frekuensi pemeliharaan dan potensi *downtime* akibat kontaminasi pada *sample probe*, yang dapat meningkatkan efisiensi operasional dan menghemat biaya pemeliharaan.
4. Memberikan dasar rancangan awal sistem *purging* otomatis yang dapat dikembangkan lebih lanjut menuju implementasi sistem otomasi penuh di masa depan.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah melihat dan mengetahui pembahasan yang ada pada tugas akhir ini secara menyeluruh, maka perlu dikemukakan sistematika yang merupakan kerangka dan pedoman penulisan tugas akhir. Adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

Penyajian laporan tugas akhir ini menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

1.6.1. Bagian awal tugas akhir

Bagian awal memuat halaman sampul depan, halaman judul, halaman persetujuan dosen pembimbing, halaman pengesahan, halaman motto dan persembahan, halaman kata pengantar, halaman daftar isi, halaman daftar tabel, halaman daftar gambar, halaman daftar lampiran, arti lambang dan singkatan dan abstraksi.

1.6.2. Bagian utama tugas akhir

Bagian Utama terbagi atas bab dan sub bab yaitu sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab tinjauan pustaka ini meliputi :

- A. Telaah penelitian yang berisi tentang hasil-hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.
- B. Landasan teori yang berisi tentang pembahasan tentang sistem instrumentasi dan kontrol CEMS.

BAB III : METODE PENELITIAN / PERANCANGAN

Dalam bab ini penulis mengemukakan tentang metode penelitian yang dilakukan oleh penulis dalam pengembangan sistem informasi. Agar sistematis, bab metode penelitian meliputi :

- A. Pemilihan Lokasi dan Waktu Penelitian
- B. Analisa Kebutuhan
- C. Alur Penelitian (disertakan Flowchart).

BAB IV : DATA DAN ANALISA

Bab ini terdiri dari gambaran hasil penelitian dan analisa. Baik dari secara kualitatif, kuantitatif dan statistik, serta pembahasan hasil penelitian. Agar tersusun dengan baik diklasifikasikan ke dalam :

- A. Hasil Penelitian
- B. Pembahasan

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari seluruh penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan dapat dikemukakan masalah yang ada pada penelitian serta hasil dari penyelesaian penelitian yang bersifat analisis obyektif. Sedangkan saran berisi mencantumkan jalan keluar untuk mengatasi masalah dan kelemahan yang ada. Saran ini tidak lepas ditujukan untuk ruang lingkup penelitian.

1.6.3. Bagian akhir tugas akhir

Bagian akhir dari tugas akhir ini berisi tentang daftar pustaka dan daftar lampiran.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam penulisan tugas akhir ini peneliti menggali informasi dari beberapa penelitian sebelumnya sebagai bahan perbandingan, baik mengenai kekurangan atau kelebihan yang sudah ada. Selain itu, peneliti juga menggali informasi dari buku-buku maupun skripsi dalam rangka mendapatkan suatu informasi yang ada sebelumnya tentang teori yang berkaitan dengan judul yang digunakan untuk memperoleh landasan teori ilmiah.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Yusma Faranita[2], penelitian tentang **Evaluasi Sistem Pembakaran Dan Pengendalian Pencemaran Udara Pada PLTU Paiton Unit 7 Dan 8 Probolinggo-Jawa Timur**. PLTU Paiton Unit 7 dan 8 merupakan pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batu bara dengan konsumsi sekitar 14.000 ton/hari, yang menghasilkan emisi CO₂, CO, NO_x, SO_x, serta abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*), yang berdampak signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat sekitar. Untuk menurunkan kadar emisi CO dan NO_x, PLTU Paiton Unit 7 dan 8 telah menerapkan sistem pengendalian pencemaran udara, yang dievaluasi berdasarkan perbandingan data operasional dengan perhitungan stoikiometri. Penurunan emisi NO_x juga cukup signifikan, yaitu 82 % pada Unit 7 dan 87 % pada Unit 8, menunjukkan efektivitas sistem pengendalian dalam menangani polutan gas nitrogen. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kadar emisi CO dan NO_x yang diperoleh langsung dari alat pengukur di lokasi dengan hasil perhitungan berdasarkan formula empiris stoikiometri, sehingga memberikan analisis performa sistem pengendalian secara kuantitatif.

Dalam Jurnal yang pernah dibuat oleh Arif Susanto, Purwanto, Edi K. Putro, William E.Yochu, Uli Amrina dan Fajrul Falakh[3], telah membahas mengenai **Pemantauan Emisi Dengan Continuous Emission Monitoring System (CEMS) Dalam Pemanfaatan Minyak Pelumas Bekas Sebagai Substitusi Bahan Bakar Pada Produksi Kapur Tohor**. Limbah minyak pelumas bekas dari berbagai sumber industri dikategorikan sebagai limbah B3 kelas mudah terbakar, namun

dapat dimanfaatkan sebagai substitusi bahan bakar dalam produksi kapur tohor asalkan mematuhi baku mutu lingkungan yang berlaku. Dalam penelitian tersebut juga diterapkan *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) secara *extractive* in-stack dilution untuk memantau parameter partikulat dan gas selama proses pembakaran minyak pelumas bekas di fasilitas produksi kapur. Hasil pemantauan CEMS menunjukkan bahwa penggunaan used oils sebagai campuran bahan bakar (dengan solar) memenuhi persyaratan perundang-undangan lingkungan Indonesia, menegaskan efektivitas teknologi pemantauan modern dalam pengendalian emisi industri. Selain pemantauan kontinu, upaya pengendalian emisi juga dilakukan melalui pemeliharaan rutin baghouse (filter kantong), pengoperasian induced draft fan, serta pengaturan tekanan udara dan rasio pencampuran bahan bakar komponen penting yang mendukung performa CEMS.

Dalam Jurnal yang pernah dibuat oleh Ivan Sofyan, Amrillah Nugrasyah[4], telah membahas mengenai **Perancangan Continuous Emission Monitoring System (CEMS) untuk Analyzer NH₃ di PT. Pusri Palembang**. Menurut Permen LHK No. 13/2021 tentang SISPEK, perusahaan seperti PT Pusri wajib menerapkan sistem *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) untuk memantau emisi cerobong secara kontinu, guna menjamin data emisi yang benar, akurat, dan terkoneksi secara real time. PT Pupuk Sriwidjaja Palembang berhasil mempertahankan prestasi Gold PROPER pada tahun 2022, menunjukkan komitmennya yang tinggi terhadap pengelolaan lingkungan berdasarkan indikator penurunan emisi dan kepatuhan regulasi. Fokus studi ini adalah perancangan CEMS ekstraktif pada cerobong *Induced Fan* di Prilling Tower Pabrik PIV PT Pusri, yang dirancang khusus untuk mengukur konsentrasi NH₃ menggunakan *analyzer* laser. Sistem dilengkapi *sampling probe* dengan fitur automatic blowback (purging), dikendalikan oleh PLC atau relay sederhana, yang memanfaatkan air bertekanan 4–7 kg/cm² sehingga memastikan probe tetap bersih dan bebas endapan. *Analyzer* NH₃ ini bersifat ekstraktif (*extractive*), menggunakan metode laser optik, dan memiliki rentang pengukuran 0 ± 600 mg/Nm³ dengan suplai daya 220 VAC, 50 Hz, single phase.

Berdasarkan tinjauan pustaka dari tiga penelitian tersebut, Evaluasi sistem pembakaran dan pengendalian emisi di PLTU Paiton Unit 7 & 8, pemanfaatan limbah minyak pelumas bekas dengan pemantauan CEMS pada produksi kapur tohor dan perancangan sistem CEMS ekstraktif untuk analyzer NH_3 pada PT Pusri Palembang, dapat disimpulkan bahwa integrasi teknologi Continuous Emission Monitoring System bersama sistem pengendalian seperti ESP, *baghouse*, *automatic blowback (purging) probe* dan teknologi laser optik membuktikan efektivitasnya dalam:

1. Menurunkan emisi gas polutan (CO , NO_x , SO_2 , NH_3) dan partikulat secara signifikan.
2. Memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan yang berlaku (Permen LHK, baku mutu emisi).
3. Menjamin kontinuitas operasional dan keakuratan data emisi melalui sistem monitoring dan automasi.
4. Menjadi landasan teknis yang kuat untuk penerapan dan pengembangan sistem pemantauan emisi di berbagai sektor industri energi dan manufaktur di Indonesia.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Profil perusahaan

PT Jawa Satu Power (“JSP”)[5] atau Proyek Jawa-1 merupakan *joint venture* antara Pertamina NRE, Marubeni, dan Sojitz. Pada 5 Desember 2016, Perusahaan didirikan sebagai *Special Purpose Company* (SPC) yang bertujuan untuk menjalankan, mengendalikan, mengelola aset dan kegiatan bisnis pembangkit listrik berbasis bahan bakar gas dengan teknologi *Combined Cycle Gas Turbine* (CCGT) terbesar di Asia Tenggara.

Dalam menjalankan kegiatan operasionalnya, Perusahaan melibatkan lebih dari 20 perusahaan dari berbagai negara di dunia termasuk Jepang, Korea, Amerika Serikat, Eropa dan termasuk Indonesia. Perusahaan-perusahaan tersebut meliputi 2 (dua) anggota usaha bersama di FSRU yaitu Mitsui O.S.K Lines dan Humpuss, 3 (tiga) anggota konsorsium EPC utama yaitu GE, Samsung C&T dan Meindo, 3

(tiga) perusahaan pendanaan yaitu JBIC, NEXI dan ADB dan 5 (lima) bank komersial yaitu Bank Mizuho, Bank MUFG, Bank Société Générale, Bank OCBC dan Bank Credit Agricole, serta berbagai konsultan di bidang finansial, hukum, dan teknis.

Perusahaan mengelola Proyek Jawa-1 dengan skema berkompleksitas tinggi karena mencakup pembangunan pembangkit listrik secara lengkap beserta fasilitas pendukungnya, transmisi sepanjang 52 km, dan gardu induk utama. Selain itu, proyek ini merupakan integrasi antara pembangkit listrik dan FSRU (*Floating Storage Regasification Unit*).



Gambar 2.1 PLTGU PT Jawa Satu Power

2.2.2 Continuous emission monitoring system (CEMS)

Continuous emission monitoring system (CEMS) adalah keseluruhan peralatan yang diperlukan untuk menentukan konsentrasi gas atau partikel (*particulate matter*) atau laju emisi dengan menggunakan pengukuran dari alat peng analisis polutan, serta menggunakan persamaan konversi, grafik, atau program komputer untuk menghasilkan hasil dalam satuan yang sesuai dengan batas atau standar emisi yang berlaku.[6]

CEMS berfungsi untuk memastikan bahwa emisi yang dihasilkan memenuhi batasan yang ditetapkan oleh peraturan lingkungan, seperti yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (PERMENLHK) Nomor 15 Tahun 2019.

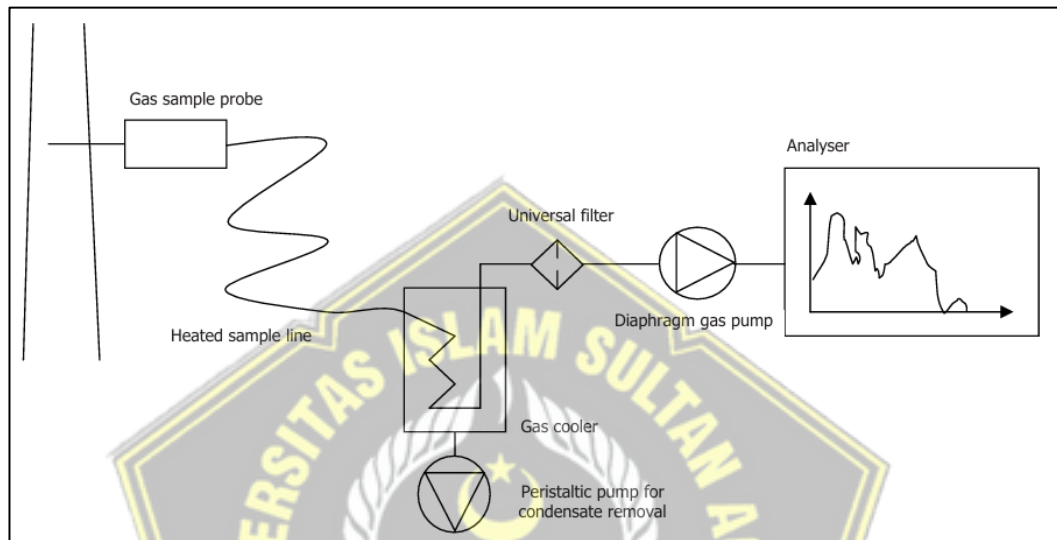
Salah satu komponen utama dari CEMS adalah *gas analyzer*. *Gas analyzer* berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi gas tertentu dalam emisi. *Sample Probe* dan sistem pengkondisian merupakan bagian penting dari CEMS. *Sample Probe* berfungsi untuk mengambil sampel gas dari aliran gas buang, dengan kemampuan untuk menahan suhu tinggi dan kondisi lingkungan yang keras. Sampel yang diambil kemudian dipersiapkan untuk dianalisis oleh sistem pengkondisian sampel, yang bertugas untuk mendinginkan, menyaring, dan mengeringkan sampel agar pengukuran oleh *gas analyzer* menjadi akurat.[7]



Gambar 2.2 CEMS Analyzer PLTGU PT Jawa Satu Power

Cara kerja sistem CEMS dimulai dari *gas sample probe* yang terpasang pada cerobong (*stack*). *Probe* ini berfungsi untuk mengambil sampel gas buang secara langsung dari aliran gas di dalam *stack*. Sampel gas tersebut kemudian dialirkan melalui *heated sample line*, yaitu pipa pemanas yang menjaga temperatur gas agar tetap di atas titik embun guna mencegah kondensasi yang dapat memengaruhi akurasi pengukuran. Selanjutnya, gas masuk ke dalam *gas cooler*, yaitu alat pendingin yang berfungsi menurunkan temperatur gas hingga mencapai kondisi standar pengukuran. Dalam proses ini, uap air dalam gas akan mengembun dan dipisahkan. *Peristaltic pump for condensate removal* kemudian berfungsi untuk membuang kondensat (air hasil pendinginan) dari sistem secara otomatis, sehingga tidak mengganggu pengukuran. Setelah itu, gas dialirkan melewati universal filter untuk menyaring partikel-partikel halus yang masih terbawa oleh aliran gas, agar tidak masuk ke alat ukur (*analyzer*). Gas bersih ini kemudian dipompa

menggunakan diaphragm gas pump untuk menjaga aliran gas menuju alat analisis. Terakhir, sampel gas masuk ke dalam *analyser*, yang berfungsi untuk mengukur konsentrasi kandungan gas tertentu seperti SO₂, NO_x, CO, CO₂, dan O₂. Data hasil pengukuran ini akan ditampilkan dan direkam sebagai bagian dari sistem pemantauan emisi secara terus-menerus.



Gambar 2.3 Flow chart (diagram sistem) cara kerja CEMS

2.2.3 Sample probe

Sample Probe berfungsi untuk mengambil sampel gas dari aliran gas buang, dengan kemampuan untuk menahan suhu tinggi dan kondisi lingkungan yang keras. Sampel yang diambil kemudian dipersiapkan untuk dianalisis oleh sistem pengkondisian sampel, yang bertugas untuk mendinginkan, menyaring, dan mengeringkan sampel agar pengukuran oleh *gas analyzer* menjadi akurat.[8]



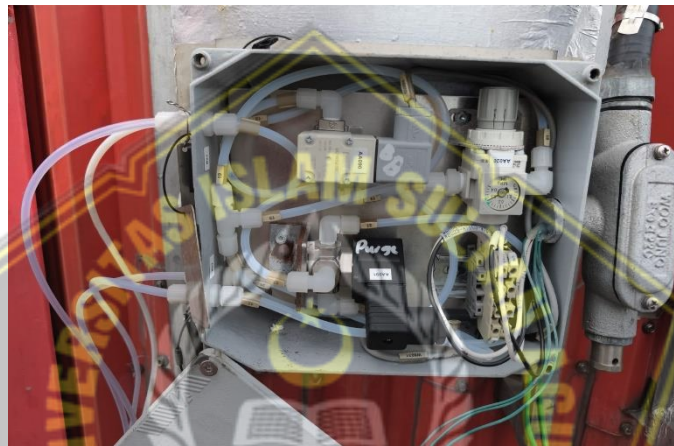
Gambar 2.4 *Sample Probe* CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power

2.2.4 Sistem *purging*

Sistem *purging* pada *sample probe* berfungsi untuk membersihkan jalur pengambilan sampel dari sisa gas buang, uap air, atau partikel yang dapat mengganggu akurasi pengukuran.

Berdasarkan gambar P&ID CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power, Proses *purging* dimulai dengan suplai udara tekan dari sumber *instrument air* dengan tekanan 8–10 bar. Udara tersebut kemudian diarahkan melalui filter dan menuju ke regulator tekanan yang menurunkan tekanan menjadi sekitar 3,5 bar, sesuai kebutuhan sistem. *Instrument air* ini dialirkan melalui serangkaian *valve* dan jalur pipa menuju ke *purging box* sampai dengan *sample probe*. Pengaliran ini dikendalikan oleh *solenoid valve* yang membuka jalur udara ke dalam *sample probe* saat sistem *purging* diaktifkan.

Ketika udara tekan masuk ke dalam *sample probe*, ia akan mendorong keluar gas sisa atau uap kondensat dari dalam *sample probe* menuju jalur venting. Proses ini memastikan bahwa *sample probe* bersih dan bebas dari kontaminan sebelum digunakan untuk mengambil sampel gas buang dari cerobong. Setelah proses pembersihan selesai dan durasi purging tercapai, sistem secara otomatis menutup *valve* dan *sample probe* siap digunakan untuk pengambilan sampel. Dengan adanya sistem *purging* ini, integritas data pengukuran gas emisi dapat tetap terjaga dengan baik.



