

**SISTEM KENDALI KADAR AIR DAN
MEMONITOR SUHU PENGERING LADA HITAM BERBASIS
JARINGAN MULTI SENSOR**

(Tesis)



Oleh

TOMMY KURNIAWAN

**PROGRAM PASCASARJANAMAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**SISTEM KENDALI KADAR AIR DAN
MEMONITOR SUHU PENGERING LADA HITAM BERBASIS
JARINGAN MULTI SENSOR**

**Oleh
TOMMY KURNIAWAN**

**Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

**Pada
Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANAMAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

MOISTURE CONTROL SYSTEM AND TEMPERATURE MONITORING OF BLACK PEPPER DRYER BASED ON MULTI SENSOR NETWORK

By

TOMMY KURNIAWAN

In the post-harvest plantation agribusiness industry, water content is important in determining the quality of black pepper seeds. This development research presents a water content control system and monitors the temperature of a multi-sensor-based black pepper dryer. The PT100RTD sensor is a temperature sensor, the THD-DD2-C sensor is a temperature and humidity sensor and the CP1H-XA40DR-A PLC as a central processing unit is related to the SCADA sistem as a user interface. The design aims to sense the temperature and humidity of the water content of black pepper. Furthermore, the humidity and temperature levels are conditioned so that the water content of black pepper is 11% to 12%. The design was successfully installed to monitor the water content of black pepper. By implementing this sistem, the average difference in water content of 10.59% during the pretest and 11.57% during the posttest has an efficiency of the difference in weight loss of black pepper during the process reduced by 0.98%. The control sistem built has a fairly high level of accuracy with an error of 2.76%. SCADA operations as a user interface that is built allows users to monitor in real time.

Keywords: Temperature, Humidity, PT100RTD, THD-DD2-C, CP1H-XA40DR-A.

ABSTRAK

SISTEM KENDALI KADAR AIR DAN MEMONITOR SUHU PENGERING LADA HITAM BERBASIS JARINGAN MULTI SENSOR

Oleh

TOMMY KURNIAWAN

Industri Agribisnis hasil perkebunan pasca panen, kadar air penting dalam menentukan kualitas biji lada hitam. Penelitian pengembangan ini menyajikan tentang sistem kendali kadar air dan memonitor suhu pengering lada hitam berbasis multi sensor. Sensor PT100RTD pengindra suhu, sensor THD-DD2-C pengindra suhu dan kelembaban dan PLC CP1H-XA40DR-A sebagai *central processing unit* terkait dengan sistem SCADA sebagai *user interface*. Perancangan bertujuan mengindra suhu dan kelembapan kadar air lada hitam. Selanjutnya tingkat kelembaban dan suhu dikondisikan kadar air lada hitam berada 11 % sd. 12%. Perancangan berhasil diinstal untuk memantau kadar air lada hitam. Dengan menerapkan sistem ini, perbedaan rata-rata kadar air 10.59% saat *pretest* dan 11,57% saat *posttest* mempunyai efisiensi selisih kehilangan berat lada hitam selama proses berkurang 0,98%. Sistem kendali yang dibangun memiliki tingkat keakuratan cukup tinggi dengan error 2,76 %. Operasi SCADA sebagai *user interface* yang dibangun memungkinkan pengguna untuk memonitoring secara *real time*.

Kata Kunci: Suhu, Kelembapan, PT100RTD, THD-DD2-C, CP1H-XA40DR-A.

Judul Tesis

: **SISTEM KENDALI KADAR AIR DAN
MEMONITOR SUHU PENGERING LADA
HITAM BERBASIS JARINGAN MULTI
SENSOR**

Nama Mahasiswa

: **Tommy Kurniawan**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2125031003**

Program Studi

: **Magister Teknik Elektro**

Fakultas

: **Teknik**



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19731004 199803 2 001

Dr. Eng. F.X. Arinto S., S.T., M.T.
NIP 19691219 199903 1 002

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

Dr. Misfa Susanto, S.T., M.Sc.
NIP 19710525 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Komisi Penguji

Ketua Komisi Penguji
(Pembimbing I)

: **Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T., Ph.D.**

Sekretaris Komisi Penguji
(Pembimbing II)

: **Dr. Eng. F.X. Arinto S., S.T., M.T.**

Anggota Komisi Penguji
(Penguji I)

: **Dr. Eng. Ir. Helmy F., S.T., M.Sc.**

Anggota Komisi Penguji
(Penguji II)

: **Dr. Misfa Susanto, S.T., M.Sc.**

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP 19750928 200112 1 002

3. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP 19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **20 Maret 2025**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa sesungguhnya tesis yang saya susun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik pada Progam Pascasarjana Magister Teknik Elektro seluruhnya adalah benar merupakan hasil karya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tesis ini, saya kutip dari hasil penulisan orang lain yang sumbernya dituliskan dengan jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah.

Tesis dengan judul “Sistem Kendali Kadar Air dan Memonitor Suhu Pengereng Lada Hitam Berbasis Jaringan Multi Sensor” dapat diselesaikan berkat bimbingan dan motivasi dari pembimbing-pembimbing saya, yaitu:

1. Dr. Sri Purwiyanti, S.T.,M.T.,Ph.D.
2. Dr. Eng. F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T.

Saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak, khususnya kedua dosen pembimbing dan Bapak/ Ibu Dosen Progam Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan dan motivasi.

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis yang saya buat ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Bandar Lampung, 24 Maret 2025




Jimmy Kurniawan
NPM: 2125031003

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Semarang, Provinsi Jawa Tengah pada tanggal 20 Oktober 1974. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan bapak Kaswan dan ibu Titin Kartini yang diberi nama Tommy Kurniawan.

Mengenai riwayat pendidikan, penulis memulai pendidikan di TK Antonius Semarang, Jawa Tengah dan lulus pada tahun 1981. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SD Pedurungan IV Semarang, Jawa Tengah. dan lulus pada tahun 1987. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 2 Semarang, Jawa Tengah dan lulus pada tahun 1990. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMA Institut Indonesia Semarang, Jawa Tengah dan lulus pada tahun 1993. Kemudian penulis melanjutkan jenjang perguruan tinggi di Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Agung Semarang, Jawa Tengah lulus tahun 2001.

Setelah lulus mendapatkan gelar Sarjana Teknik, saya diterima bekerja di PT. Cooperative Bussines International Indonesia di kantor pusat Klaten, Jawa Tengah pada tahun 2001 yang bergerak dalam bidang agro industri khususnya hasil bumi. Kemudian pada tahun yang sama saya dipindahkan dan ditempatkan di propinsi lampung tepatnya Bandar Lampung untuk membuka anak perusahaan baru dengan nama PT. Agri Spice Indonesia bergerak dibidang agrobisnis khususnya komoditi lada hitam, kayu manis dan kopi untuk di ekspor. Kemudian pada tahun 2003 saya diterima bekerja di Universitas Muhammadiyah Lampung sebagai tenaga pengajar mata kuliah Dasar Elektronika, Elektronika Daya, Dasar Komputer dan Rangkaian Logika dan Dasar Sistem Kontrol.

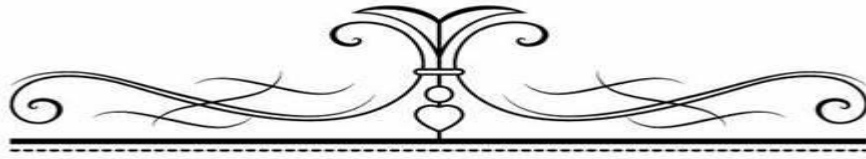
Pada Tahun 2021 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Lampung. Pada tahun 2024 penulis melakukan penelitian pada bidang otomasi industri dengan judul “Sistem Kendali Kadar Air dan Memonitor Suhu Pengering Lada Hitam Berbasis Jaringan Multi Sensor” dibawah bimbingan Ibu Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Dr. Eng. F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T.

Bandar Lampung, 24 Maret 2025

Penulis

A handwritten signature in brown ink, appearing to read 'Tommy Kurniawan', with a stylized, cursive script.

TOMMY KURNIAWAN



PERSEMBAHAN



Dengan Ridho Allah SWT, teriring shalawatku kepada Nabi Muhammad SAW,
dan penuh dengan kerendahan hati ku persembahkan karya tulis ini kepada:

Ayah dan Ibuku Tercinta

Almarhum Kaswan dan Titin Kartini

Adik Kandungku Tersayang

Denny Kristiawan dan Diyan Ariawan

Dosen Teknik Elektro

Yang selalu membimbing, mengajarkan, memberikan saran, baik secara
akademis maupun non akademis

Teman- teman kebanggaanku

Rekan – rekan Jurusan Teknik Elektro

Sahabat-sahabatku

*Yang selalu membantu, memberikan semangat, mendukung menuju keberhasilan,
serta berbagi cerita suka duka dalam berkeluh kesah*

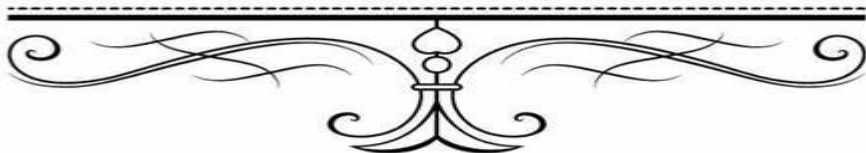
Keluarga Besar Magister Teknik Elektro 2021

*Yang selalu memberi semangat, dukungan dalam proses yang sangat panjang,
dan selalu berdiri bersama dalam perjuangan menuju kesuksesan*

Almamaterku

Universitas Lampung

Terima kasih untuk semua yang telah diberikan kepadaku. Jazakallah Khairan



MOTTO

“Menuntut Ilmu adalah kewajiban bagi setiap Muslim.

Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju Surga. “

“Berani hidup harus berani menghadapi masalah, jangan takut dan jangan gentar, hadapi dengan benar dan tawakal, karena setiap masalah sudah diukur Allah SWT sesuai kemampuan kita.”

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S. ALAM NASYRAH 94:5)

“Jika kamu tidak tahan terhadap penatnya belajar, maka kamu akan menanggung -bahayanya- kebodohan”

(Imam Syafi’i)

“Jagalah untuk duniamu, seakan kamu hidup selamanya, dan bekerjalah untuk akhiratmu seakan kamu mati besok.”

(Abdullah bin Amru bin Al’Ash Radhiallahu’Anhu)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan penyertaan-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini ditulis dan disusun dengan judul “Sistem Kendali Kadar Air dan Memonitor Suhu Pengering Lada Hitam Berbasis Jaringan Multi Sensor”. Penulisan tesis ini ditulis dan disusun guna untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Studi Pascasarjana Magister Teknik Elektro dan menempuh ujian akhir guna memperoleh gelar Magister Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Lampung. Terlepas dari kesadaran penulis akan keterbatasan pengetahuan, pengalaman, dan kemampuan yang dimiliki penulis. Penulis berharap tesis ini dapat memberikan masukan dan manfaat yang berkaitan dengan disiplin ilmu dalam mengadakan penelitian guna penulisan tesis.

Pada penulisan tesis ini penulis banyak memperoleh bimbingan, pengarahan, masukan, motivasi, saran-saran, bantuan baik moril maupun materiil dari awal hingga selesainya tesis ini. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan tesis ini, kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., Direktur Pascasarjana dan dosen Magister Teknik Elektro yang telah membantu saya dalam memberikan arahan, bimbingan selama saya menempuh perkuliahan di Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik, Penguji Utama dan dosen Magister Teknik Elektro yang telah membantu saya dalam memberikan arahan, bimbingan selama saya menempuh perkuliahan di Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Ir. Herlina, S.T, M.T., selaku Kepala Jurusan Fakultas Teknik dan dosen Magister Teknik Elektro yang telah membantu saya dalam memberikan arahan, bimbingan selama saya menempuh perkuliahan di Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Misfa Susanto. S.T., M.Sc., selaku Kepala Program Studi Magister Teknik Elektro dan Penguji Pendamping tesis yang telah membantu saya dalam memberikan arahan dan bimbingan selama saya menempuh perkuliahan di Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung.
6. Ibu Dr. Sri Purwiyanti, ST, MT, Ph. D, selaku Pembimbing Akademik dan Pembimbing Tesis Utama yang telah membantu saya dalam memberikan arahan dan bimbingan selama saya menempuh perkuliahan dan penyusunan tesis di Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung.

7. Bapak Dr.Eng. F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T., selaku Pembimbing Tesis Pendamping yang telah membantu saya dalam memberikan arahan, bimbingan selama saya menempuh perkuliahan dan penyusunan tesis di Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung.
8. Ibu Dr. Ir. Sri Ratna S, M.T, selaku dosen Magister Teknik Elektro yang telah membantu saya dalam memberikan arahan, bimbingan selama saya menempuh perkuliahan di Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung.
9. Bapak Dr. Eng. Ageng Sadnowo R, S.T., M.T., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik dan dosen Magister Teknik Elektro yang telah membantu saya dalam memberikan arahan, bimbingan selama saya menempuh perkuliahan di Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung.
10. Bapak Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T., dosen Magister Teknik Elektro yang telah membantu saya dalam memberikan arahan, bimbingan selama saya menempuh perkuliahan di Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung.
11. Seluruh Dosen Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung atas pengajaran dan bimbingan yang diberikan kepada penulis.
12. Mba Nurul, dan seluruh jajaran Staf Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung atas bantuannya dalam menyelesaikan urusan administrasi.
13. Bapak dan Ibu tersayang, terima kasih sudah memberikan segala yang terbaik untuk ku, yang selalu menjadi penyemangat hidupku, yang selalu mencurahkan doa di setiap langkahku sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