Gambar 2.5 Purging Box CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power

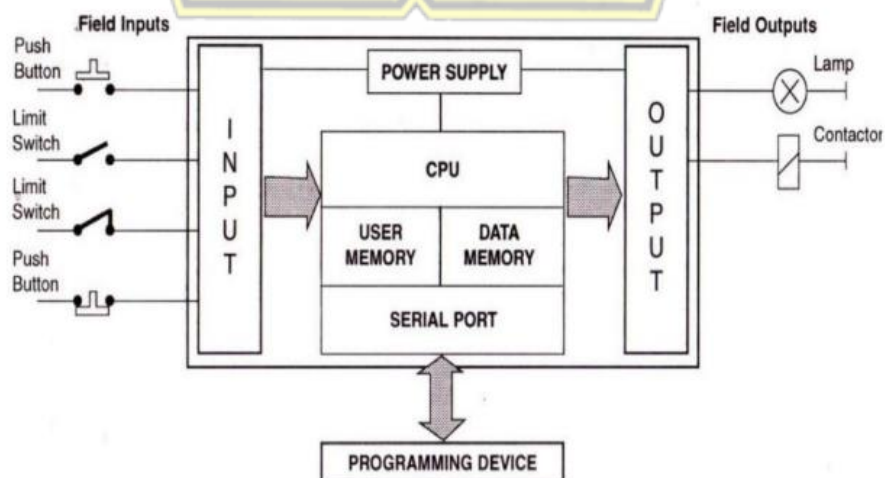
2.2.5 Programmable logic controller (PLC)

PLC adalah sistem elektronik yang beroperasi secara digital dan di desain untuk pemakaian di lingkungan industri, dimana sistem ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, perwaktuan, pencacahan, dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O digital maupun analog.[9]

Berdasarkan jumlah input/output yang dimilikinya, *Programmable Logic Controller* (PLC) dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama. Pertama, PLC mikro, yaitu PLC yang memiliki jumlah input/output kurang dari 32 terminal. Jenis ini umumnya digunakan untuk aplikasi berskala kecil atau sistem kendali sederhana. Kedua, PLC mini, yang dikategorikan sebagai PLC berukuran sedang,

memiliki jumlah input/output antara 32 hingga 128 terminal. PLC jenis ini cocok digunakan untuk sistem kontrol yang sedikit lebih kompleks namun masih dalam skala menengah. Ketiga, PLC large atau PLC besar, dikenal juga sebagai PLC tipe rak (rack type), yakni PLC yang memiliki jumlah input/output lebih dari 128 terminal. PLC ini digunakan untuk sistem kendali yang kompleks dan berskala besar, seperti pada industri proses atau pembangkitan listrik.

Bagian utama atau perangkat keras penyusun *Programmable Logic Controller* (PLC) terdiri dari beberapa komponen penting. Pertama adalah catu daya (*power supply*), yang berfungsi untuk menyediakan tegangan listrik yang dibutuhkan oleh seluruh rangkaian dalam PLC. Kedua, CPU (*Central Processing Unit*) yang merupakan otak dari PLC, terdiri dari prosesor dan memori yang digunakan untuk mengolah data dan menjalankan program logika yang telah ditanamkan. Ketiga, terdapat modul masukan (*input module*) dan modul keluaran (*output module*). Modul masukan berfungsi untuk menerima sinyal dari perangkat lapangan seperti tombol tekan (*push button*), *limit switch*, dan sensor lainnya. Sedangkan modul keluaran digunakan untuk mengirimkan sinyal kendali ke perangkat eksekusi seperti lampu indikator, kontaktor, dan aktuator lainnya. Komponen penting terakhir adalah perangkat pemrograman, yang digunakan untuk membuat, mengunggah, dan memodifikasi program logika ke dalam PLC. Keempat bagian utama ini saling terintegrasi membentuk sistem kendali otomatis yang handal dan fleksibel.[10]



Gambar 2.6 Komponen Utama PLC



Gambar 2.7 PLC Allen-Bradley Flex I/O

2.2.6 Sistem kontrol

Sistem kontrol adalah suatu perangkat atau mekanisme yang digunakan untuk mengatur, mengarahkan, atau mengendalikan proses atau sistem lain, agar berjalan sesuai dengan parameter atau setpoint yang diinginkan. Sistem ini terdiri dari elemen-elemen seperti sensor, pengendali (*controller*), *aktuator*, dan media transmisi sinyal. Dalam dunia industri, sistem kontrol digunakan untuk menjaga kestabilan proses, meningkatkan efisiensi, serta menjamin keselamatan dan kualitas produk.

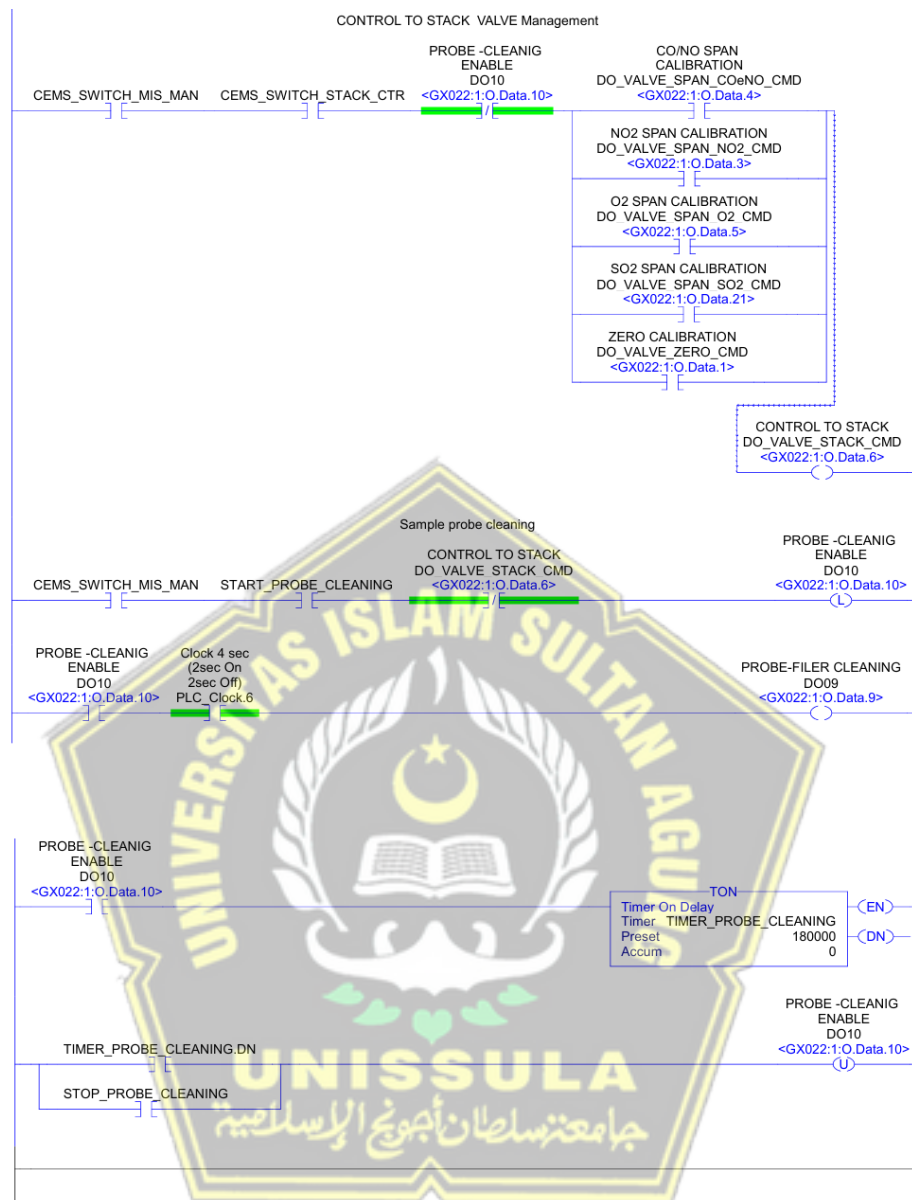
Sistem kontrol otomatis adalah sistem yang mengatur suatu proses atau sistem tanpa campur tangan manusia secara langsung, melainkan menggunakan perangkat kontrol seperti sensor, *aktuator*, dan pengendali logika (misalnya PLC - *Programmable Logic Controller*). Tujuan dari sistem kontrol otomatis adalah mempertahankan variabel proses dalam kisaran tertentu dengan akurasi dan keandalan tinggi, sekaligus meningkatkan efisiensi dan keamanan sistem.

Menurut Ogata[11], sistem kontrol dibagi menjadi dua jenis utama yaitu, sistem kontrol terbuka (*open-loop control system*) dan sistem kontrol tertutup (*closed-loop control system*). Dalam sistem terbuka, aksi kontrol tidak tergantung pada keluaran, sementara pada sistem tertutup, aksi kontrol dipengaruhi oleh umpan balik dari keluaran sistem.

Berdasarkan sistem kontrol PLC dari sistem yang digunakan di PLTGU PT Jawa Satu Power, proses purging dimulai ketika sinyal perintah

“CEMS_SWITCH_MIS_MAN” atau sinyal mode *maintenance* aktif, “START_PROBE_CLEANING” aktif, sinyal ini dapat berasal dari perintah manual dan “CONTROL TO STACK DO_VALVE_STACK_CMD” enable tidak terinterupsi oleh mode *calibration*. Setelah sinyal start diterima, PLC akan mengaktifkan *output* “PROBE -CLEANIG ENABLE” yang berfungsi membuka valve untuk proses purging, serta mengaktifkan “PROBE-FILER CLEANING” yang mengalihkan jalur aliran *instrument air* ke *filter sample probe*. Untuk meningkatkan efektivitas pembersihan, sinyal “PLC_Clock.6” juga diaktifkan secara berdenyut menggunakan clock internal PLC dengan pola 2 detik ON dan 2 detik OFF, yang memungkinkan adanya efek “pukulan” udara untuk mendorong keluar kotoran dari dalam *sample probe*. Selama proses purging berlangsung, timer “TIMER_PROBE_CLEANING” akan mulai menghitung waktu dengan durasi yang telah ditentukan yaitu 180.000 milidetik atau setara dengan 3 menit. Setelah *timer* mencapai batas waktu yang telah ditetapkan, sistem *purging* akan *stop*. Perintah “STOP_PROBE_CLEANING” juga dapat dilakukan untuk interup proses *purging* sebelum *timer* yang ditetapkan selesai. Hal ini akan menghentikan sinyal “PROBE-FILER CLEANING”, yang secara otomatis menutup *valve* dan mengakhiri proses *purging*.

Dari penjelasan sistem kontrol PLC sebelumnya, diketahui bahwa proses *purging* masih dilakukan secara *manual*. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem *purging* otomatis agar pembersihan *sample probe* dapat berlangsung lebih optimal dan konsisten.



Gambar 2.8 Sistem Kontrol PLC Sistem *Purging* CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power

2.2.7 Sistem instrumentasi

2.2.7.1 Pressure transmitter

Menurut Bentley, J.P,[12] *Pressure transmitter* adalah perangkat instrumentasi yang digunakan untuk mengukur tekanan fluida, baik gas maupun cairan, dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat diinterpretasikan oleh sistem kontrol seperti PLC (*Programmable Logic Controller*). Umumnya, *pressure*

transmitter menghasilkan *output* standar industri seperti 4–20 mA atau 1–5 V, yang mewakili rentang tekanan tertentu. Penggunaan *transmitter* ini sangat krusial dalam sistem kontrol proses karena dapat memberikan informasi *real-time* mengenai kondisi tekanan dalam sistem, yang penting untuk menjaga kestabilan dan keamanan operasi.

Pressure transmitter yang digunakan pada CEMS di PLTGU PT Jawa Satu Power merupakan produk dari merek ABB tipe 266NSH, yang merupakan *pressure transmitter* yang bertipe *absolute*. *Pressure transmitter absolute* adalah alat pengukur tekanan yang mengukur tekanan total dari suatu sistem terhadap vakum mutlak (nol tekanan). Tidak seperti *pressure gauge* yang mengukur tekanan relatif terhadap tekanan atmosfer, *pressure transmitter absolute* memberikan hasil pengukuran yang lebih akurat karena tidak dipengaruhi oleh perubahan tekanan udara luar.

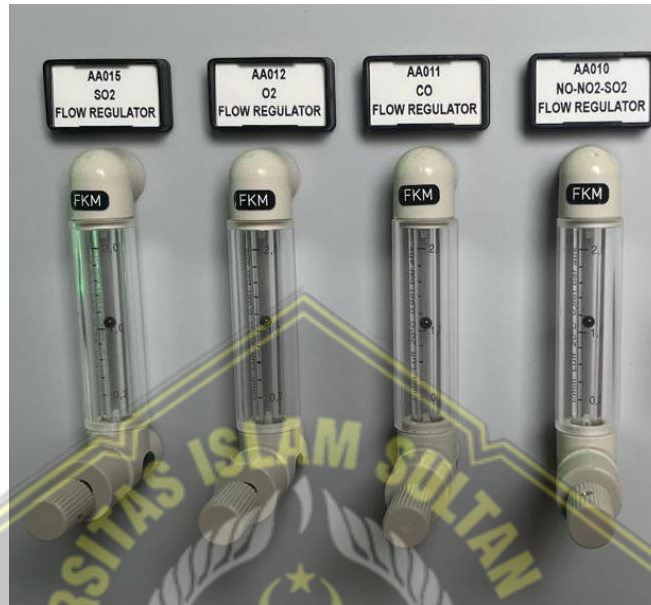


Gambar 2.9 *Pressure Transmitter* CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power

2.2.7.2 Flow meter dan flow switch

Flow Meter merupakan satuan alat pengukuran pada pergerakan fluida atau cairan yang dimana sudah tidak asing bagi para pekerja di bidang konstruksi, pertambangan, dsb. Di dalam keseharian kita sering menemui alat pengukuran tersebut seperti regulator pada gas, pompa air, dan gas meter PGN. *Flow Meter* sendiri merupakan instrumen pengukur yang di gunakan untuk menentukan

sejumlah besar aliran dari semua material seperti udara, fluida maupun bubuk. Aliran yang diukur melalui instrumen ini adalah laju aliran dan volume yang mengalir selama jangka waktu tertentu.[13]



Gambar 2.10 Flow meter CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power

Flow Switch adalah perangkat mekanis yang digunakan untuk mengontrol aliran udara, uap, atau cairan. Sakelar aliran beroperasi dengan menyampaikan gerakan perjalanan (relai, sakelar buluh, dayung) ke mesin lain di dalam sistem, biasanya pompa. Sinyal trip akan menunjukkan kepada pompa untuk menghidupkan atau mematikan. Hal ini diperlukan untuk memberikan perlindungan kerusakan dan pendinginan sirkuit atau menyesuaikan laju aliran yang terlalu tinggi atau terlalu rendah.

Flow Switch dapat melayani berbagai fungsi dan juga digunakan dalam berbagai aplikasi. Jika seseorang perlu memantau laju aliran atau untuk melindungi pompa, maka sakelar aliran dapat melayani tujuan Anda. Sensor aliran akan mengirimkan sinyal listrik ke PLC atau pengontrol elektronik lainnya.[14]



Gambar 2.11 Flow switch

2.2.7.3 Temperature element (RTD PT100)

RTD (*Resistance Temperature Detector*) merupakan sensor suhu yang bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi logam akibat perubahan suhu. Salah satu jenis RTD yang paling umum digunakan di industri adalah PT100, yaitu sensor suhu berbahan platinum yang memiliki resistansi sebesar 100 ohm pada suhu 0°C.

Telah terbukti selama beberapa dekade dalam industri proses, RTD bekerja berdasarkan prinsip bahwa resistansi listrik dari logam sensor akan meningkat seiring dengan naiknya suhu. Perubahan resistansi ini diukur dan dikonversi menjadi pembacaan suhu.[15]

Pada sistem CEMS yang diterapkan di PLTGU PT Jawa Satu Power, sensor suhu PT100 digunakan untuk mengukur suhu pada *sample probe* dan *heated sampling line*. Pengukuran suhu ini sangat penting untuk memastikan bahwa gas buang tidak mengalami kondensasi selama proses pengambilan sampel. Jika terjadi penurunan suhu yang drastis di bawah *temperature dew point*, maka uap air dalam gas buang akan mengembun dan mengubah komposisi gas, sehingga mengurangi akurasi pengukuran emisi.



Gambar 2.12 RTD PT100 Heated Line Sampling CEMS

2.2.8 Aktuator (*solenoid valve*)

Aktuator merupakan komponen penting dalam sistem kontrol otomatis yang berfungsi sebagai penggerak atau pelaksana perintah dari pengendali (*controller*) untuk mengatur aliran fluida, gerakan mekanis, atau fungsi-fungsi lainnya sesuai logika kendali. Salah satu jenis aktuator yang umum digunakan dalam sistem otomasi industri adalah *solenoid valve*.

Solenoid valve merupakan suatu komponen elektro mekanis yang digunakan untuk mengatur aliran fluida dalam sistem mekanis atau *pneumatik*. Valve ini bekerja dengan menggunakan prinsip elektromagnetik, yang memungkinkan pengendalian aliran secara otomatis.[16]

Dalam aplikasi sistem *purging* pada CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*), *solenoid valve* berfungsi untuk mengalirkan udara tekan (*instrument air*) ke dalam sample probe saat proses *purging* aktif, dan menutup aliran saat *purging* selesai. Integrasi *solenoid valve* dengan sistem kontrol berbasis PLC memungkinkan proses pembersihan berlangsung secara otomatis, konsisten, dan terprogram sesuai dengan kondisi operasional dan logika *permissive*.



Gambar 2.13 Aktuator solenoid valve

2.2.9 Preventive dan corrective maintenance

Pada penelitian yang dilakukan oleh Renny Andriyani[17], *Preventive Maintenance* (PM) dijalankan secara terjadwal dan proaktif, sebelum kegagalan terjadi. Aktivitas seperti inspeksi, pelumasan, pergantian komponen, dan pengujian kondisi bertujuan mencegah kerusakan mendadak. Jadwal PM sering ditentukan berdasarkan indikator seperti *Mean Time Between Failure* (MTBF). Peningkatan MTBF menjadi indikator keberhasilan PM karena menunjukkan meningkatnya reliabilitas sistem. Sedangkan *Corrective Maintenance* (CM), suatu bentuk pemeliharaan yang dilakukan setelah kerusakan terjadi. Tujuan utamanya adalah memulihkan fungsi alat ke kondisi operasional normal. CM bersifat reaktif dan tidak terjadwal, yang umumnya meningkatkan waktu henti (*downtime*), biaya, serta beban perbaikan karena gangguan operasional yang tidak terduga.

2.2.10 Permen LHK No. 15 Tahun 2019

Menurut Permen LHK No. 15 Tahun 2019[18], tentang Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Termal merupakan regulasi yang menetapkan batasan emisi serta kewajiban pemantauan emisi bagi penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan yang mengoperasikan pembangkit listrik tenaga termal. Peraturan ini bertujuan untuk mengendalikan pencemaran udara yang dihasilkan dari aktivitas

pembangkitan listrik, guna melindungi kualitas lingkungan hidup dan kesehatan masyarakat.

Peraturan ini berlaku untuk berbagai jenis pembangkit listrik tenaga termal, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm), Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa), dan pembangkit listrik berbahan bakar campuran.

Permen ini menetapkan batas maksimum konsentrasi polutan yang diperbolehkan dalam emisi gas buang dari pembangkit listrik tenaga termal. Parameter yang diatur meliputi Partikulat, Sulfur Dioksida (SO_2), Nitrogen Oksida (NO_x), Karbon Monoksida (CO), Merkuri (Hg), dan Amonia (NH_3). Batasan ini disesuaikan berdasarkan kapasitas pembangkit, jenis bahan bakar yang digunakan, dan teknologi pembakaran yang diterapkan.