14. Adik tercinta Denny Kristiawan S.P., terimakasih selalu mendoakan kakakmu ini dalam semua kesempatan yang telah diambil hingga dapat menyelesaikan tesis ini.
15. Adik tercinta Diyan Ariawan S.T., terimakasih selalu mendoakan kakakmu dalam semua kesempatan yang telah diambil hingga dapat menyelesaikan tesis.
16. Anakku tercinta Muhammad Gathan Naufal Kurniawan, yang selalu mendoakan, memberikan semangat motivasi, dalam menyelesaikan saat penelitian dan juga penulisan tesis.
17. Anakku tercinta Muhammad Gabriel Fawwaz Kurniawan, yang selalu mendoakan, memberikan semangat motivasi, dalam menyelesaikan saat penelitian dan juga penulisan tesis.
18. Jati Pamungkas S.T. MPd.T., terimakasih telah membantu saya belajar CX Programmer dan CX Supervisor sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini.
19. Staf maintenance dan operator mesin produksi PT. Agri Spice Indonesia Lampung, terimakasih telah menjadi support sistem dan membantu instalasi pada alat kendali pengering lada hitam.
20. Keluarga besar PT. Agri Spice Indonesia, terimakasih atas kerjasamanya selama masa masa perjuangan pada saat itu.
21. Keluarga besar Angkatan 2021 Magister Teknik Elektro, terimakasih sudah menjadi pendukung, pengkritik, dan juga penyebab canda tawa selama berada dikampus. Semangat selalu untuk kita semua.
22. Keluarga besar Laboratorium Elektronika Jurusan Teknik Elektro
23. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dari awal pengerjaan tesis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga kebersamaan ini membawa kebaikan, keberkahan, kemurahan hati, serta Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Penulis meminta maaf atas kesalahan dan ketidak sempurnaan dalam penulisan akhir ini. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kebaikan dan kemajuan mendatang. Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, dan dapat menambah khasanah ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 27 Maret 2025
Penulis

A handwritten signature in brown ink, appearing to be 'Tommy Kurniawan', written in a cursive style.

Tommy Kurniawan

DAFTAR ISI

COVER.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
ABSTRACT	iii
ABSTRAK.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	x
MOTTO	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR TABEL.....	xxiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxvi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Hipotesis Penelitian	5
1.7. Sistematika Penulisan	5
II. KAJIAN PUSTAKA.....	6
2.1. Penelitian Terdahulu	6
2.2. Sensor	10
2.2.1. Jaringan Sensor.....	10
2.2.2. Jaringan Multi Sensor.....	10
2.3. Sensor Suhu PT100 RTD,.....	11

2.4.	Sensor THD-DD2-C.	13
2.5.	Limit Switch.	15
2.6.	Pengolahan Sinyal Analog.....	16
2.6.1.	Rangkaian Pengkondisn Sinyal.....	16
2.6.2.	Temperatur sensor <i>Transmitter</i> PT100 RTD.	18
2.7.	Relay omron MKS3P-220V.....	20
2.8.	PLC Omron CP1W-AD041.....	21
2.9.	Autonic TCN4S-24R.	23
2.10.	PLC Omron OMRON CP1H-XA40DR-A.	25
2.10.1.	Central Processing Unit (CPU).	28
2.10.2.	Waktu Scan.	28
2.10.3.	Memory.....	28
2.10.4.	Struktur Memori.....	29
2.11.	Dasar-Dasar Ladder.	31
2.12.	Tanggapan Transien.....	33
2.13.	SCADA Sistem.....	34
2.13.1.	Architecture.....	34
2.13.2.	Protokol Berbasis Fieldbus.	37
III.	METODELOGI PENELITIAN.	40
3.1.	Waktu dan Tempat.....	40
3.2.	Bahan dan Alat.....	41
3.3.	Prosedur Penelitian.	42
3.4.	Diagram Blok.....	43
3.4.1.	Blok Diagram Sistem Proses Produksi Drying Oven Lada Hitam. .	45
3.4.2.	Blok Perancangan Rangkaian Pengkondisian Sinyal.	51
3.4.3.	Blok Diagram Perancangan Sensor Kelembapan.	55
3.4.4.	Perancangan ADC (Analog to Digital Converter).....	57
3.4.5.	Pengkabelan serta Penentuan Alamat-Alamat Input ke PLC.	64
3.4.6.	Pengkabelan serta Penentuan Alamat-alamat Output dari PLC.	67
3.5.	Perancangan <i>Human Interface</i> SCADA.	73
IV.	PENGUJIAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM.....	75
4.1.	Hasil Perancangan.....	75
4.1.1.	Sensor Suhu PT100 RTD.....	75
4.1.2.	Sensor THD Series <i>Temperature</i> dan <i>Humidity</i> Transducers.....	76
4.1.3.	PLC dan Aktuator.	76

4.1.4. Perancangan Software.....	77
4.2. Pengujian Sistem.....	79
4.2.1. Pengujian Sensor PT100RTD.....	79
4.2.2. Pengujian Sensor THD-DD2-C.....	82
4.2.3. Pengujian koneksi multi sensor ke PLC CP1H-XA40DR-A.....	85
4.2.4. Pengujian Protokol Komunikasi SCADA.....	89
4.2.5. Pengujian Keseluruhan Sistem.....	91
4.3. Implementasi Alat.....	95
4.3.1. Pengujian <i>Pretest</i> Sampel Kadar Air Lada Hitam Sebelum Penggunaan Sistem Kontrol Dibangun.....	96
4.3.2. Pengujian <i>Posttest</i> Sampel Kadar Air Lada Hitam Setelah Alat Kontrol Dibangun.....	105
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	115
5.1. Kesimpulan.....	115
5.2. Saran.....	116
DAFTAR PUSTAKA.....	117
LAMPIRAN	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sensor RTD PT100 Struktur 3 Wire [14][15].	12
Gambar 2.2. THD-DD2-C Industrial Probe [16].	14
Gambar 2.3. Dimensi THD-DD2-C [16].	15
Gambar 2.4. THD-DD2-C Wiring Connection [16].	15
Gambar 2.5. Konfigurasi Limit Switch [17][18].	15
Gambar 2.6. Diagram Blok Rangkaian Pengkondisi Sinyal [13][17][18].	16
Gambar 2.7. Rangkain Penguat Noninverting [19].	16
Gambar 2.8. Konfiguarsi CP1W-AD041 [20][21].	17
Gambar 2.9. Transmitter Pengkondisian Sinyal [25].	19
Gambar 2.10. Relay MKS3P 220 V [26].	21
Gambar 2.11. PLC OMRON CP1W-AD041[21].	22
Gambar 2.12. Autonic TCN4S-24R [22].	24
Gambar 2.13. PLC OMRON CP1H-XA40DR-A [23].	27
Gambar 2.14. Fungsi Bagian PLC OMRON CP1H-XA40DR-A [23].	27
Gambar 2.15. Kontak NO dan NC.	31
Gambar 2.16. Diagram Ladder Logika NOT.	32
Gambar 2.17. Diagram Ladder Logika AND.	32
Gambar 2.18. Diagram Ladder Logika OR.	32
Gambar 2.19. Kurva Respon Transient [30].	34
Gambar 2.20. Arsitektur Sistem SCADA [32].	36
Gambar 2.21. Struktur Rangka BITBUS [33].	38
Gambar 2.22. Foundation Fieldbus H1 Topologies [33].	39
Gambar 3.1. Mesin Proses Produksi Lada Hitam.	41
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian.	43

Gambar 3.3. Flowchart Proses Produksi Lada Hitam.	44
Gambar 3.4. Blok Diagram Real-time Embedded Sistem.	45
Gambar 3.5. Blok Diagram Perancangan Sistem Drying Oven.....	46
Gambar 3.6. Diagram Alir Komponen Proses Drying Oven.	47
Gambar 3.7. Perancangan Keseluruhan Sensor Proses Pengeringan Lada Hitam.	48
Gambar 3.8. Blok Diagram Sistem Kontrol Suhu dan Kadar Air Drying Oven...	49
Gambar 3.9. Kondisi Fisik Alat Pengering Lada Hitam.	51
Gambar 3.10. Struktur Sensor PT100RTD Rangkaian Rasiometrik 3 Wire.....	52
Gambar 3.11. RTD Sensor Wiring Transmitter Pengkondisian Sinyal.	52
Gambar 3.12. Blok Diagram Pengkondisian Sinyal Sensor Suhu PT100RTD.	53
Gambar 3.13. Block Diagram Perancangan Sensor Suhu PT100RTD.	53
Gambar 3.14. Diagram Alir (flowchart) Pengendalian Suhu.....	54
Gambar 3.15. Skema Autonic TCN4S-24R.....	54
Gambar 3.16. Blok Diagram Transmitter TCN4S-24R dan Sensor Suhu PT100RTD.	55
Gambar 3.17. Skema THD-DD2-C Industrial Probe.	55
Gambar 3.18. Blok Diagram Perancangan Sensor Autonic THD-DD2-C.....	56
Gambar 3.19. Block Diagram Alir Perancangan Sensor Autonic THD-DD2-C. .	56
Gambar 3.20. ADC (Analog to Digital Converter).....	57
Gambar 3.21. PLC CPIW-AD041 ADC (Analog to Digital Converter).	57
Gambar 3.22. Ilustrasi Konversi Data Analog ke Data Digital melalui ADC.	58
Gambar 3.23. Diagram Alir (flowchart) Pengisian Oven Lada.	61
Gambar 3.24. Diagram Alir (flowchart) Pengisian Tangki Minyak.	61
Gambar 3.25. Diagram Alir (flowchart) Pengisian Tangki Air.	62
Gambar 3.26. Diagram Alir (flowchart) Pengendalian Suhu Maksimal Lada Hitam.	62
Gambar 3.27. Blok Diagram Alir Tahapan Proses Pengeringan Lada Hitam.	63
Gambar 3.28. Blok Diagram dari PLC Omron CP1H-XA40DR-A.....	66
Gambar 3.29. Pengkabelan Komponen-komponen Input ke PLC.....	67
Gambar 3.30. Pengkabelan Komponen-komponen Output PLC.....	68

Gambar 3.31. User Interface SCADA.....	73
Gambar 4.1. Realisasi Sensor PT100RTD.	75
Gambar 4.2. Realisasi Sensor THD-DD2-C.	76
Gambar 4.3. Realisasi Panel PLC CP1H-XA40DR-A, CP1W-AD041 dan Aktuator.	77
Gambar 4.4. Tampilan User Interface SCADA.	79
Gambar 4.5. Pengukuran Arus PT100RTD.	80
Gambar 4.6. Grafik Perbandingan Nilai Sensor dan Pengukuran Sensor.....	81
Gambar 4.7. Grafik Pengujian Sensor Suhu THD-DD2-C.....	83
Gambar 4.8. Grafik Pengujian Sensor Humidity THD-DD2-C.....	85
Gambar 4.9. Grafik Perbandingan Nilai Sensor dan Pengukuran Sensor.....	88
Gambar 4.10. Grafik Perbandingan Nilai Sensor dan Pengukuran Sensor.....	88
Gambar 4.11. Pengujian Protokol SCADA.	90
Gambar 4.12. Letak Titik Sensor dan Limit Switch.	91
Gambar 4.13. Letak Aktuator dan Limit Switch.....	93
Gambar 4.14. Pengecekan Kadar Air Hole.....	98
Gambar 4.15. Pengukuran Kelembapan Hole Dapur.....	98
Gambar 4.16. Grafik Konversi Kelembapan ke Kadar Air.....	99
Gambar 4.17. Pengecekan Kelembapan pada Hole Tiap Dapur.....	100
Gambar 4.18. Grafik Pengecekan Pretest Suhu dan Kelembapan pada Keseluruhan Sistem.	103
Gambar 4.19. Grafik Pengecekan Pretest Suhu dan Kelembapan Dapur 3 pada Keseluruhan Sistem.	104
Gambar 4.20. Pengecekan Pretest Kelembapan Dapur 3 dan Kadar Air Destilasi pada Keseluruhan Sistem.	104
Gambar 4.21. Grafik Sampel Kadar Air Pretest Cera Tester dan Kadar Air Destilasi pada Keseluruhan Sistem.	105
Gambar 4.22. Lokasi Titik Sensor dan Aktuator.	107
Gambar 4.23. Grafik Pengecekan Posttest Suhu dan Kelembapan Dapur Oven pada Keseluruhan Sistem.	110
Gambar 4.24. Pengujian Posttest Suhu dan Kelembapan Dapur 3 pada Keseluruhan Sistem.	111

Gambar 4.25. Grafik Konversi Suhu ke Kadar Air pada Posttest.....	112
Gambar 4.26. Grafik Konversi Posttest Nilai Kelembapan ke Kadar Air.	113
Gambar 4.27. Grafik Pengujian Sampel Posttest Perbandingan Nilai Kadar Air konversi Terhadap Metode Destilasi.	113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Deskripsi Parameter dan Variabel [15].	12
Tabel 2.2. Spesifikasi Input ADC [20].	17
Tabel 2.3. Spesifikasi Output ADC [20].	18
Tabel 2.4. SCADA Komunikasi Protokol [31].	35
Tabel 3.1. Tabel Alat dan Bahan.	42
Tabel 3.2. Nilai Variabel Suhu Set Point.	53
Tabel 3.3. Variabel Pengontrolan Suhu dan Kelembapan.	55
Tabel 3.4. Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap Proses Konversi Data Analog ke Data Digital.	58
Tabel 3.5. Perhitungan Konversi Data analog ke Data Digital Sensor Suhu melalui ADC.	59
Tabel 3.6. Perhitungan Konversi Data Analog ke Data Digital Sensor THD Suhu melalui ADC.	59
Tabel 3.7. Perhitungan Konversi Data Analog ke Data Digital Sensor THD Humidity.	60
Tabel 3.8. Alamat Input Analog dari Sensor.	64
Tabel 3.9. Alamat Input Digital.	65
Tabel 3.10. Alamat Output Digital.	65
Tabel 3.11. Chanel input yang digunakan PLC.	69
Tabel 3.12. Chanel Output yang digunakan PLC.	69
Tabel 3.13. Alamat-alamat Memori Yang Digunakan Didalam PLC.	70
Tabel 3.14. Channel Fungsi Yang Digunakan Didalam PLC.	71
Tabel 4.1. Realisasi Alamat Register Input PLC.	77
Tabel 4.2. Realisasi Panel PLC CP1H-XA40DR-A, CP1W-AD041 dan Aktuator.	78
Tabel 4.3. Realisasi Panel PLC CP1H-XA40DR-A, CP1W-AD041 dan Aktuator.	78
Tabel 4.4. Pengukuran sensor.	80
Tabel 4.5. Pengujian Sensor Suhu THD-DD2-C.	83
Tabel 4.6. Pengukuran Sensor Humidity THD-DD2-C.	84