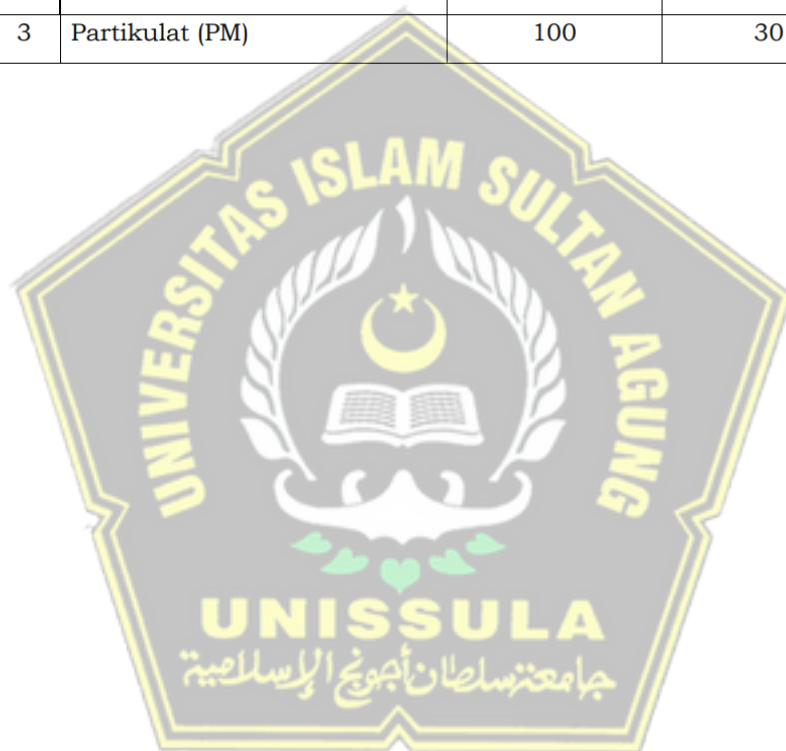
Penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan diwajibkan untuk melakukan pemantauan emisi secara berkala guna memastikan kepatuhan terhadap Baku Mutu Emisi yang telah ditetapkan. Pemantauan ini dapat dilakukan melalui pengukuran langsung di cerobong (stack monitoring) atau penggunaan sistem Continuous Emission Monitoring System (CEMS). Data hasil pemantauan harus dilaporkan kepada instansi yang berwenang dan digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja lingkungan dari pembangkit listrik yang bersangkutan.

Dengan diberlakukannya Permen LHK No. 15 Tahun 2019, industri pembangkit listrik tenaga termal di Indonesia diharuskan untuk mengadopsi teknologi pembakaran yang lebih bersih dan efisien, memasang peralatan pengendalian emisi seperti electrostatic precipitator atau scrubber, melakukan pemeliharaan rutin terhadap sistem pengendalian emisi, dan meningkatkan kapasitas sumber daya manusia dalam pengelolaan lingkungan. Langkah-langkah ini bertujuan untuk menurunkan tingkat pencemaran udara dan mendukung pembangunan berkelanjutan di sektor energi.

Tabel 2.1 Baku mutu emisi PLTG dan PLTGU

BAKU MUTU EMISI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS (PLTG) DAN
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS UAP (PLTGU)

No	Parameter	Kadar Maksimum	
		Minyak Solar (mg/Nm ³)	Gas (mg/Nm ³)
1	Sulfur Dioksida (SO ₂)	650	150
2	Nitrogen Oksida (NO _x)	450	400
3	Partikulat (PM)	100	30

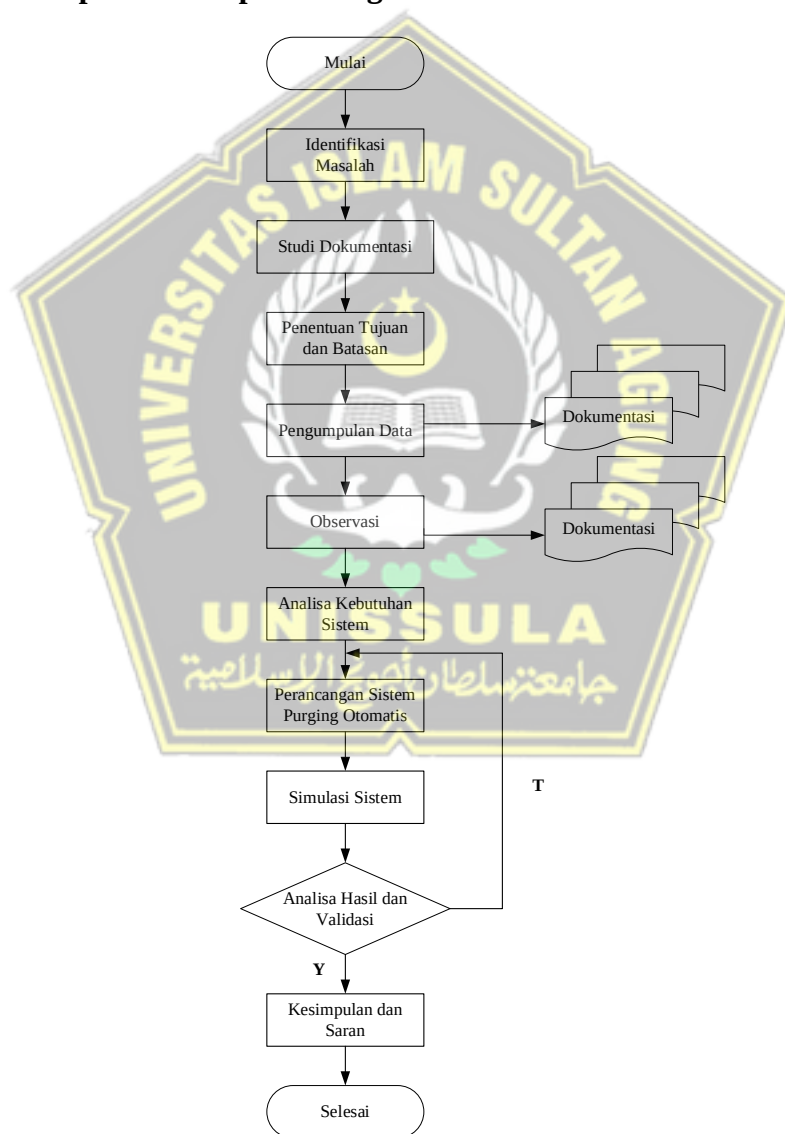


BAB III : METODE PENELITIAN / PERANCANGAN

3.1 Alur dan Tahapan Penelitian / Perancangan

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa sistem, di mana pengumpulan data dilakukan melalui metode observasi lapangan terhadap sistem *existing* di PLTGU PT Jawa Satu Power dan studi pustaka terhadap literatur teknis, standar, serta referensi ilmiah terkait sistem CEMS dan otomasi industri.

3.1.1 Alur penelitian / perancangan



Gambar 3.1 Alur penelitian / perancangan

3.1.2 Tahapan penelitian / perancangan

1. Menentukan tempat penelitian
2. Mengamati sistem *purging* manual yang digunakan di sample probe CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power.
3. Mengidentifikasi kelemahan seperti frekuensi pembersihan yang tidak konsisten, minimnya *monitoring real-time* dan risiko kontaminasi yang tinggi.
4. Menyusun rumusan masalah untuk mengkaji solusi berbasis otomasi.
5. Menganalisis teori terkait CEMS, *sample probe*, sistem *purging* dan instrumentasi seperti PLC, *pressure transmitter*, *flow switch* dan RTD.
6. Membandingkan penelitian terdahulu mengenai pemantauan emisi, teknologi CEMS dan penerapan sistem otomasi.
7. Merumuskan tujuan utama penelitian: merancang dan mensimulasikan sistem *purging* otomatis berbasis PLC.
8. Menetapkan batasan: fokus hanya pada *sample probe* CEMS, tidak termasuk tahap implementasi lapangan.
9. Pengumpulan data primer melalui observasi langsung di PLTGU PT Jawa Satu Power.
10. Dokumentasi teknis: P&ID CEMS, parameter instrumentasi, data *maintenance (preventive & corrective)* dan sistem kendali *existing*.
11. Pengumpulan data sekunder: manual teknis perangkat, jurnal ilmiah, regulasi Permen LHK No. 15 Tahun 2019.
12. Menentukan kebutuhan teknis sistem *purging* otomatis: sensor tekanan, suhu, laju aliran, *timer* dan PLC.
13. Menentukan skenario kendali: kondisi awal, kondisi operasional, kondisi *purging* dan kondisi proteksi.
14. Menyusun blok diagram sistem dan flowchart logika kerja.
15. Mendesain program logika kontrol berbasis *ladder diagram* menggunakan *software CX-Programmer*.
16. Melakukan simulasi rangkaian logika PLC menggunakan *CX-Programmer* untuk menguji fungsionalitas sistem *purging* otomatis.

17. Mengevaluasi performa logika sistem berdasarkan kondisi simulasi: waktu respon, kondisi proteksi, keakuratan proses *purging*.
18. Membandingkan dengan sistem manual untuk menunjukkan perbaikan keandalan dan efisiensi.
19. Merumuskan simpulan terkait efektivitas rancangan sistem *purging* otomatis.
20. Memberikan saran pengembangan lebih lanjut menuju implementasi fisik dan integrasi penuh ke sistem CEMS aktual.

3.2 Lokasi & Obyek Penelitian

3.2.1 Lokasi penelitian

Pada penelitian ini lokasi yang digunakan yaitu PLTGU PT Jawa Satu Power, alamat Jl. Tanjung Jaya, Cilamaya, Cilamaya Wetan, Karawang, Jawa Barat, 41384.

3.2.2 Obyek penelitian

Pada penelitian ini objek yang digunakan yaitu *Continuous Emission Monitoring Systems* (CEMS) tepatnya pada sistem *purging* pada *sample probe*.

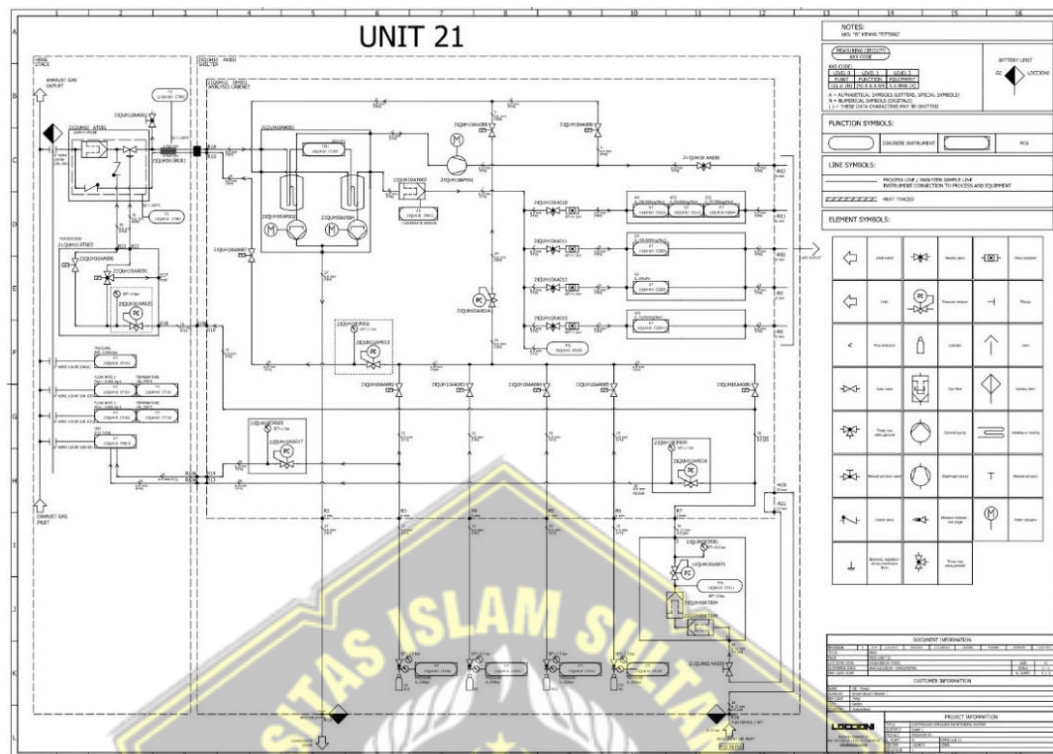
3.3 Metode Pengumpulan Data

3.3.1 Studi dokumentasi

Data yang pelajari dalam studi Dokumentasi ini diantaranya:

3.3.1.1 Desain sistem *continuous emission monitoring systems* (CEMS)

Desain sistem *continuous emission monitoring systems* (CEMS) meliputi P&ID sistem CEMS & sistem *purging*[19].



Gambar 3.2 P&ID sistem CEMS & sistem *purging*

3.3.1.2 Data maintenance

Data *maintenance* pada peralatan CEMS meliputi *preventive maintenance*, *form maintenance* dan *corrective maintenance*.

Berdasarkan jadwal *preventive maintenance* yang dilakukan di CEMS Shelter PT Jawa Satu Power, terdapat aktivitas rutin berupa *purging* pada sampling probe. Namun, frekuensi pelaksanaannya yang paling cepat hanya satu kali dalam seminggu dinilai kurang efektif untuk menjaga kebersihan filter pada sampling probe secara optimal. Hal ini dapat berdampak pada akurasi pengukuran emisi yang dihasilkan oleh sistem CEMS.

Work Order	Description	Work Group	Location	Asset	Route	Status	Scheduled Start	Priority	Assignments Name	Work Type	PM Counter
WO133141	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	5/16/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	1
WO133150	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	5/13/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	2
WO133159	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	5/20/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	3
WO133168	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	5/27/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	4
WO133177	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	6/3/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	5
WO142881	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	6/10/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	6
WO147649	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	6/17/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	7
WO151386	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	6/24/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	8
WO157439	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	7/1/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	9
WO162222	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	7/8/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	10
WO172608	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	7/15/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	11
WO172617	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	7/22/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	12
WO172655	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			COMP	7/29/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	13
WO172950	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	8/5/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	14
WO185380	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	8/12/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	15
WO189238	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	8/19/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	16
WO191664	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	8/26/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	17
WO198450	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	9/2/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	18
WO207013	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	9/9/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	19
WO215005	21 UNIT 2 HRSG AREA CEMS SHELTER INSPECTION INST	21QJH10AX001	98497			CLOSE	9/17/24 8:00 AM	5	SANIF SYAFRANI	PM	20

Gambar 3.3 Jadwal Work Order Preventive Maintenance CEMS Shelter

PREVENTIVE MAINTENANCE REPORT SHEET				
ANALYZER & SHELTER				
CEMS				
DEPARTMENT	SECTION	PROCEDURE	FORM NO	PAGE
Maintenance	ISC			(1 OF 1)
Device No	21QJH10	WD No	WO204905	
Description	CEMS SHELTER U21	Date	11-02-2025	
Device Type	ANALYZER	Range	EU	
Detail Work		Status	Remark	Notes
Shelter				
Check Operating Temperature and Humidity Panel		21.5°C / 74%		If all the status with "OK" the job is done. If all the status with "OK" for normal condition, and "NOT OK" for abnormal condition.
Visual Check Panel and Shelter		✓	OK	
Check on Mounting Condition		✓	OK	
Cleaning The Panel Cover and devices		✓		
Cleaning Filter and Fan Panel		✓		
House Keeping Shelter		✓		
Power Supply Panel Check (Yearly)		✓		
Termination Wiring Panel (Yearly)		✓		
Replace Filter and Fan Panel (6 Monthly)		✓		
Check Alarms and Indication Led		✓		
Check HVAC Operation (23 deg.C to 25 deg.C)		21°C		
CEMS Analyzer				
Sample Probe Purging		✓		
Verification with Stack Gas Test		✓		
Calibration CEMS Analyzer		✓		
Sampling & Conditioning System				
Visual Check Sampling & Conditioning System		✓		
Check and Cleaning Sampling Probe (Yearly)		✓		
Check and Cleaning Gas Cooler		✓		
Check and Cleaning Condensate Pumps		✓		
Check and Cleaning Sampling Pump		✓		
Check and Cleaning Fine Filter		✓		
Check and Cleaning Heated Line (Yearly)		✓		
Check Flows and Pressure Regulation		1.0		
Drain pot cleaning		✓		
Standard Gas inspection		✓		
Analyzer Reading :		Remarks:		
SO2 : 1.86 ppm				
NO2 : 2.73 ppm				
NO : 3.73 ppm				
CO : 0.51 ppm				
O2 : 17.07 ppm				
Done By		ACKNOWLEDGE BY		
A. Rofiq		Sanif S 12/2		

Gambar 3.4 Form Preventive Maintenance CEMS Shelter

Corrective maintenance yang pernah dilakukan terkait adanya *work order* pembacaan nilai O_2 yang tidak normal (terbaca tinggi). Setelah dilakukan pemeriksaan, ditemukan bahwa membran pada pompa sampel mengalami kerusakan atau sobek. Kerusakan ini menyebabkan udara luar masuk ke dalam sistem, sehingga pembacaan O_2 menjadi tinggi karena gas yang terhisap bukan berasal dari *stack*, melainkan dari lingkungan sekitar. Setelah ditelusuri lebih lanjut, penyebab utama masalah ini adalah filter pada *sample probe* yang sudah dalam kondisi kotor dan pecah. Pecahan filter tersebut menyumbat jalur sampel, sehingga pompa harus bekerja lebih keras dan akhirnya menyebabkan kerusakan pada membran.



Gambar 3.5 Kerusakan yang ditemukan saat *Corrective Maintenance*

3.3.2 Observasi lapangan

Observasi dilakukan secara langsung di lokasi penelitian, dengan mematuhi seluruh aturan perusahaan. Peneliti bertujuan untuk memperoleh data komponen, informasi tentang sistem proteksi, koneksi pada sistem PLC, serta program *ladder diagram* PLC.