Tabel 4.7. Pengujian Koneksi Multi Sensor pada PLC.....	87
Tabel 4.8. Pengujian Koneksi Sensor THD pada PLC.	87
Tabel 4.9. Pengujian Koneksi Sensor Suhu THD dan PT100RTD pada PLC.....	88
Tabel 4.10. Pengujian Koneksi Multi Sensor Input PLC pada Serial Monitor.....	92
Tabel 4.11. Pengujian Koneksi Aktuator Output PLC Serial Monitor.	93
Tabel 4.12. Pengujian Pengambilan Sampel Lada Hitam.....	99
Tabel 4.13. Pengambilan Pretest Data Suhu dan Kelembapan Mesin Oven pada Keseluruhan Sistem.....	102
Tabel 4.14. Pengambilan Posttest Data Suhu dan Kelembapan Mesin Oven pada Keseluruhan Sistem.....	108

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pretest.....	121
Lampiran 2. Data Posttest.	124
Lampiran 3. Konversi Kelembapan ke Kadar Air.	126
Lampiran 4. Gambar Pengujian Serial Monitor pada SCADA.....	127
Lampiran 5. Data Analisis Laborat Sampel Lada Hitam Pra Test Pengecekan Kadar Air Metode Destilasi.	128
Lampiran 6. Data Analisis Laborat Sampel Lada Hitam Post Test Pengecekan Kadar Air Metode Destilasi.	147
Lampiran 7. Data sheet PT 100 RTD.....	168
Lampiran 8. Data Sheet THD-DD2-C.	172
Lampiran 9. Wiring Diagram Transmitter Sinyal Kondisi.	173
Lampiran 10. Autonic TCN4S-24R.	174
Lampiran 11. Data Sheet Relay MK3P-220VAC.....	176
Lampiran 12. Data Sheet PLC Omron CP1W-AD041.	179
Lampiran 13. Data Sheet PLC Omron OMRON CP1H-XA40DR-A.	181
Lampiran 14. Listing Intruksi Dasar Pemrograman Diagram Ladder.	184

I. PENDAHULUAN.

1.1. Latar Belakang.

Kata lada dalam bahasa Inggris pepper, yang berasal dari bahasa Sanskrit 'pippali. Dari istilah Sankrit ini menjadi kata “peperi” di Yunani dan “piper” di Latin. Dua kata tersebut pada dasarnya merujuk pada pepper bukan long pepper (cabai). Dalam istilah Hindi, lada hitam dikenal dengan name “kali mirch”. Lada secara botanikal dikenal sebagai Piper Nigrum, merupakan salah satu rempah yang paling tua dan populer di dunia. Pada masa prasejarah, lada hitam dibudidayakan secara luas di daerah tropis Asia Tenggara. Tanaman hijau ini tumbuh merambat sejak zaman dahulu di pesisir pantai Malabar, India [1].

Lada hitam adalah salah satu dan bentuk rempah pertama yang telah dibudidayakan sejak masa prasejarah. Disebut-sebut sebagai master dari semua rempah karena kemampuannya untuk dapat disimpan bertahun-tahun tanpa kehilangan rasa dan aroma. Pentingnya peran lada hitam juga dapat dilihat dari peristiwa sejarah di masa lalu, dimana lada hitam digunakan sebagai alat tukar pembayaran pajak, seserahan perkawinan, sewa, dll. Untuk mendukung pertumbuhannya, lada hitam memerlukan hujan yang teratur, suhu sedang, dan tempat yang teduh agar dapat tumbuh dengan baik. Perkembangbiakan/ perambatan biasanya dengan memotong tangkai. Pemotongan diatur dekat dengan sebuah pohon atau sebuah tiang yang akan menyediakan tempat untuk mendukung pertumbuhan. Tanaman lada hitam kadang-kadang diselipkan dalam tanaman kopi, teh, kelapa, pinang, dan karet. Lada hitam mulai berbuah dalam 2 sampai 5 tahun dan mulai menghasilkan selama kurang-lebih 40 tahun. Ada dua jenis lada hitam dan lada putih. Lada merupakan salah satu komoditas ekspor tradisional andalan Indonesia, yang diperoleh dari buah tanaman lada “black pepper” (*Piper nigrum* Linn). Walaupun bukan tanaman asli

Indonesia peranannya sangat besar di dalam perekonomian nasional. Riwayatnya sebagai komoditas perdagangan Indonesia pun sangat panjang karena tercatat sebagai produk pertama Indonesia yang diperdagangkan ke Eropa melalui Arabia dan Persia [2].

Tanaman lada banyak diusahakan oleh para petani kecil di Indonesia. Sentra lada terbesar berasal dari Provinsi Lampung, Bangka Belitung, Kalimantan Barat, dan Kalimantan Timur. Lampung merupakan penghasil lada terbesar di Indonesia, sekitar 80% ekspor lada hitam berasal dari daerah ini [3].

Hasil panen lada hitam dari Indonesia khususnya propinsi lampung merupakan yang terbesar dan akan di ekspor dan diproduksi sesuai pesanan buyer. Dimana akan dikeringkan dahulu sesuai grade yang diminta salah satunya dengan standar kadar air (*moisture content*) tidak boleh lebih dari 12 % [4].

Proses pengeringan akan mengakibatkan produk yang dikeringkan mengalami perubahan warna, tekstur, rasa / *flavor*, dan aroma. Panas dari proses pengeringan tidak hanya menguapkan air selama pengeringan, akan tetapi juga menyebabkan hilangnya komponen *volatile oil* dari bahan pangan. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan terdiri dari faktor udara pengering dan sifat bahan. Faktor yang berhubungan dengan udara pengering adalah suhu, kecepatan volumetrik aliran udara pengering, dan kelembaban udara, sedangkan faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yaitu ukuran bahan, kadar air awal, dan tekanan parsial dalam bahan [5].

Pengeringa lada hitam sebaiknya dikeringkan oleh sinar matahari dibawah suhu 40°C, karena tidak ada efek yang cukup besar yang terlihat dalam hasil *volatile oil* sedangkan untuk kisaran suhu 40 hingga 85°C pengurangan yang signifikan dalam *volatile oil* dari 2,86 menjadi 2,26 mL/100g diamati [6].