3.3.2.1 Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam observasi meliputi:

1. *User manual* CEMS
2. *Wiring diagram* CEMS

3. *Laptop (Software CX-Programmer)*

4. *Multimeter*

5. Obeng set

Sebelum memulai pekerjaan, peneliti wajib mengenakan Alat Pelindung Diri (APD) sebagai berikut:

1. Helm keselamatan
2. Kacamata keselamatan
3. Sepatu keselamatan
4. Sarung tangan keselamatan

3.3.2.2 Data komponen

3.3.2.2.1 Spesifikasi PLC

- Merk : Allen-Bradley FLEX I/O
- Tersedia Modul :
 - *Digital Input* : 8, 16, atau 32 channel
 - *Digital Output* : Sink/Source, Relay, Triac
 - *Analog Input/Output* : 4, 8, 16 channel (Voltage, Current)
 - *Special Function* : Thermocouple, RTD, Counter, Serial
- Adapter Komunikasi : EtherNet/IP
- Catu Daya Modul : 24V DC (via power supply module)
- *Hot-swappable* : Modul dapat dilepas/pasang tanpa mematikan sistem
- Status LED : Indikator untuk status saluran I/O dan Komunikasi[20]

3.3.2.2.2 Spesifikasi pressure transmitter

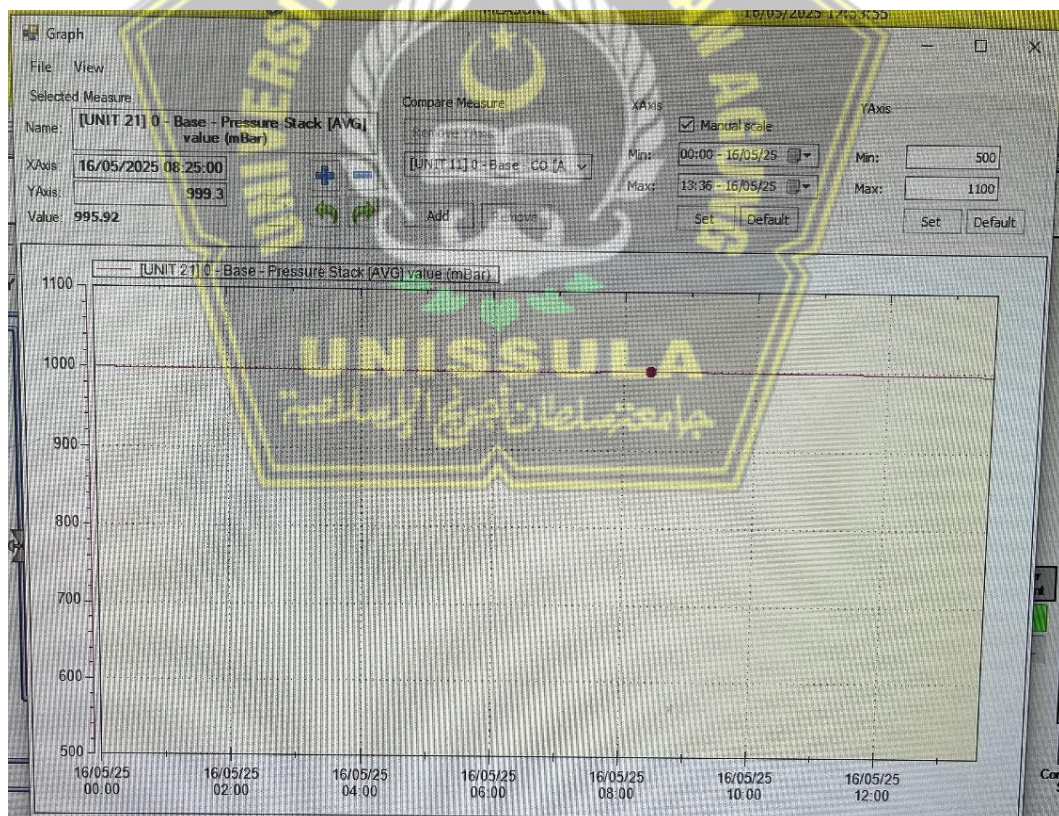
- Merk : ABB 266NSH
- Tipe : *Absolute Pressure Transmitter*
- Range : 0.7 – 1600 mbar abs
- Base accuracy : *from 0.06 % of calibrated span*
- IP rating : IP67

- Output : 4 – 20 mA HART Communication
- Power input : 9 – 30 VDC[21]

3.3.2.3 Parameter sistem proteksi

3.3.2.3.1 Stack pressure

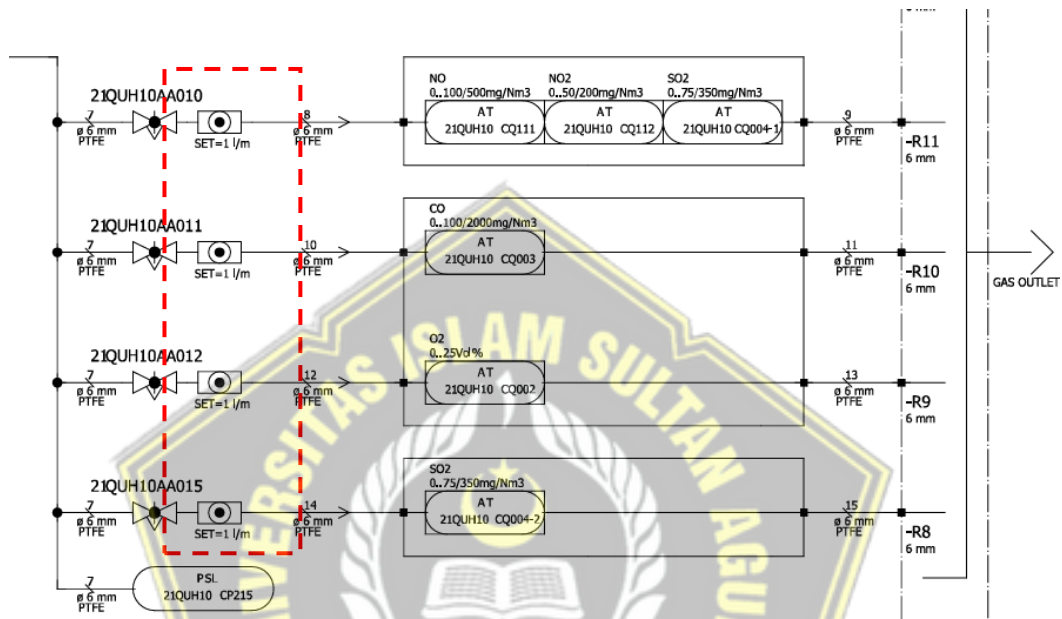
Sistem perancangan ini dibuat dengan mempertimbangkan beberapa parameter yang terdapat pada sistem CEMS di PT Jawa Satu Power yaitu yang pertama data *stack pressure* selama unit beroperasi pada tanggal 16 Mei 2025 pukul 00.00 hingga 13.30 menunjukkan nilai tertinggi sebesar 999,3 mbar. Dalam perancangan sistem, ditetapkan bahwa nilai tekanan di atas 1010 mbar mengindikasikan adanya kenaikan tekanan yang disebabkan oleh tersumbat atau kotorinya filter pada *sample probe*. Berikut *trend* pembacaan *stack pressure* CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power.



Gambar 3.6 *Trend* pembacaan *stack pressure* CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power

3.3.2.3.2 Sample flow

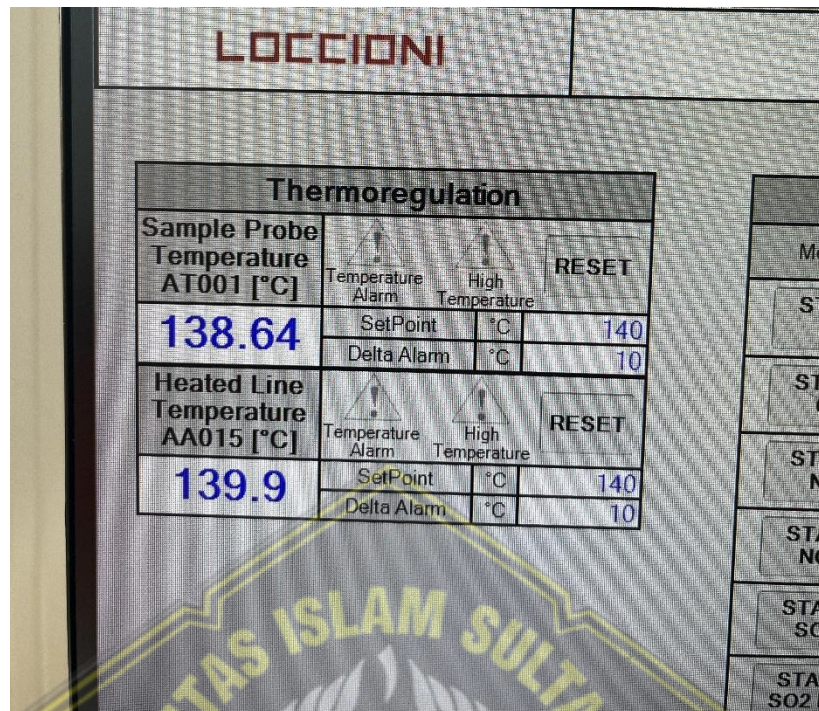
Parameter kedua adalah *flow switch*. Pada sistem CEMS di PLTGU PT Jawa Satu Power, aliran gas sampel diset pada 1 liter per menit (1 l/m) untuk memenuhi syarat minimal aliran yang dibutuhkan agar gas sampel dapat terbaca dengan baik oleh *analyzer*. Berikut P&ID yang menunjukkan setingan *flow* gas sampel.[19]



Gambar 3.7 P&ID setingan *flow* gas sample

3.3.2.3.3 Suhu *heated line* dan *sample probe*

Parameter ketiga adalah *set point* suhu pada *heated line* dan *sample probe*. *Set point* suhu ditetapkan sebesar 140°C dengan toleransi $\pm 10^\circ\text{C}$. Dengan toleransi tersebut, kontrol suhu dapat dilakukan dalam rentang 130°C hingga 150°C. Gambar berikut menunjukkan pengaturan *set point* suhu pada *heated line* dan *sample probe*.



Gambar 3.8 Set point suhu heated line dan sample probe

3.3.2.3.4 Mode kalibrasi dan *stack control*

Parameter selanjutnya adalah mode kalibrasi dan mode *stack control*. Kedua parameter ini digunakan sebagai pertimbangan agar proses *purging* tidak dilakukan saat kalibrasi berlangsung, karena dapat mengganggu bahkan merusak hasil kalibrasi. Mode *stack control* digunakan untuk memastikan bahwa aliran gas sampel berasal langsung dari cerobong (*stack*) menuju *analyzer*. Hal ini penting untuk membedakan dengan mode *local check*, yang biasanya digunakan selama proses kalibrasi dan tidak mewakili kondisi emisi aktual dari *stack*.



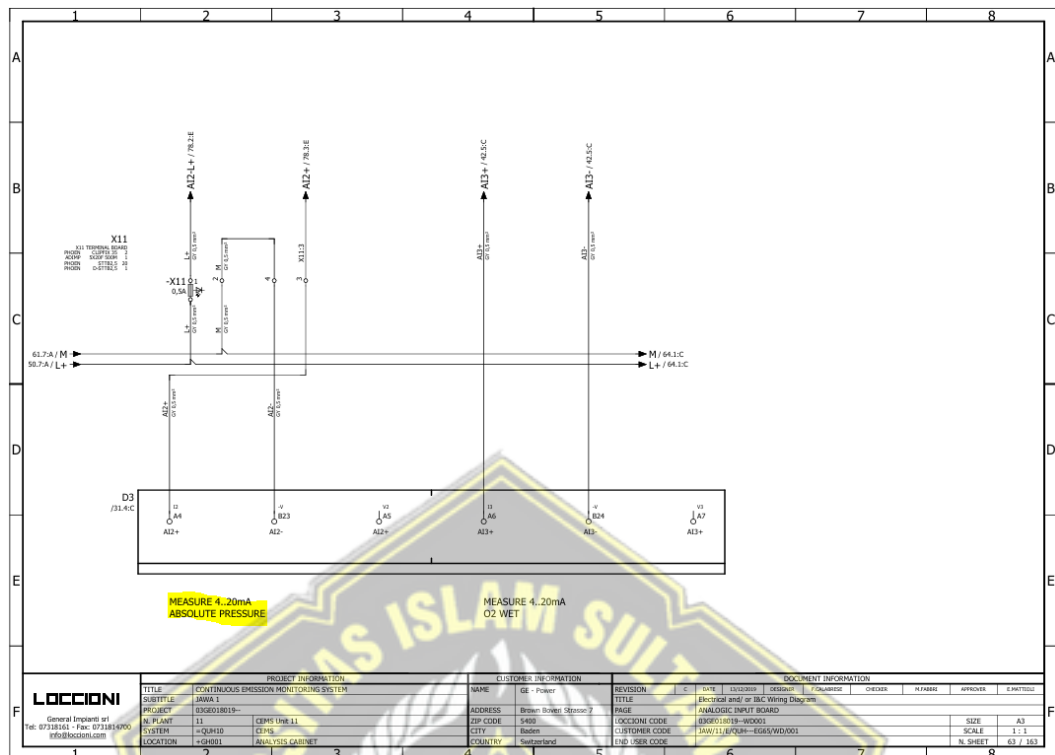
Gambar 3.9 Mode kalibrasi & stack control CEMS PT Jawa Satu Power

3.3.2.4 Koneksi pada sistem PLC

Beberapa koneksi instrumentasi yang terdapat pada sistem PLC antara lain sebagai berikut[22]:

3.3.2.4.1 Stack pressure (absolute pressure)

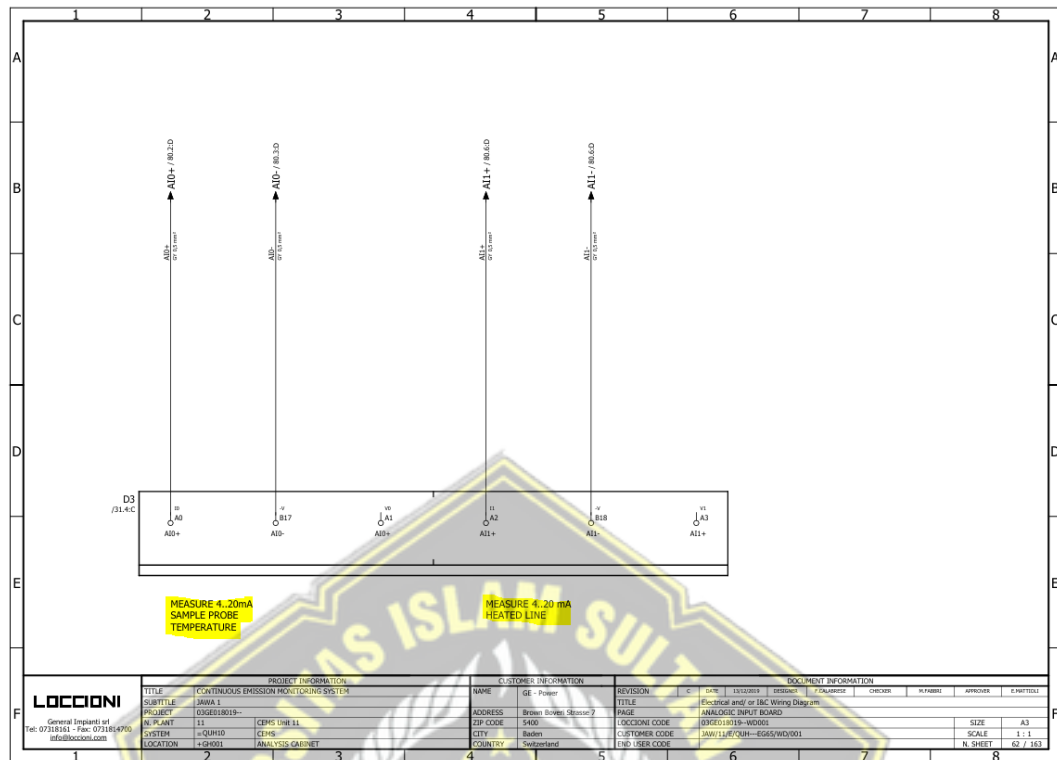
Sinyal analog output 4–20 mA dari *stack pressure transmitter* terhubung ke analog input nomor 2 (AI2) pada PLC.



Gambar 3.10 Koneksi *stack pressure transmitter* pada PLC

3.3.2.4.2 Suhu *heated line* dan *sample probe*

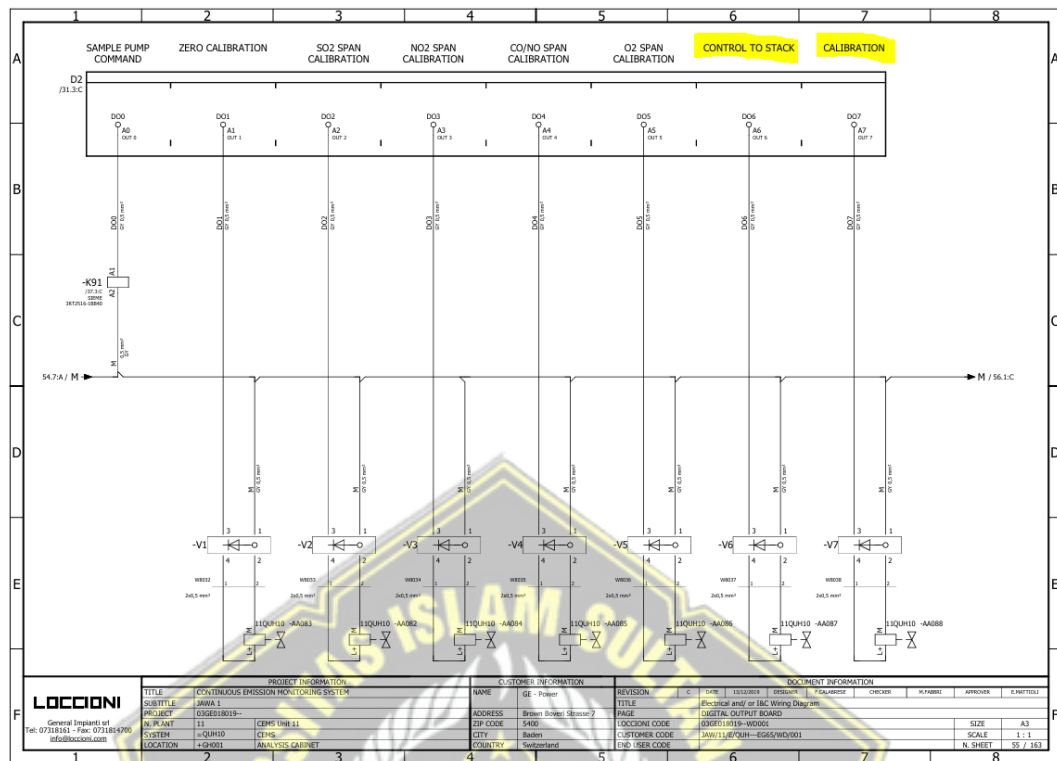
Sinyal analog output 4–20 mA dari suhu *heated line* dan *sample probe* terhubung ke analog input nomor 0 dan 1 (AI0 & AI1) pada PLC.



Gambar 3.11 Koneksi suhu *heated line* dan *sample probe* pada PLC

3.3.2.4.3 Mode kalibrasi dan *control stack*

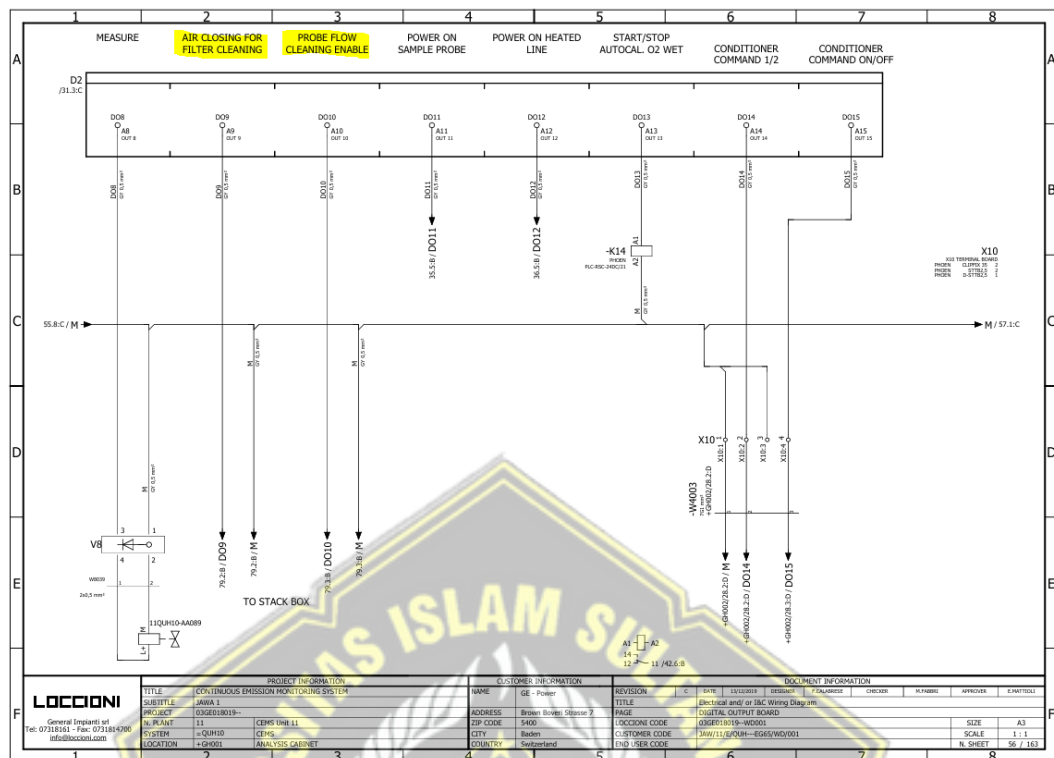
Sinyal digital output PLC nomor 6 dan 7 (DO6 dan DO7) digunakan untuk mengaktifkan *solenoid* ketika mode kalibrasi dan kontrol *stack* diaktifkan.