Dimana pada pelaksanaan proses produksi pengeringan lada hitam sering terjadi melesetnya standar kadar air lebih besar dari 12 % dan sering pula terjadi kekeringan hingga dibawah 11 %. Batas toleransi kadar air biji lada hitam yang diperbolehkan oleh perusahaan antara 11 % sampai dengan 12%, dengan alasan ini, jika terjadi kadar air diatas 12% akan terjadi pengulangan produksi yang akan memakan waktu dan berkurangnya kapasitas produksi serta pembengkakan biaya

produksi, jika dipaksakan untuk ekspor akan terjadi klaim atau tuntutan dari buyer sehingga terjadi dipulangkannya kembali barang yang telah diekspor sehingga terjadi pembengkakan biaya ekspor.

Begitu juga jika proses pengeringan terlalu kering maka hasil produksi akan kehilangan tonase/berat sehingga perusahaan akan mengalami kerugian. Bisa dibayangkan jika kapasitas produksi lada hitam yang diekspor 3000 ton per tahunnya jika terjadi selisih kekeringan 2% maka terjadi kehilangan tonase lada sebesar 60 ton per tahunnya. Itu semua terjadi karena proses produksi masih dijalankan secara manual dan dikontrol oleh operator karena terlambat mengantisipasi dalam mengambil keputusan dikarenakan salah dalam memperkirakan output hasil produksi lada hitam dengan kadar air lada hitam antara 11% sampai dengan 12%.

Berdasarkan uraian tersebut maka perlu membangun suatu sistem otomasi dalam industri yang dapat memonitoring suhu yang diinginkan dan mengontrol kadar air lada hitam yang diproses produksi. Pada penelitian ini akan dilakukan di perusahaan eksportir lada hitam PT. Agri Spice Indonesia di Lampung. Penelitian ini diharapkan membantu dalam proses produksi mendapatkan solusi terbaik sehingga tidak terjadinya kerugian besar perusahaan dan antisipasi yang cepat dalam menentukan kadar air lada hitam antara 11% sampai dengan 12% sehingga mempermudah operator mengontrol proses pengeringan produk tersebut.

Pada penelitian ini akan lebih fokus dalam membuat suatu sistem otomasi yang handal dalam penginderaan kadar air/*moisture content* lada hitam dan dapat berkomunikasi antara node sensor satu dengan node sensor yang lain, sehingga tercipta sistem jaringan sensor terintegrasi yang handal. Selain itu pada penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem pemantauan kadar air lada hitam sehingga dapat dilakukan antisipasi secara otomatis keluaran/output biji lada hitam dengan kadar air antara 11% sampai dengan 12% pada Mesin drying PT. Agri Spice Indonesia di Lampung.

1.2. Rumusan Masalah.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana cara mendeteksi Kadar air biji lada hitam pada proses produksi lada hitam PT. Agri Spice Indonesia di Lampung?
- 2) Bagaimana cara membuat *sistem* alat automasi industri *drying* lada hitam agar node sensor penyusun satu dengan lainnya dapat terintegrasi membentuk jaringan sensor?
- 3) Bagaimana cara memantau dan mengontrol proses produksi *drying* lada hitam secara otomatis keluaran kadar air/*moisture content* antara 11% sampai dengan 12%?

1.3. Tujuan Penelitian.

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

- 1) Membuktikan bahwa jaringan multi sensor adalah alat yang tepat untuk dapat melakukan penginderaan dan mengirim data secara *real time*.
- 2) Dapat memonitoring suhu pengering dan kadar air lada hitam.
- 3) Pengaplikasian sistem kendali suhu dan kelembapan dibangun dapat berfungsi lebih baik dan efisien sehingga mengurangi kehilangan berat lada hitam selama proses produksi.
- 4) Algoritma yang dibangun dapat mengontrol kadar air antara 11% sampai dengan 12% pada proses pengeringan lada hitam PT. Agri Spice Indonesia.

1.4. Manfaat Penelitian.

Manfaat penelitian yang ingin dicapai adalah dapat memonitoring suhu oven *drying* dan mengontrol kadar air / *moisture content* lada hitam yang akan dikeringkan dalam proses produksi pengeringan / *drying* lada hitam secara otomatis. Hasil keluaran proses produksi pengeringan lada hitam dikontrol secara otomatis diharapkan kadar air antara 11% sampai dengan 12% di PT. Agri Spice Indonesia Lampung.

1.5. Batasan Masalah.

Pada penelitian ini dilakukan pembatasan terhadap masalah yang akan dibahas yaitu:

- 1) Temperatur suhu dan kadar air/moisture content lada hitam yang dikontrol dari dapur 1, dapur 2, dan 3.
- 2) Penginderaan menggunakan sensor PT100RTD dan Sensor Kelembapan THD-DD2-C
- 3) Komunikasi node sensor menggunakan modul PLC Omron CP1H-XA40DR-A dan CP1W-AD041.
- 4) Komunikasi human interface menggunakan teknik SCADA sistem.

1.6. Hipotesis Penelitian.

Penginderaan Node Sensor temperature dan node sensor kelembapan mampu mengendalikan kadar air lada hitam selama proses produksi pengeringan dengan komunikasi modul PLC Omron CP1H dinilai handal dan mampu melakukan penginderaan untuk mengontrol kadar air lada hitam sehingga dapat dilakukan monitoring secara realtime terhadap produk lada hitam di PT. Agri Spice Indonesia.

1.7. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pemahaman serta penulisan mengenai materi pada tesis ini, maka penelitian ini dibagi menjadi lima bab, sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang, tujuan, manfaat, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika dari penulisan tesis ini.

BAB II Kajian Pustaka

Berisi tentang referensi teori-teori yang mendukung dalam penelitian ini, yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam laporan penelitian ini.

BAB III Metodologi Penelitian

Berisi tentang tempat dan waktu penelitian dilakukan, alat dan bahan yang digunakan pada penelitian, langkah-langkah pengerjaan yang akan dilakukan, penentuan spesifikasi dan perancangan alat, serta diagram alir.

BAB IV Pengujian dan Implementasi Sistem

Berisi tentang proses pengambilan data, hasil yang didapatkan pada saat penelitian, dan analisis data dari hasil penelitian.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari pembuatan dan penelitian alat dan saran-saran untuk pengembangan penelitian secara lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. KAJIAN PUSTAKA.