Gambar 3.12 Koneksi mode kalibrasi dan control stack pada PLC

3.3.2.4.4 Solenoid probe cleaning enable dan probe filter cleaning

Sinyal digital output PLC nomor 9 dan 10 (DO9 dan DO10) digunakan untuk mengaktifkan solenoid saat fungsi probe cleaning enable dan probe filter cleaning aktif, karena urutan permissive sequence telah terpenuhi.



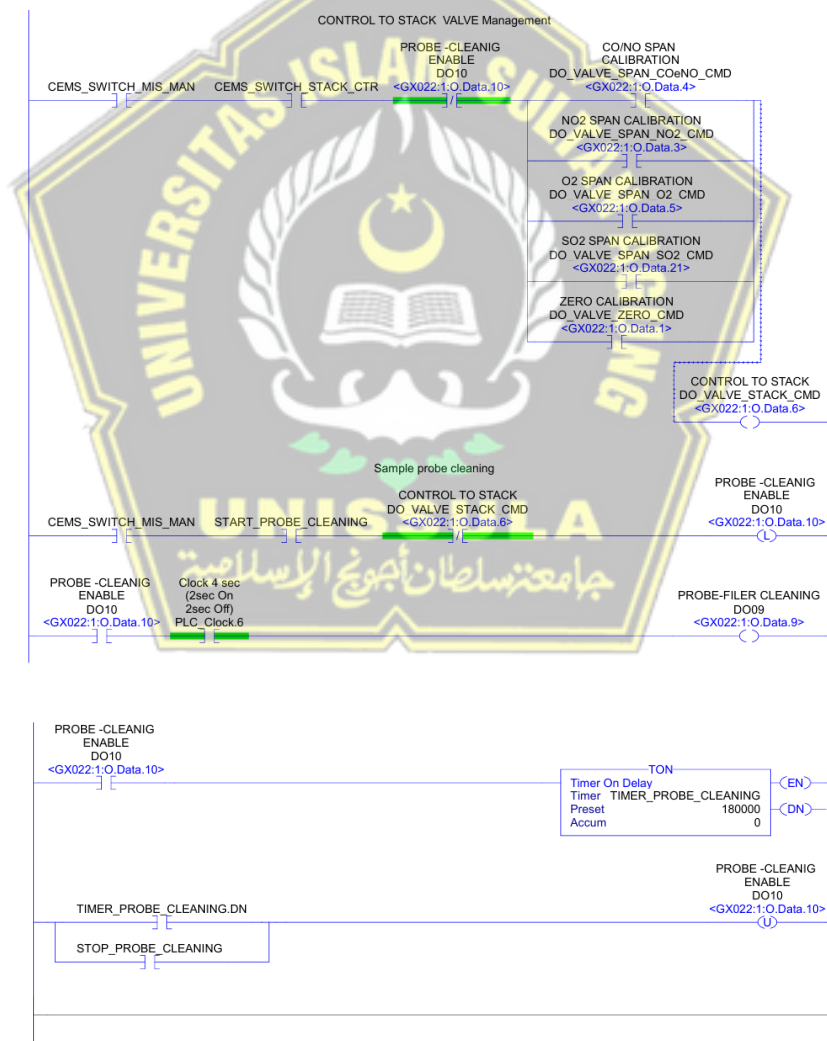
Gambar 3.13 Koneksi probe cleaning enable dan probe filter cleaning pada PLC

3.3.3.1 Program ladder diagram PLC sistem purging CEMS

Berdasarkan sistem kontrol PLC dari sistem purging yang digunakan di PLTGU PT Jawa Satu Power, proses purging dimulai ketika sinyal perintah “CEMS_SWITCH_MIS_MAN” atau sinyal mode *maintenance* aktif, “START_PROBE_CLEANING” aktif, sinyal ini dapat berasal dari perintah manual dan “CONTROL TO STACK DO_VALVE_STACK_CMD” enable tidak terinterupsi oleh mode *calibration*. Setelah sinyal start diterima, PLC akan mengaktifkan output “PROBE -CLEANIG ENABLE” yang berfungsi membuka valve untuk proses purging, serta mengaktifkan “PROBE-FILER CLEANING” yang mengalihkan jalur aliran *instrument air* ke *filter sample probe*. Untuk meningkatkan efektivitas pembersihan, sinyal “PLC_Clock.6” juga diaktifkan secara berdenyut menggunakan clock internal PLC dengan pola 2 detik ON dan 2 detik OFF, yang memungkinkan adanya efek “pukulan” udara untuk mendorong keluar kotoran dari dalam *sample probe*. Selama proses purging berlangsung, timer “TIMER_PROBE_CLEANING” akan mulai menghitung waktu dengan durasi

yang telah ditentukan yaitu 180.000 milidetik atau setara dengan 3 menit. Setelah *timer* mencapai batas waktu yang telah ditetapkan, sistem *purging* akan *stop*. Perintah “STOP_PROBE_CLEANING” juga dapat dilakukan untuk interup proses *purging* sebelum *timer* yang ditetapkan selesai. Hal ini akan menghentikan sinyal “PROBE-FILER CLEANING”, yang secara otomatis menutup *valve* dan mengakhiri proses *purging*.

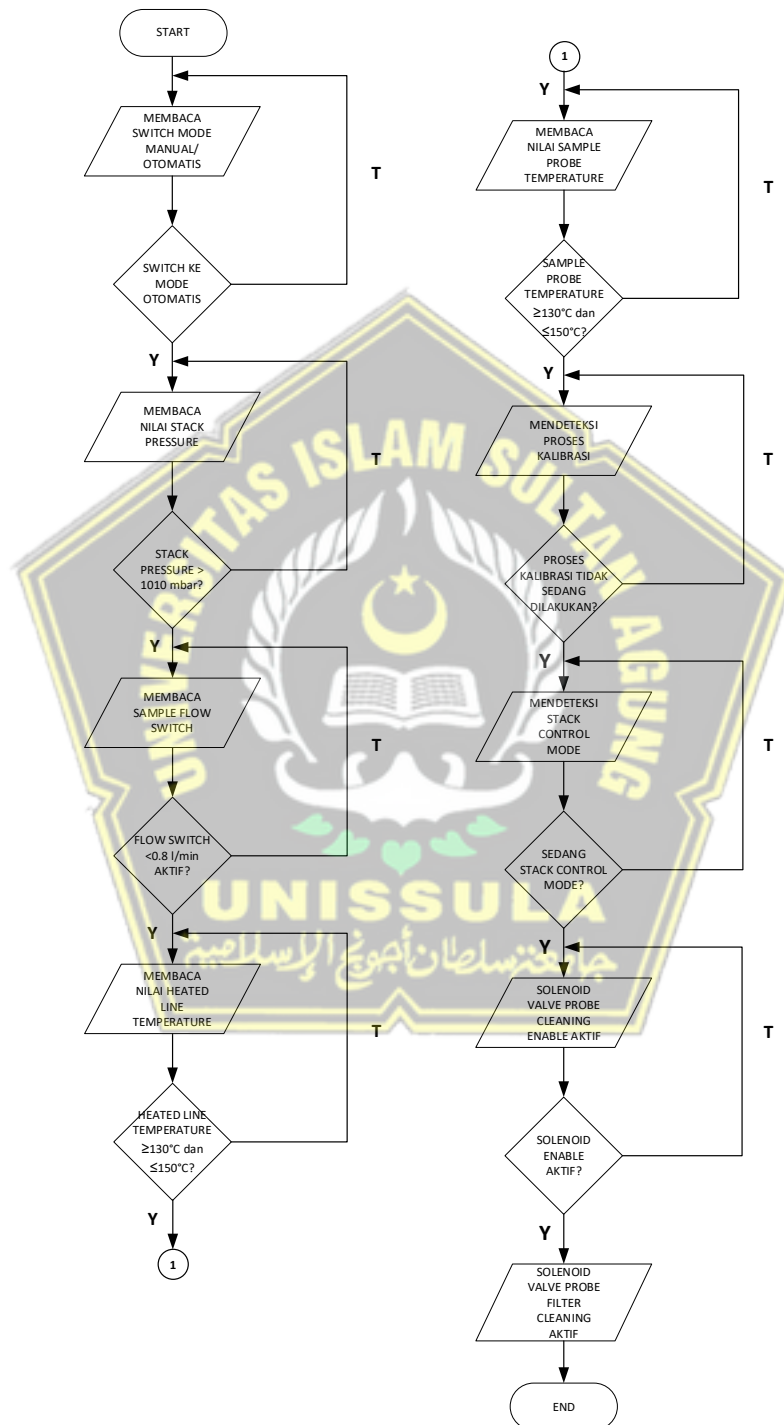
Dari penjelasan sistem kontrol PLC sebelumnya, diketahui bahwa proses *purging* masih dilakukan secara *manual*. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem *purging* otomatis agar pembersihan *sample probe* dapat berlangsung lebih optimal dan konsisten.



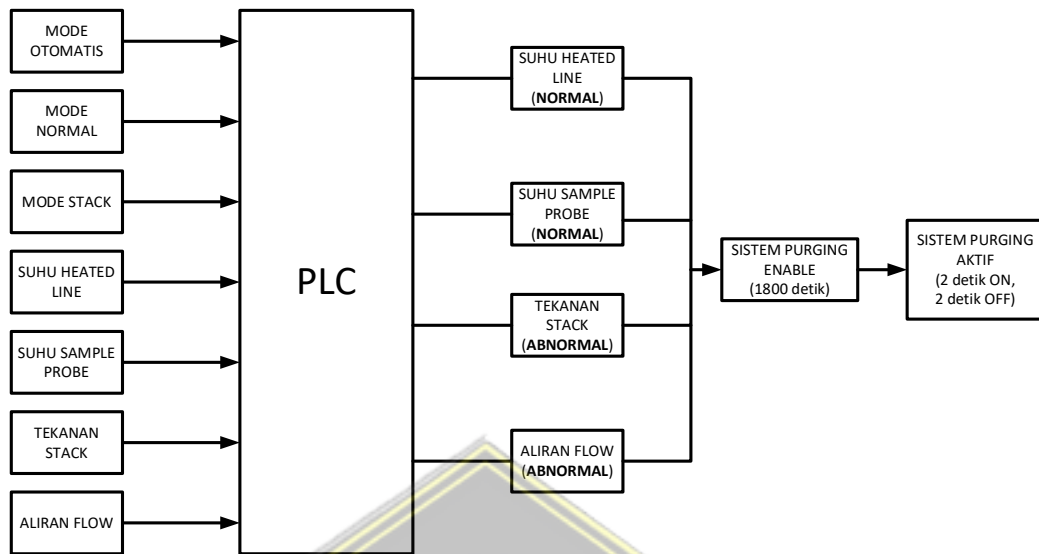
Gambar 3.14 Program *ladder diagram* PLC sistem *purging* CEMS PLTGU PT Jawa Satu Power

3.3.3 Perancangan sistem

3.3.3.1 Perancangan sistem otomatis berdasarkan sistem proteksi instrumentasi



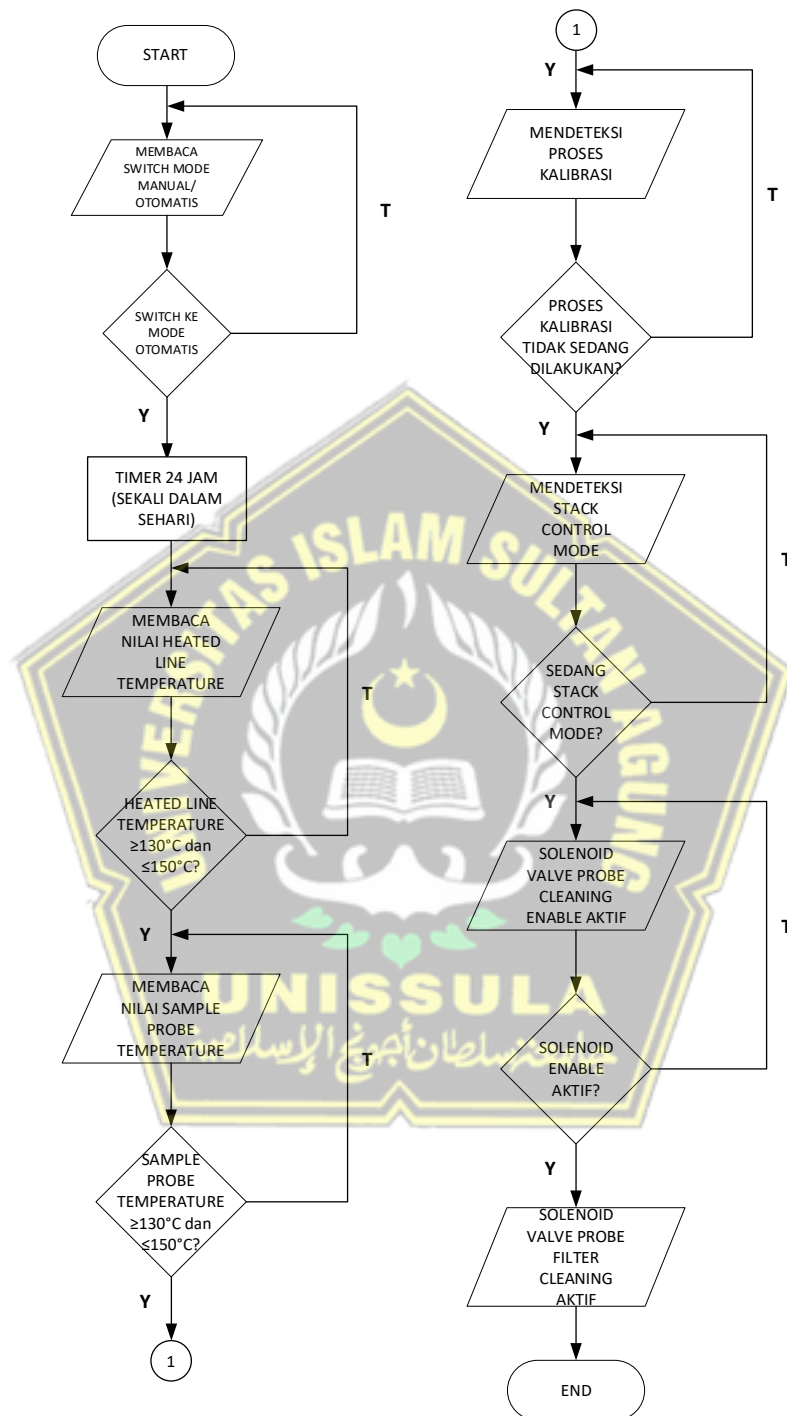
Gambar 3.15 Flowchart sistem berdasarkan sistem proteksi instrumentasi



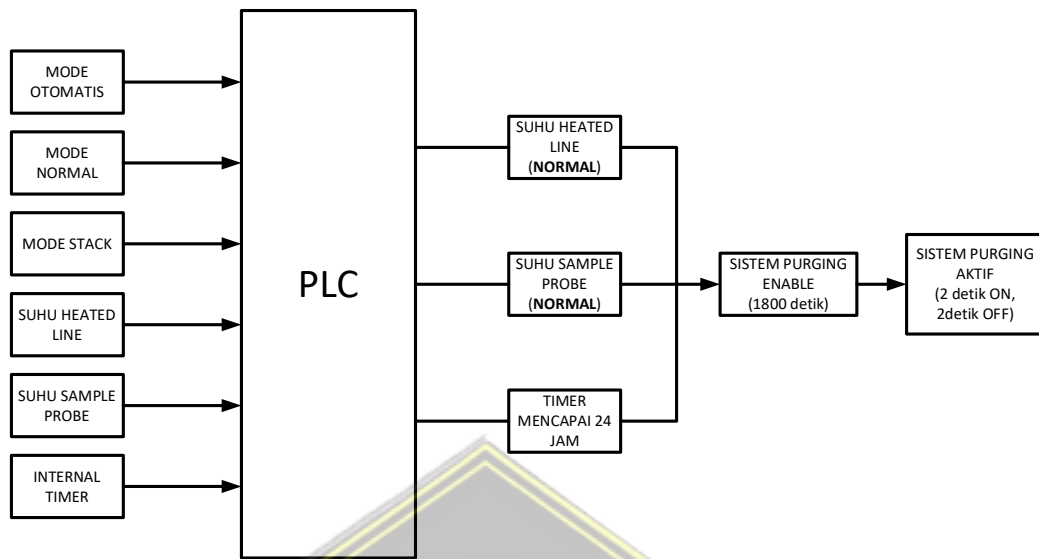
Gambar 3.16 Diagram blok sistem berdasarkan sistem proteksi instrumentasi

Diagram blok diatas menggambarkan langkah-langkah logis yang diambil oleh sistem untuk menentukan kapan proses *purging* harus dijalankan. Proses diawali dengan membaca switch mode manual/otomatis, apabila switch ke mode otomatis maka selanjutnya kontrol akan membaca nilai *stack pressure*, dan apabila nilainya melebihi 1010 mbar, maka sistem akan lanjut membaca kondisi *flow switch*. Jika *flow switch* aktif dan menunjukkan flow di bawah 0.8 l/m, maka pengecekan berlanjut ke parameter suhu. Sistem membaca suhu pada *heated line*, dan hanya melanjutkan jika suhu terbaca antara 130°C sampai 150°C, sebagai indikator bahwa jalur pemanas berfungsi dengan baik. Kemudian, suhu pada *sample probe* juga diperiksa untuk memastikan sistem dalam kondisi operasi normal. Jika semua parameter ini terpenuhi, maka sistem masuk ke bagian logika selanjutnya untuk mengecek apakah tidak sedang dilakukan proses kalibrasi dan apakah sistem sedang berada dalam *stack control mode*. Bila kedua syarat ini terpenuhi, maka PLC akan mengaktifkan *Solenoid Valve Probe Cleaning Enable* dan jika solenoid tersebut aktif, maka akan dilanjutkan dengan mengaktifkan *Solenoid Valve Probe Filter Cleaning* sebagai bagian dari proses pembersihan otomatis. Seluruh langkah dalam flowchart ini merupakan bagian dari simulasi logika kendali yang akan diterapkan pada PLC.

3.3.3.2 Perancangan sistem purging otomatis berdasarkan timer



Gambar 3.17 Flowchart sistem berdasarkan *timer*



Gambar 3.18 Diagram blok sistem berdasarkan timer

Diagram blok diatas menunjukkan tahapan-tahapan logis yang dijalankan oleh sistem secara otomatis dalam siklus harian, dimulai dari membaca switch mode manual/otomatis, apabila switch ke mode otomatis maka selanjutnya kontrol akan mengaktifasi *timer 24 jam* sebagai pemicu rutin untuk memulai proses pemeriksaan. Setelah *timer* aktif, sistem akan membaca nilai suhu dari *heated line*. Jika *heated line temperature* berada di antara 130°C sampai 150°C, maka proses berlanjut dengan membaca *sample probe temperature*. Apabila *sample probe temperature* juga antara 130°C sampai 150°C, sistem akan memeriksa apakah sedang berlangsung proses kalibrasi. Jika tidak ada proses kalibrasi, maka sistem melanjutkan ke tahap berikutnya untuk mendeteksi apakah unit sedang berada dalam *stack control mode*, yang menandakan bahwa sistem sedang beroperasi normal dan mengambil data dari cerobong. Bila semua kondisi tersebut terpenuhi, PLC akan mengaktifkan *solenoid valve probe cleaning enable*, yang kemudian diikuti oleh pemeriksaan status aktivasi *solenoid valve* tersebut. Jika *solenoid enable* aktif, maka sistem secara otomatis akan mengaktifkan *solenoid valve probe filter cleaning* untuk menjalankan proses purging pada probe CEMS.

3.4 Metode Analisa

Metode analisis dalam penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas rancangan sistem *purging* otomatis pada *sample probe* CEMS berbasis PLC. Analisis dilakukan secara sistematis melalui pendekatan kualitatif dan teknis sebagai berikut:

1. Analisis Kebutuhan Sistem

Dilakukan identifikasi terhadap kelemahan sistem *purging* manual yang digunakan saat ini, berdasarkan data observasi lapangan, dokumentasi *preventive* dan *corrective maintenance* di PLTGU PT Jawa Satu Power. Hasil identifikasi ini digunakan untuk merumuskan parameter kritis dan kebutuhan fungsional sistem *purging* otomatis, seperti tekanan, suhu, laju aliran, serta kondisi operasi yang relevan (mode kalibrasi, mode *stack control* dan *permissive logic*).

2. Analisis Fungsional Sistem Otomatisasi

Tahapan ini mencakup perancangan logika kontrol yang mampu merespons kondisi *real-time* berdasarkan sinyal masukan dari sensor tekanan, suhu dan *flow switch*. Desain logika dikembangkan dalam bentuk *ladder diagram* menggunakan perangkat lunak *CX-Programmer* dengan mempertimbangkan *interlock* dan proteksi sistem.

3. Simulasi Logika Kendali

Program PLC hasil perancangan diuji melalui simulasi menggunakan *CX-Programmer* untuk memverifikasi fungsionalitas masing-masing kondisi operasi (normal, *purging* dan alarm). Uji coba mencakup:

- Aktivasi dan durasi *purging* otomatis.
- Respons terhadap kondisi *interlock* (misal: suhu di bawah batas minimum, aliran sampel *abnormal*, tekanan *abnormal* atau mode kalibrasi aktif).
- Aktivasi sinyal *output* untuk *solenoid valve* berdasarkan *logika permissive*.

4. Analisis Kinerja Sistem Simulasi

Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan:

- Waktu respon sistem terhadap perubahan kondisi input.
- Keakuratan aktivasi purging berdasarkan parameter yang ditetapkan.
- Efektivitas logika proteksi dalam mencegah *purging* saat kondisi tidak aman (misal saat kalibrasi aktif).
- Konsistensi siklus pembersihan dibandingkan sistem manual sebelumnya.



BAB IV : DATA DAN ANALISA

4.1 Data Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan simulasi sistem otomatisasi purging pada *sample probe Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) menggunakan *software CX-Programmer*.

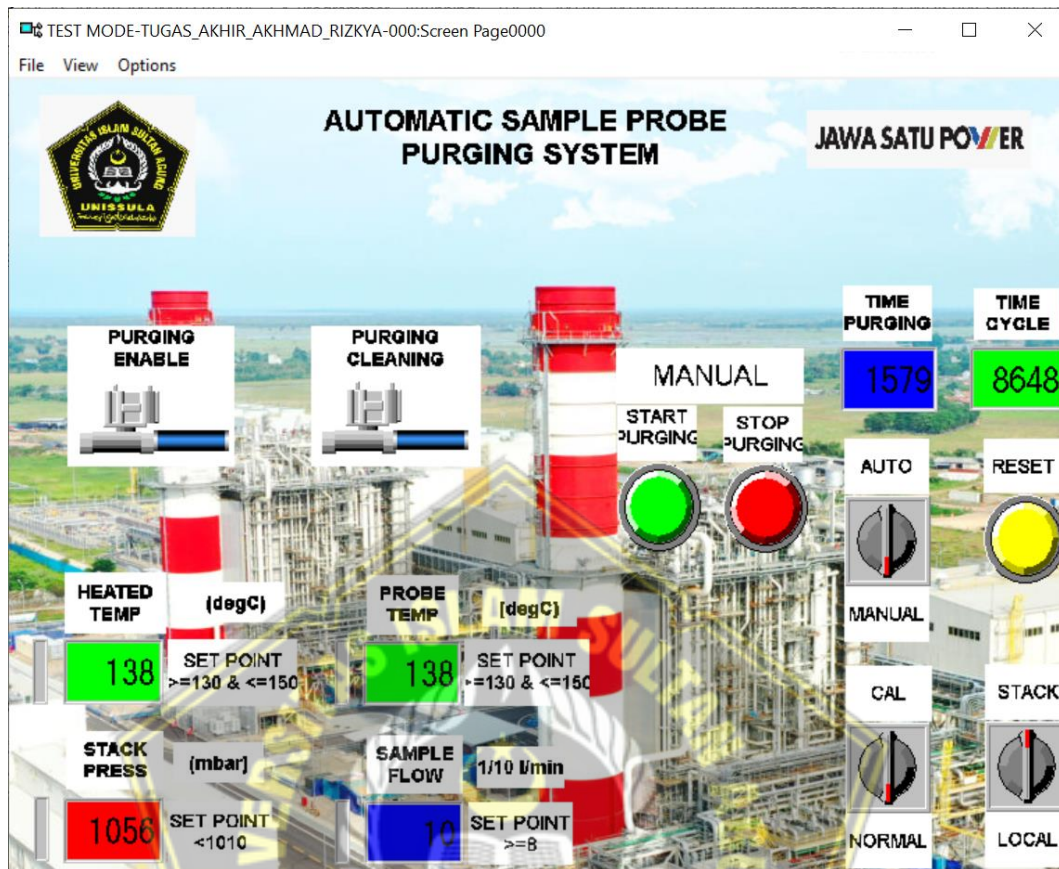
4.1.1 Kondisi sistem *purging* manual

4.1.1.1 *Start sistem purging manual*

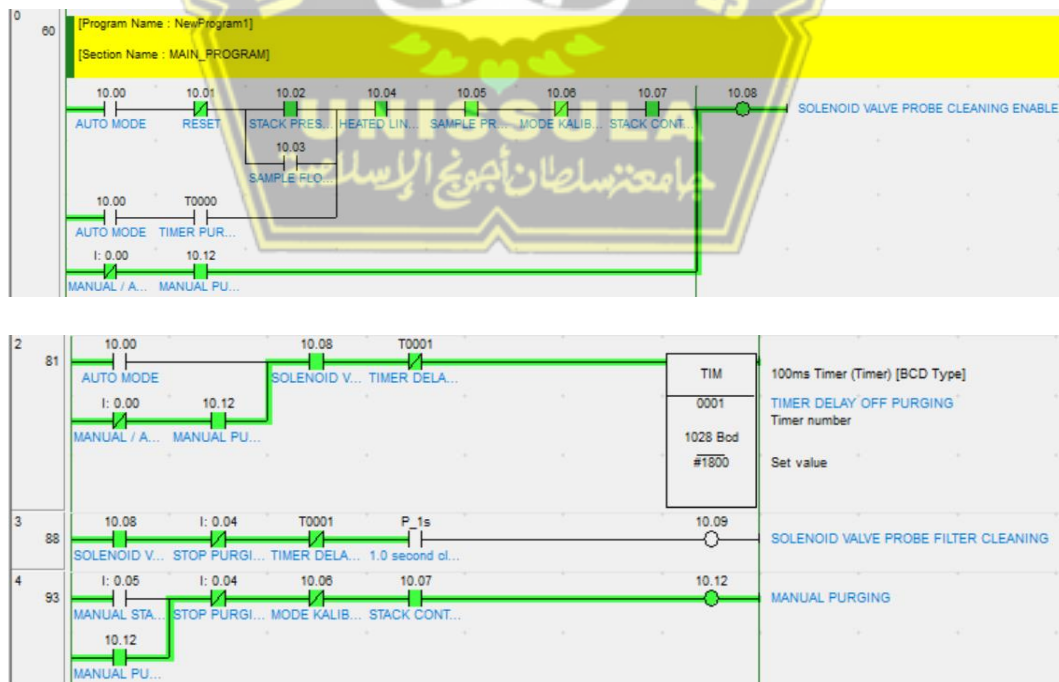
Pada kondisi *start* sistem *purging* manual, langkah-langkah yang harus dilakukan adalah:

1. Memilih mode “Manual”
2. Memilih mode “Normal” (tidak sedang kalibrasi)
3. Memilih mode “Stack”
4. Menekan tombol “Start purging”

Setelah langkah-langkah tersebut dilakukan, *solenoid purging enable* dan *solenoid purging cleaning* akan aktif dengan pola ON dan OFF selama durasi waktu 1800 detik sesuai pengaturan *timer*. Berikut adalah kondisi yang ditampilkan pada HMI dan *logic ladder diagram* pada PLC.



Gambar 4.1 Tampilan HMI saat kondisi start sistem *purging* manual



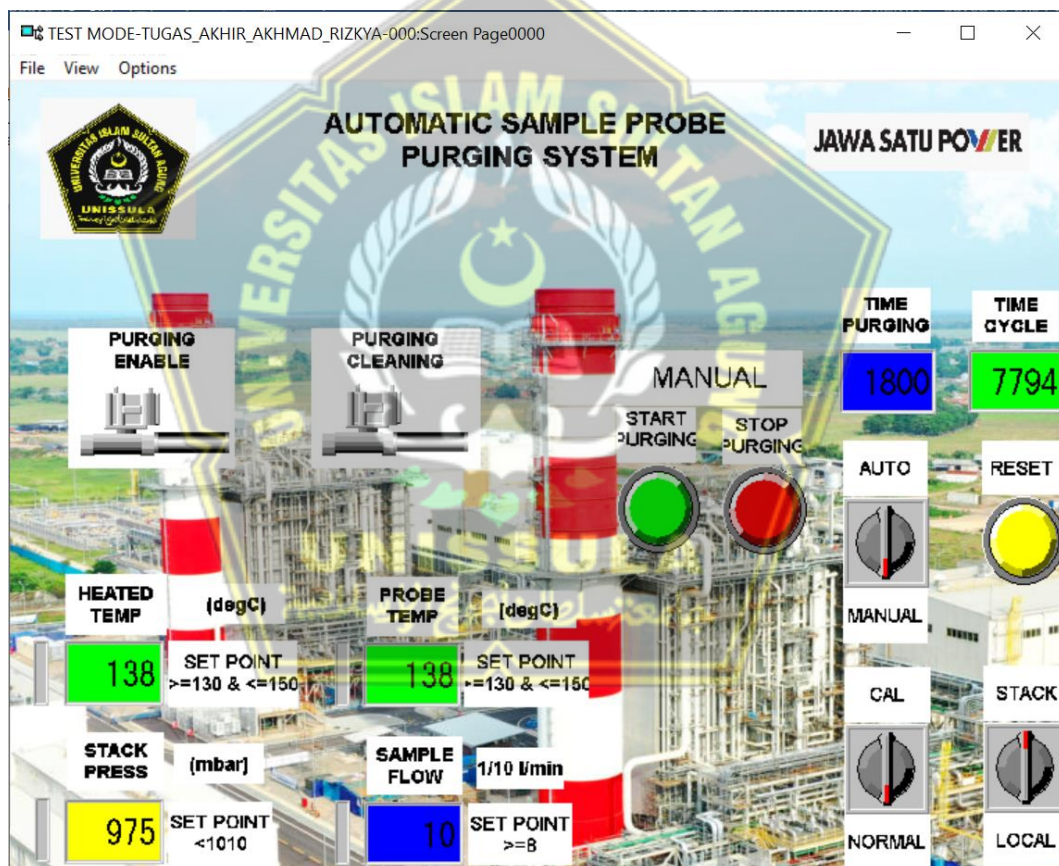
Gambar 4.2 Tampilan *logic ladder diagram* PLC saat kondisi start sistem *purging* manual

4.1.1.2 Stop sistem purging manual

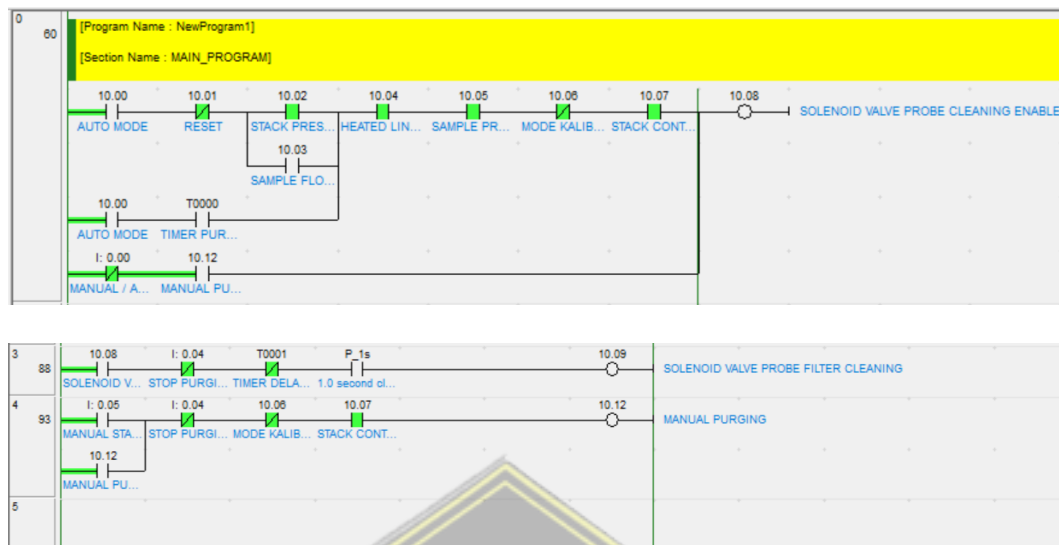
Pada kondisi *stop* sistem *purging* manual, langkah-langkah yang harus dilakukan adalah:

1. Menekan tombol “*Stop purging*”

Setelah langkah tersebut dilakukan, *solenoid purging enable* dan *solenoid purging cleaning* akan nonaktif dan *timer* yang berjalan akan direset ke 1800. Berikut adalah kondisi yang ditampilkan pada HMI dan *logic ladder diagram* pada PLC.



Gambar 4.3 Tampilan HMI saat kondisi *stop* sistem *purging* manual



Gambar 4.4 Tampilan *logic ladder diagram* PLC saat kondisi *stop* sistem *purging* manual

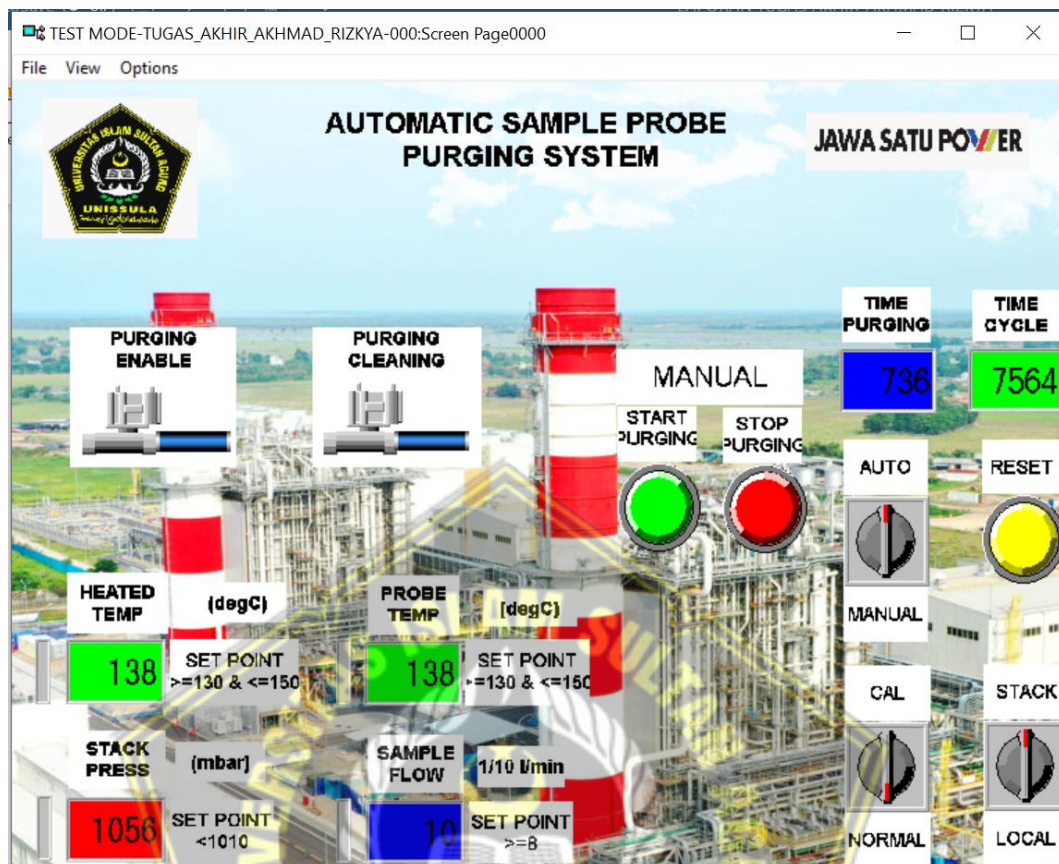
4.1.2 Kondisi sistem *purging* otomatis berdasarkan parameter instrumentasi