2.1. Penelitian Terdahulu.

Pada penelitian dengan judul “*Paddy Rice Moisture Tester with Bluetooth Data Transfer*” bertujuan melakukan eksperimen nyata untuk mengukur berat air yang terkandung dalam padi beras yang diekspresikan dalam persen disebut kadar air. Pengukuran kadar air penting untuk mencapai tingkat penyimpanan yang aman dan jangka panjang. Pengukuran yang akurat juga pengaruh pada harga pasar karena penurunan berat badan jika butir dijual terlalu kering. Ada penguji air di pasar tetapi tidak memiliki fungsi yang nyaman seperti penyimpanan data dan transfer data. Ini membuka peluang untuk membuat solusi desain untuk penguji kelembaban dengan fungsionalitas yang ditingkatkan. Solusi desain dibuat dengan membangun penguji kelembaban yang digerakkan oleh mikrokontroler ATmega328p di mana sensor kelembaban, DHT-22, terhubung. DHT-22 bertanggung jawab untuk merasakan kadar air padi dengan unit pengukuran EMC atau kadar air kesetimbangan. Data ini kemudian disimpan dalam kartu SD mikro. Ini juga memiliki penghematan waktu nyata di mana pembacaan konten kelembaban ditransfer ke komputer menggunakan modul Bluetooth HC-05 dan disimpan ke dalam database. Tes fungsionalitas sistem menunjukkan bahwa desain yang dibangun telah memenuhi tujuan.

Pada penelitian ini menghasilkan kesimpulan, para peneliti dapat mengukur kadar air dengan perbedaan minimal, menyimpan kadar air padi dan berkomunikasi dengan komputer yang terhubung dengannya [7].

Pada penelitian dengan judul “*Automated Moisture Remover for Drying Agricultural Products*” bertujuan pada saat musim tertentu, produk pertanian

musiman diproduksi dalam jumlah besar. Konservasi produk komoditas makanan ini di berbagai tempat sangat penting untuk permintaan mereka sepanjang tahun. Untuk melestarikan produk pertanian, pengeringan penting untuk menghilangkan kelembaban. Merancang dan memodelkan penghilang kelembaban otomatis yang dapat digunakan untuk pengeringan dan melestarikan bahan makanan. Dehidrator ini dapat digunakan untuk menghilangkan kelembaban sehingga mengurangi volume produk meningkatkan ruang penyimpanan produk dan juga menjaga nutrisi.

Pada penelitian ini menghasilkan alat penghilang kelembaban otomatis yang dapat digunakan untuk pengeringan dan melestarikan bahan makanan dirancang. Perhitungan kerja, desain, desain dan model tiga dimensi dehidrator untuk menghilangkan kelembaban dari produk pertanian. Penghilang kelembaban otomatis yang diusulkan menyediakan berbagai pengaturan suhu untuk berbagai produk makanan menggunakan control PID sistem [8].

Pada penelitian dengan judul *“Green Coffee Bean Sorter and Corrector based on Moisture Content using Capacitive Method”* mengusulkan design pengukuran kelembaban berbasis kapasitansi dengan korektor kualitas dan kelembaban. Pada penelitian ini bertujuan untuk menangani hasil pertanian pasca panen. Hal ini kadar air penting dalam menentukan kualitas dan mengendalikan harga biji kopi. Namun, memenuhi tingkat kelembapan biji kopi yang tepat merupakan salah satu tantangan umum dalam industri kopi. Sistem ini terdiri dari pelat listrik, mikrokontroler, pengering dan tampilan bawaan. Sebuah program perangkat lunak dikembangkan untuk menentukan kadar air biji dan mengklasifikasikannya berdasarkan nilai kadar air yang ditetapkan untuk biji kopi berkualitas tinggi.

Pada penelitian ini menghasilkan alat Pengering dibangun untuk memperbaiki kadar air biji kopi yang kurang kering. Sistem yang dikembangkan dirancang untuk berdiri sendiri dan melarang campur tangan manusia kecuali selama pemuatan dan pembongkaran biji. Berdasarkan hasil tersebut, sistem dapat menyortir biji berdasarkan kadar air dan mampu mengukur kadar air dengan akurasi 91,67% [9].

Pada penelitian dengan judul *“PLC Based Smart Farming Sistem With SCADA”* menggunakan teknologi modern untuk memiliki banyak pengembangan di bidang pertanian. Merencanakan untuk menggunakan teknik berbasis PLC ke lahan pertanian yang luas dan akan mengurangi tenaga manusia. Di sini menggunakan sensor PIR, sensor level, sensor kelembaban, sensor UV untuk memantau medan yang luas. Berbagai jenis sensor digunakan untuk mengukur berbagai parameter. Sensor kelembaban akan digunakan untuk mengukur kelembaban tanah. Sensor level dapat digunakan untuk mengukur level air di dalam tangki. Jika ketinggian air di bawah titik setel, motor akan secara otomatis dihidupkan. Untuk mendeteksi pergerakan manusia dan hewan yang tidak diketahui, sensor PIR dapat digunakan, bergantung pada pertumbuhan tanaman, penggunaan pupuk dapat ditentukan. PLC akan diprogram untuk menyelesaikan seluruh proses. Sistem SCADA digunakan untuk memantau proses otomatis ini.

Penelitian ini menghasilkan suatu yang menunjukkan tentang pertanian berbasis PLC yang sepenuhnya sistem kontrol otomatis dan pekerjaan manual petani diubah menjadi kerja cerdas. Sistem jaringan ini adalah pertanian cerdas digital dan menyediakan metode baru untuk hasil panen. Setiap modul memberikan sinyal input terpisah dan memantau setiap sensor dengan memberikan output yang sempurna untuk masing-masing. Sistem SCADA bekerja dengan mengumpulkan semua data melalui pemantauan yang menghasilkan output yang efisien dan efektif. Penerapan sistem ini mudah, andal, dan tidak memerlukan banyak perawatan. Cara pelacakan dan jaringan yang mudah mengembangkan sistem pertanian yang lebih baik dan dapat memantau sepanjang hari [10].

Pada penelitian dengan judul *“Rice Bran Drying Kinetics of a Controlled Microwave Vacuum Dryer Optimized PLC-based: A Neuro fuzzy Approach”* memprediksi kehilangan air dimodelkan melalui pendekatan *neuro fuzzy*. Parameter input yang dipertimbangkan adalah daya microwave, kecepatan putaran, waktu pengeringan, kapasitas beban dan tekanan vakum. Sistem inferensi fuzzy dirancang untuk menghasilkan aturan logika fuzzy di mana inputnya berasal dari output jaringan saraf terlatih. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa sistem yang dikembangkan mampu memprediksi kehilangan kelembaban dengan tingkat kesalahan 0,00014627.

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi kehilangan air (ML) dedak padi dalam MVD menggunakan ANFIS. Data yang dikumpulkan untuk daya gelombang mikro, kecepatan rotasi, waktu pengeringan, kapasitas beban, dan tekanan vakum akan digunakan untuk melatih jaringan saraf. Ini akan diumpankan ke sistem fuzzy untuk menghasilkan sistem inferensi.

Penelitian ini menghasilkan analisis untuk menguji hilangnya kadar air bekatul selama pengeringan vakum microwave, model ANFIS berhasil diterapkan. Di antara tujuh anggota, fungsi anggota Gaussian (gaussmf) dipilih karena berfungsi dengan baik dan dengan tingkat kesalahan terendah $5.82E-6$. Model ANFIS menunjukkan kapasitas prediksi kadar air yang tinggi dengan tingkat kesalahan uji 0,00006 untuk RSME dan 0,00014627 untuk Gaussian MF. Kinerja tidak hanya dipengaruhi oleh input atau faktor tunggal dalam metode inferensi yang telah ditetapkan. Pengeringan dedak padi dengan metode MVD, dilihat dari hasil, menunjukkan pengaruh interaksi yang besar antar variable [11].