4.1.2.1 Start sistem *purging* otomatis berdasarkan parameter instrumentasi

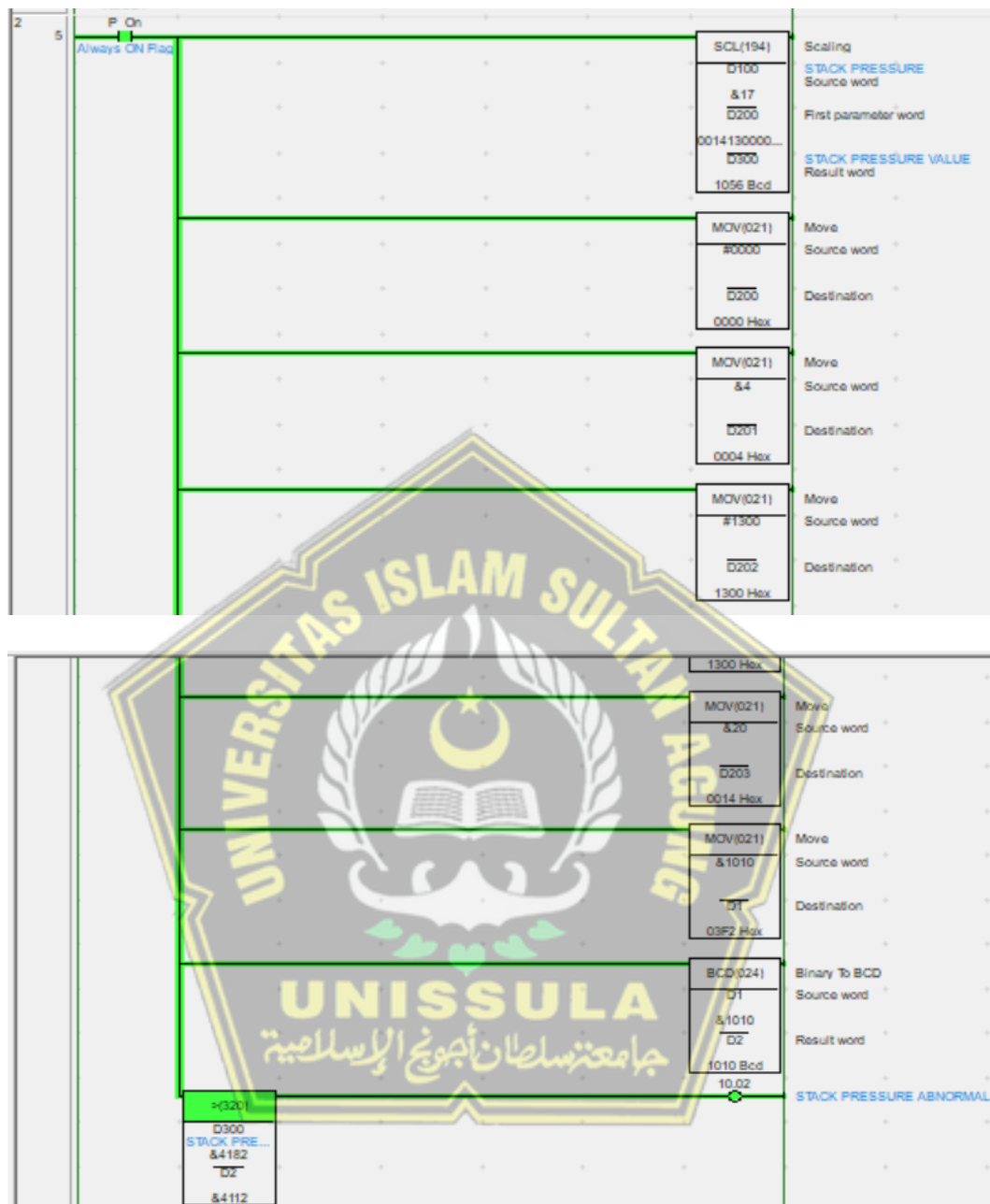
Pada kondisi *start* sistem *purging* otomatis berdasarkan parameter instrumentasi, proses sistem *purging* akan aktif apabila beberapa parameter berikut telah terpenuhi:

1. Memilih "Auto mode"
2. "Heated line temperature" harus dalam keadaan normal
3. "Sample probe temperature" harus dalam keadaan normal
4. Memilih mode "Normal" (tidak sedang kalibrasi)
5. Memilih mode "Stack"
6. "pressure stack" atau "sample flow" terdeteksi tidak normal.

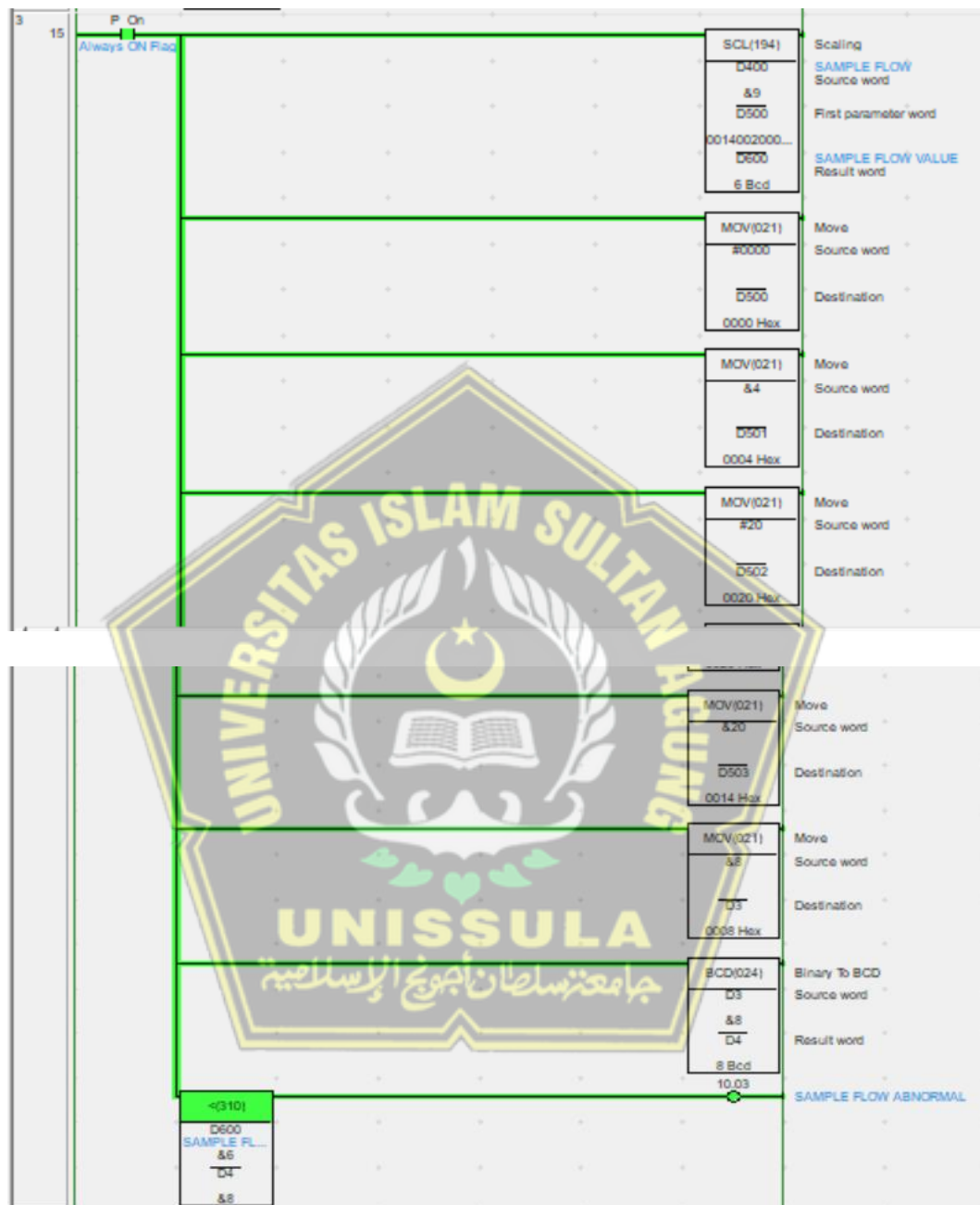
Setelah beberapa parameter tersebut tercapai, maka *solenoid purging enable* dan *solenoid purging cleaning* akan aktif dengan pola ON dan OFF selama durasi waktu 1800 detik sesuai pengaturan timer. Berikut adalah kondisi yang ditampilkan pada HMI dan *logic ladder diagram* pada PLC.



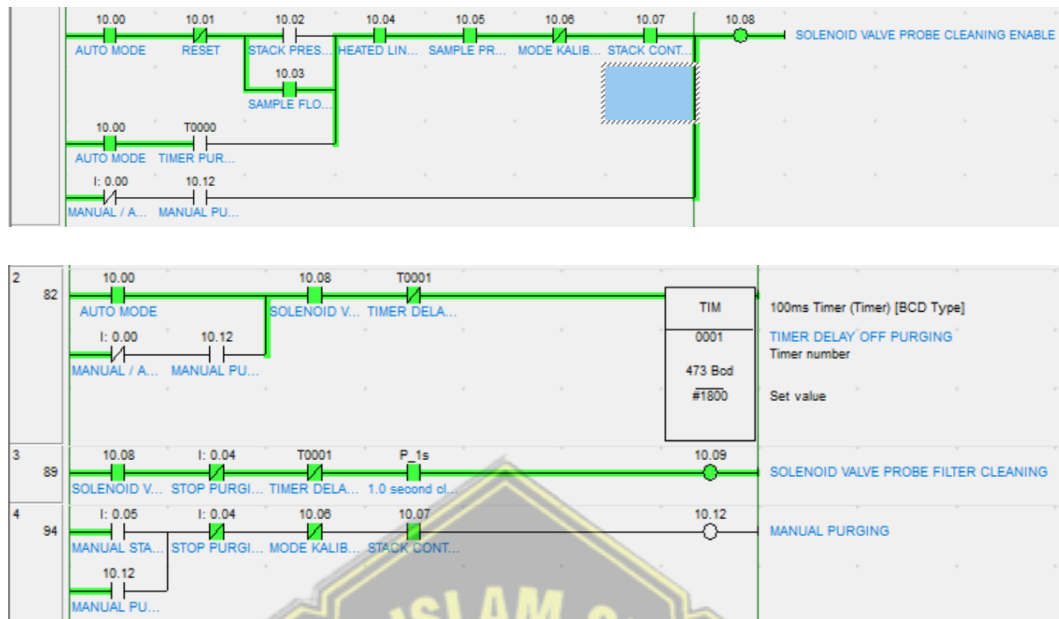
Gambar 4.5 Tampilan HMI saat kondisi *start* sistem *purging* otomatis berdasarkan parameter *pressure stack abnormal*



Gambar 4.6 Tampilan *logic ladder diagram* PLC pengkondisi sinyal *stack pressure* dan output *stack pressure abnormal* aktif



Gambar 4.9 Tampilan *logic ladder diagram* PLC pengkondisi sinyal *sample flow* dan output *sample flow abnormal* aktif



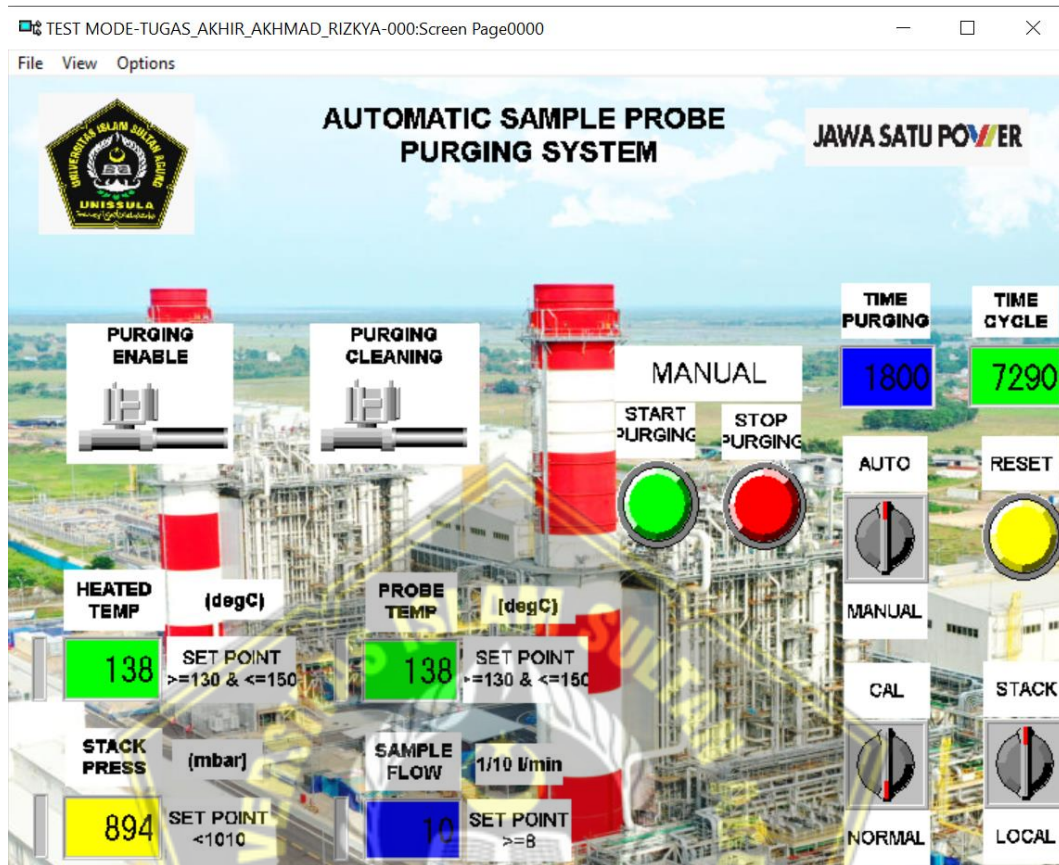
Gambar 4.10 Tampilan *logic ladder diagram* PLC saat kondisi *start* sistem *purging* otomatis berdasarkan parameter *sample flow* tidak normal

4.1.2.2 Stop sistem *purging* otomatis berdasarkan parameter instrumentasi

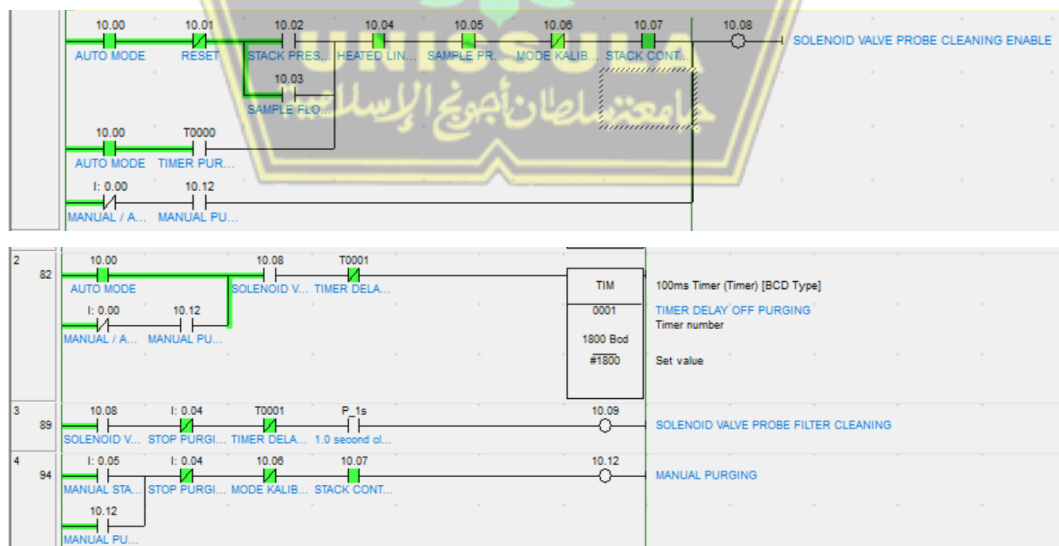
Pada kondisi *stop* sistem *purging* otomatis berdasarkan parameter instrumentasi, proses penghentian dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter berikut:

1. “*Stack pressure*” dan “*sample flow*” sudah normal kembali
2. “*Heated line temperature*” atau “*sample probe temperature*” tidak normal
3. “*Mode normal*” dirubah menjadi “*mode kalibrasi*”
4. “*Mode stack*” dirubah menjadi “*mode lokal*”

Setelah langkah tersebut dilakukan, *solenoid purging enable* dan *solenoid purging cleaning* akan nonaktif dan timer yang berjalan akan direset ke 1800. Sistem *purging* otomatis ini tidak dapat dipengaruhi oleh tombol “*stop purging*” manual. Berikut adalah kondisi yang ditampilkan pada HMI dan *logic ladder diagram* pada PLC.



Gambar 4.11 Tampilan HMI saat kondisi *stop* sistem *purging* otomatis berdasarkan parameter *stack pressure* dan *sample flow* normal kembali



Gambar 4.12 Tampilan *logic ladder diagram* PLC saat kondisi *stop* sistem *purging* otomatis berdasarkan parameter *stack pressure* dan *sample flow* normal kembali

4.1.3 Kondisi sistem *purging* otomatis berdasarkan timer

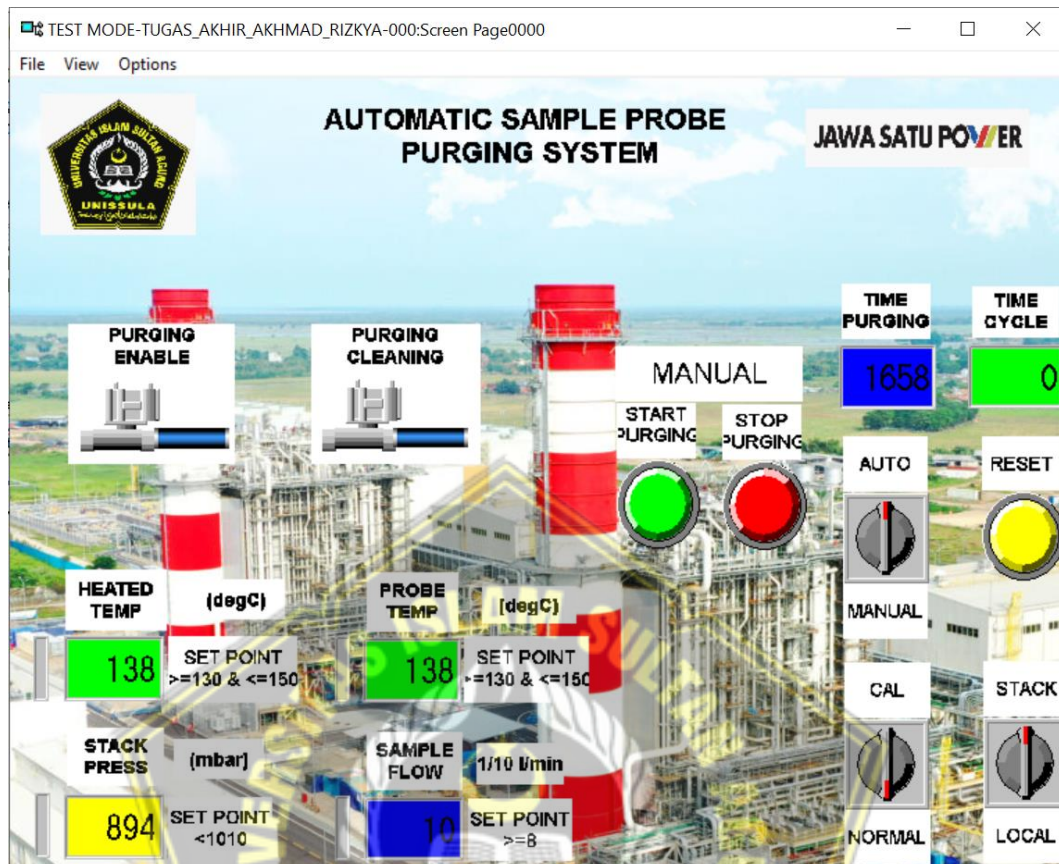
4.1.3.1 *Start sistem purging otomatis berdasarkan timer*

Pada kondisi *start* sistem *purging* otomatis berdasarkan *timer*, proses *purging* akan aktif apabila *time cycle* telah tercapai. *Time cycle* yang dimaksud adalah pengaturan waktu yang menjadwalkan sistem *purging* untuk aktif secara otomatis setiap 24 jam sekali. Agar sistem *purging* otomatis dapat aktif berdasarkan *timer*, beberapa syarat berikut harus terpenuhi:

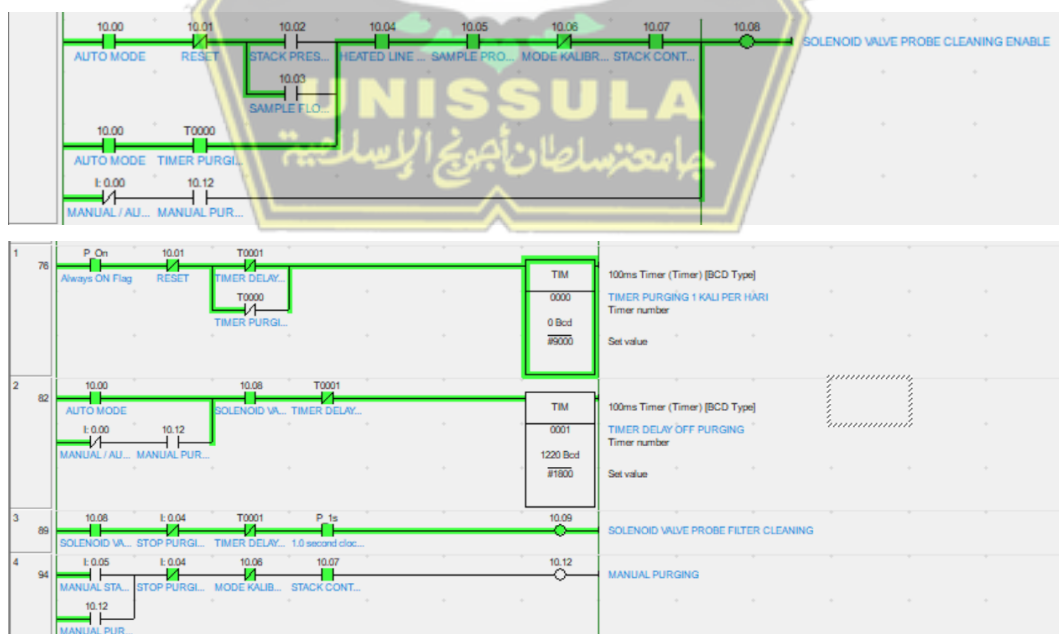
1. Memilih "*Auto mode*"
2. "*Heated line temperature*" harus dalam keadaan normal
3. "*Sample probe temperature*" harus dalam keadaan normal
4. Memilih mode "*Normal*" (tidak sedang kalibrasi)
5. Memilih mode "*Stack*"

Setelah beberapa parameter tersebut tercapai, maka *solenoid purging enable* dan *solenoid purging cleaning* akan aktif dengan pola ON dan OFF selama durasi waktu 1800 detik sesuai pengaturan *timer*. Berikut adalah kondisi yang ditampilkan pada HMI dan *logic ladder diagram* pada PLC.





Gambar 4.13 Tampilan HMI saat kondisi start sistem purging otomatis berdasarkan timer



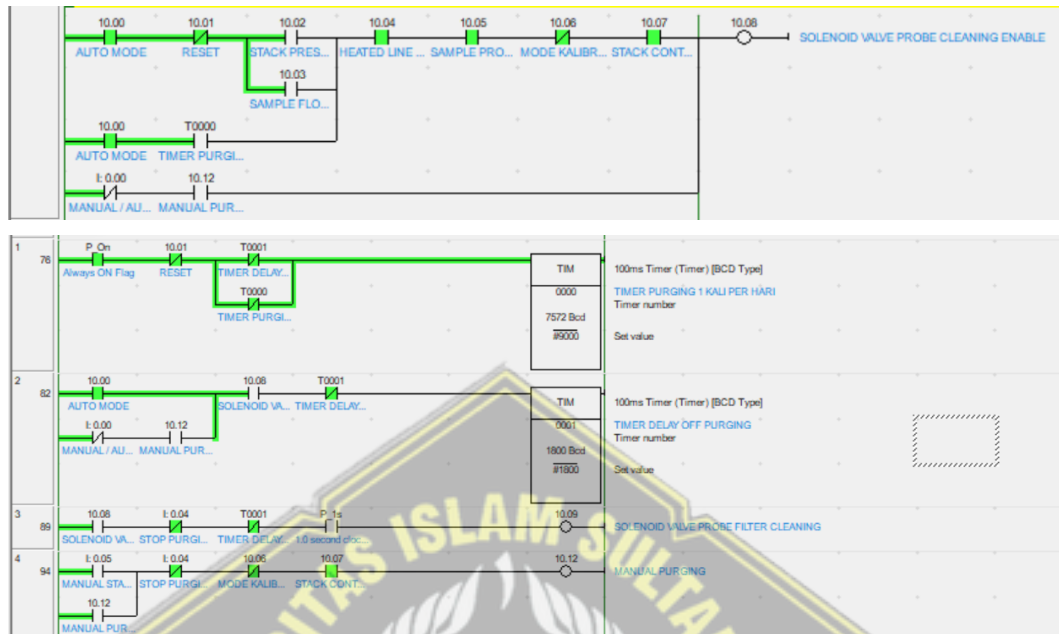
Gambar 4.14 Tampilan logic ladder diagram PLC saat kondisi start sistem purging otomatis berdasarkan timer

4.1.3.2 Stop sistem purging otomatis berdasarkan timer

Pada kondisi *stop* sistem *purging* otomatis berdasarkan *timer*, sistem *purging* akan berhenti secara otomatis apabila durasi *purging* selama 1800 detik telah selesai. Sistem *purging* otomatis ini tidak dapat dipengarui oleh tombol “*stop purging*” manual. Berikut adalah kondisi yang ditampilkan pada HMI dan *logic ladder diagram* pada PLC.



Gambar 4.15 Tampilan HMI saat kondisi *stop* sistem *purging* otomatis berdasarkan *timer*



Gambar 4.16 Tampilan *logic ladder diagram* PLC saat kondisi *stop* sistem *purging* otomatis berdasarkan timer

4.2 Analisa

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *CX-Programmer*, sistem *purging* otomatis pada *sample probe* CEMS berhasil dirancang dan diuji secara virtual dengan mengacu pada parameter-parameter teknis di lapangan. Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi eksisting (*purging* manual) dengan rancangan sistem otomatis yang telah disimulasikan.

4.2.1 Analisa sistem *purging* manual

Sistem *purging* manual memiliki keterbatasan signifikan, antara lain:

Tabel 4.1 Keterbatasan sistem *purging* manual

No	Parameter	Kondisi Sistem Manual	Dampak
1	Frekuensi <i>purging</i>	Tidak konsisten, tergantung jadwal preventive maintenance	Risiko kontaminasi tinggi, akurasi data menurun

No	Parameter	Kondisi Sistem Manual	Dampak
2	<i>Monitoring</i>	Tidak real-time	Sulit mendeteksi kondisi <i>abnormal</i>
3	Intervensi pengguna	Sangat tinggi	Potensi human error
4	Respon terhadap kondisi alat	Tidak adaptif	Tidak mendeteksi perubahan tekanan/ <i>flow abnormal</i>

Hasil ini mengindikasikan perlunya sistem yang dapat berjalan otomatis dan adaptif terhadap kondisi *real-time* dari *sample probe* dan lingkungan sekitarnya.

4.2.2 Analisa sistem *purging* otomatis berdasarkan parameter instrumentasi

Simulasi menunjukkan bahwa sistem secara responsif memicu proses *purging* saat kondisi *abnormal* terjadi. Hal ini menunjukkan keberhasilan logika proteksi berbasis *real-time*.

Hasil analisa:

Tabel 4.2 Analisa sistem *purging* otomatis berdasarkan parameter instrumentasi

No	Parameter	Kondisi Sistem Auto	Dampak
1	Logika <i>Interlock</i>	Sistem tidak akan memulai <i>purging</i> jika salah satu kondisi <i>interlock</i> tidak terpenuhi	Meningkatkan keamanan sistem dan mencegah <i>purging</i> terjadi saat kondisi tidak valid
2	Respons terhadap parameter	Sistem merespons perubahan <i>stack pressure</i> dan <i>sample flow</i> dalam beberapa scan PLC	Menjamin <i>purging</i> hanya terjadi saat kondisi <i>real-time</i> sudah sesuai, meningkatkan akurasi

No	Parameter	Kondisi Sistem Auto	Dampak
3	<i>Timer 1800 detik</i>	Durasi <i>purging</i> dikendalikan dengan <i>timer</i> 1800 detik (otomatis reset setelah selesai)	Memberikan konsistensi waktu <i>purging</i> , mencegah <i>purging</i> terlalu lama atau terlalu singkat
4	<i>Stack Pressure Abnormal</i>	Sistem otomatis aktif jika tekanan melebihi ambang batas (>1010 mbar)	Mencegah akumulasi tekanan akibat sumbatan filter, meningkatkan keamanan dan efektivitas pembersihan
5	<i>Sample Flow Abnormal</i>	Sistem <i>purging</i> aktif jika <i>flow switch</i> mendeteksi <i>sample flow</i> di bawah 0.8 l/m	Menjamin hanya gas dengan laju aliran mencukupi yang dikondisikan, meningkatkan keakuratan pengukuran
6	<i>Heated Line dan Sample Probe temperature</i>	Sistem tidak akan aktif jika suhu berada di luar rentang 130–150°C	Melindungi <i>probe</i> dari kerusakan akibat suhu tidak ideal, menjaga integritas data

4.2.3 Analisa sistem *purging* otomatis berdasarkan timer

Sistem ini dirancang untuk melakukan *purging* setiap 24 jam sekali secara otomatis, dengan syarat parameter sistem berada dalam kondisi aman. Simulasi menunjukkan bahwa siklus harian berhasil dijalankan secara otomatis tanpa perlu melakukan *purging* secara manual.

Tabel 4.3 Analisa sistem purging otomatis berdasarkan timer

No	Parameter	Kondisi Sistem Auto	Dampak
1	Konsistensi Siklus Pembersihan	Purging berjalan otomatis setiap 24 jam dengan durasi tetap	Menjaga efektivitas pembersihan dan performa probe tetap optimal
2	Minim Intervensi Manusia	Purging berjalan tanpa perlu perintah manual dari operator	Mengurangi risiko kelalaian operator dan meningkatkan efisiensi operasional
3	Pemantauan Kondisi Instrumentasi	Sistem hanya aktif jika parameter <i>heated line</i> dan <i>sample probe temperature</i> berada dalam batas aman	Mencegah kerusakan alat dan menjaga keamanan sistem

4.2.4 Analisa perbandingan sistem purging manual dan otomatis

Untuk mengetahui keunggulan dan efektivitas sistem purging otomatis yang telah dirancang, dilakukan analisis perbandingan antara sistem purging manual dan otomatis berdasarkan beberapa aspek berikut.

Tabel 4.4 Perbandingan sistem *purging* manual dan otomatis

No	Aspek	Sistem Manual	Sistem Otomatis
1	Frekuensi Purging	Tergantung jadwal preventive maintenance, tidak konsisten	Otomatis setiap 24 jam, dikendalikan oleh timer PLC
2	Intervensi Operator	Tinggi, harus dilakukan secara manual oleh operator	Minim, proses berjalan otomatis tanpa perintah manual
3	Respons terhadap Parameter	Tidak adaptif terhadap kondisi tekanan, suhu dan aliran	Responsif terhadap kondisi <i>real-time</i> (tekanan, suhu dan aliran)

No	Aspek	Sistem Manual	Sistem Otomatis
4	Monitoring <i>Real-Time</i>	Tidak tersedia	Tersedia melalui <i>logic ladder diagram</i> PLC dan HMI
5	Logika Proteksi	Tidak tersedia	Aktif saat parameter tidak memenuhi syarat operasi aman
6	Efektivitas Pembersihan	Kurang optimal, risiko kontaminasi tinggi	Lebih optimal dan konsisten dalam menjaga kebersihan probe

Berdasarkan hasil analisa, sistem *purging* otomatis menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan sistem manual, khususnya dalam hal konsistensi waktu pembersihan, respons terhadap kondisi real-time, serta peningkatan keandalan dan keselamatan operasional.



BAB V : PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, perancangan dan simulasi yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Telah dibuat rancangan sistem *purging* otomatis berbasis PLC pada *sample probe* CEMS dengan metode pengaktifan berdasarkan parameter instrumentasi dan timer, yang dirancang untuk mengurangi intervensi manual.
2. Simulasi menunjukkan bahwa logika kendali yang dirancang mampu menjalankan proses pembersihan probe sesuai kondisi yang diatur, baik secara terjadwal maupun berdasarkan parameter operasional.
3. Analisis perbandingan fungsional menunjukkan bahwa sistem *purging* otomatis memiliki potensi memberikan pembersihan yang lebih konsisten dan mengurangi intervensi manual dibandingkan sistem manual, sehingga layak dijadikan dasar untuk implementasi fisik di lapangan pada tahap selanjutnya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, perancangan dan simulasi yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk pengembangan dan implementasi sistem *purging* otomatis di masa mendatang, antara lain:

1. Sistem *purging* otomatis yang telah dirancang dan disimulasikan dalam penelitian ini sebaiknya dikembangkan lebih lanjut untuk implementasi fisik di lapangan, agar dapat diuji pada kondisi operasional sesungguhnya dan memberikan manfaat nyata bagi sistem CEMS di PLTGU PT Jawa Satu Power.
2. Integrasi sistem dengan data *logger* dan HMI yang lebih komprehensif disarankan untuk mendukung pemantauan historis dan analisis performa sistem *purging* secara real-time.
3. Perlu dilakukan kajian teknis tambahan terkait kebutuhan *maintenance preventive* untuk sistem *purging* otomatis, agar sistem tetap andal dan tidak menimbulkan masalah baru dalam jangka panjang.

4. Diperlukan pelatihan teknis bagi personel operasional untuk memastikan sistem dapat dioperasikan dan direspons dengan tepat, serta memahami prosedur intervensi jika terjadi kondisi tidak normal.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Setyoko, "ANALISA EFISIENSI PERFORMA HRSG (Heat Recovery Steam Generation) PADA PLTGU," *56 Traksi*, vol. 4, no. 2, p. 31, 2006.
- [2] Y. Faranita, "Evaluasi Sistem Pembakaran Dan Pengendalian Pencemaran Udara Pada PLTU PAITON Unit 7 Dan 8 Probolinggo Jawa Timur," pp. 1–60, 2009, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/75561/>
- [3] A. Susanto, P. Purwanto, E. K. Putro, W. E. Yochu, U. Amrina, and F. Falakh, "Pemantauan Emisi dengan Continuous Emission Monitoring System (CEMS) dalam Pemanfaatan Minyak Pelumas Bekas Sebagai Substitusi Bahan Bakar pada Produksi Kapur Tohor," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 18, no. 2, pp. 392–400, 2020, doi: 10.14710/jil.18.2.392-400.
- [4] I. Sofyan and A. Nugrasyah, "Design of a continuous emission monitoring system (CEMS) for the NH3 analyzer at PT. Pusri Palembang," *J. Community Serv. Sci. Eng.*, vol. 2, no. 2, p. 68, 2023, doi: 10.36055/jocse.v2i2.20381.
- [5] P. J. S. P. Plant, "Tentang JSP." Accessed: Apr. 29, 2025. [Online]. Available: <https://jawasatupower.com/tentang-jsp/>
- [6] F. O. R. Information, "Operation and Maintenance Manual Continuous Emission Monitoring Unit JAWA-1 COMBINED CYCLE," pp. 1–43, 2021.
- [7] G. A. S. Turbine and P. J. S. P. Plant, "INSTRUMENTS AND COMPONENTS MANUALS Continuous Emission Monitoring Unit," 2019.
- [8] A. Sampling, "User Manual Gas sample probes Series ASP Heated versions," 2019.
- [9] L. Guo, "Design Projects in a Programmable Logic Controller (PLC) Course in Electrical Engineering Technology," *Technol. Interface Journal/Fall*, vol. 10, no. 1, pp. 1523–9926, 2009, [Online]. Available: <http://technologyinterface.nmsu.edu/Fall09/>
- [10] M. Naim, *Buku Ajar Sistem Kontrol dan Kelistrikan Mesin*, 1st ed. PT. Nasya Expanding Management, 2021. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=ar5FEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=PENGERTIAN+DAN+BAGIAN-BAGIAN+PLC&ots=Hcm_uDQrGI&sig=Qk5fd5C5mmKHGV2EIDWoYXizk2I&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [11] K. Ogata, *Modern Control Engineering [Paperback]*. 2009.
- [12] J. P. Bentley, *Principles of Measurement Systems*, vol. 30, no. 1. 2005.
- [13] I. I. Part, "Pengertian dan Fungsi Flow Meter." Accessed: May 18, 2025.

- [Online]. Available: <https://inaparts.com/measurement/artikel-flowmeter/pengertian-dan-fungsi-flow-meter/>
- [14] I. I. Part, “Cara Kerja Flow Switch dan Fungsinya.” Accessed: May 18, 2025. [Online]. Available: <https://inaparts.com/measurement/flow-controllers/cara-kerja-flow-switch/>
- [15] Endress+Hauser, “RTD temperature measurement,” Endress+Hauser Group Services AG. Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/measurement-technologies/rtd-temperature-measurement>
- [16] Ahmad fauzi, “Solenoid Valve : Pengertian, Fungsi, dan Cara Kerjanya,” LAPAN. Accessed: Jun. 30, 2025. [Online]. Available: <https://dirgantara-lapan.or.id/apa-itu-solenoid-valve/>
- [17] R. Andriyani, “Pengaruh Kegiatan Preventive Maintenance dan Corrective Maintenance Terhadap Availibty Alat Unit RTGC di PT Jasa Peralatan Pelabuhan Indonesia,” *Sekol. Tinggi Ilmu Ekon. Indones.*, vol. 12, pp. 6–25, 2022.
- [18] Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Repoblik Indonesia, “PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR P.60/MenLHK/Setjen/Kum.1/7/2016 TENTANG PERUBAHAN ATAS PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN NOMOR P.43/MENLHK-SETJEN/2015 TENTANG PENATAUSAHAAN HASIL HUTAN KAYU YANG BER,” pp. 1–23, 2016.
- [19] G. A. S. Turbine and J. S. Plant, “P&ID Continuous Emission Monitoring Unit JAWA-1 COMBINED CYCLE,” 2018.
- [20] P. Flex, “Flex I / O,” *Interface*.
- [21] N. Rev, “Model 266GSH Gauge Model 266ASH Absolute 2600T Series Pressure Transmitters Engineered solutions for all applications Model 266GSH Gauge Model 266ASH Absolute Functional Specifications,” vol. 2, pp. 1–32.
- [22] G. A. S. Turbine *et al.*, “Wiring Diagram Continuous Emission Monitoring Unit JAWA-1 COMBINED CYCLE,” 2019.