Penelitian-penelitian tersebut merupakan penelitian yang relevan dengan tema penelitian yang diambil dimana bertema tentang sensor kelembapan untuk mendeteksi kadar air, sensor untuk menghilangkan kelembapan ruangan secara otomatis, sensor untuk memenuhi tingkat kelembapan biji kopi yang tepat dalam industri kopi, teknik berbasis PLC ke lahan pertanian yang luas dengan penggunaan sensor untuk memantau medan yang luas. Berbagai jenis sensor digunakan untuk mengukur berbagai parameter teknologi modern pertanian berbasis PLC dimana sistem kontrol otomatis mengubah diubah menjadi kerja cerdas dan kinetika pengeringan bekatul dalam memprediksi kehilangan air dimodelkan melalui pendekatan *neuro fuzzy*.

Dari beberapa uraian penelitian yang relevan diatas dapat dilihat penelitian yang akan dilakukan mempunyai perbedaan penelitian dengan penelitian sebelumnya, dimana beberapa penelitian sebelumnya dilakukan pada kondisi level-level laboratorium sedangkan penelitian ini diaplikasikan secara langsung. Penelitian yang akan dikembangkan diaplikasikan pada alat pengeringan *Drying Oven*

lada hitam dengan berbasis jaringan multi sensor yang mengontrol kadar air lada selama pengeringan.

2.2. Sensor.

Sensor adalah perangkat fisik yang merespon stimulus fisik dengan memberikan keluaran listrik sebagai respon stimulus.

2.2.1. Jaringan Sensor.

Sensor networks (jaringan sensor) secara sederhana adalah kumpulan sensor di mana setiap sensor memantau data di lokasi yang berbeda dan mengirimkan data tersebut ke lokasi pusat untuk disimpan, dilihat, dan dianalisis. Jaringan sensor dapat berupa kabel (*wired*) atau nirkabel (*wireless*). Jaringan sensor berkabel menggunakan kabel ethernet untuk menghubungkan sensornya, sedangkan jaringan sensor nirkabel (*Wireless Sensor Network* atau WSN) menggunakan teknologi seperti Bluetooth, seluler, Wi-Fi atau komunikasi jarak dekat atau *Near Field Communication* (NFC) untuk menghubungkan sensor.

Networks ini terdiri dari perangkat otonom kecil yang terletak di area yang dapat merasakan dan melaporkan beberapa parameter tentang lingkungannya, seperti kelembaban, suhu, dan getaran. *Sensor network* dapat digunakan di berbagai lingkungan, seperti pertanian, industri dan medis, dan lainnya.

Terkait fungsi dan tujuan utamanya sendiri, jaringan itu sendiri terhubung ke internet, WAN, LAN atau jaringan industri lainnya, untuk mengirimkan data ke sistem dan aplikasi untuk analisis. Data ini dapat digunakan oleh organisasi untuk meningkatkan operasi mereka dan menjadi lebih efektif [12].

2.2.2. Jaringan Multi Sensor.

Sistem instrumentasi canggih modern dilengkapi dengan sensor berbeda, masing-masing memiliki fungsi terpisah. Setiap sensor mengukur parameter tertentu secara independen dan algoritma pemrosesan sinyal yang diperlukan digunakan untuk menggabungkan

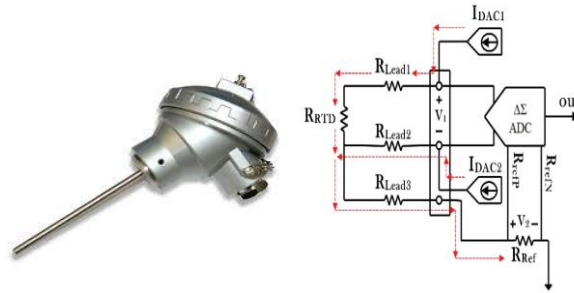
semua pengukuran independen untuk menghasilkan pengukuran lengkap yang mengambil kesimpulan dari semua pengukuran. Sistem semacam ini dapat disebut sebagai sistem multi-sensor

Jaringan multi sensor mengintegrasikan beberapa sensor dan menghilangkan interferensi. Sensor bekerja secara terintegrasi dan saling mengkalibrasi untuk memberikan jaminan bahwa mencapai target presisi yang tepat [13].

2.3. Sensor Suhu PT100 RTD,

PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistive Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karenanya namanya diawali dengan 'PT'. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm. Ada juga PT1000 yang dikalibrasi pada nilai resistansi 1000 Ohm pada suhu 0°C.

Menurut keakurasiannya, terdapat dua jenis PT100, yakni *Class-A* dan *Class-B*. PT100 *Class-A* memiliki akurasi $\pm 0,06\text{-ohm}$ dan PT100 *Class-B* memiliki akurasi $\pm 0,12\text{ ohm}$. Keakurasiannya ini menurun seiring dengan naiknya suhu. Akurasi PT100 *Class-A* bisa menurun hingga $\pm 0,43\text{ ohm}$ ($\pm 1,45^{\circ}\text{C}$) pada suhu 600°C, dan PT100 *Class-B* bisa menurun hingga $\pm 1,06\text{ ohm}$ ($\pm 3,3^{\circ}\text{C}$) pada suhu 600°C. PT100 tipe DIN (Standard Eropa) memiliki resolusi 0,385 ohm per 1°C. Jadi resistansinya akan naik sebesar 0,385 ohm untuk setiap kenaikan suhu 1°C. Untuk mengukur suhu secara elektronik menggunakan sensor suhu PT100, maka harus mengeksitasinya dengan arus yang tidak boleh melebihi nilai 1mA. Hal ini karena jika dialiri arus melebihi 1 mA, maka akan timbul efek *self-heating*. Jadi, seperti layaknya komponen resistor, maka kelebihan arus akan diubah menjadi panas. Akibatnya hasil pengukuran menjadi tidak sesuai lagi [14]. Spesifikasi dan fungsi bagian dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Table 2.1.



Gambar 2.1. Sensor RTD PT100 Struktur 3 Wire [14][15].

Tabel 2.1. Deskripsi Parameter dan Variabel [15].

Variable	Description
T	Temperature
T_C	Constant temperature
R_0	Resistance of the RTD at 0°C
R_{Ref}	Reference resistance of ADC
Out	Equivalent analog value of ADC digital output code
v_1	Voltage of lead resistances and RTD
v_2	Voltage of reference resistance
I_{DAC}	Excitation current source
$I_{leakage}$	Leakage current of RTD
R_{lead}	Lead resistance of the wire
δ	Self-heating coefficient

Spesifikasi:

Sensor Type	: Platinum Resistance Thermometer Pt100 Pt1000.
Operating Range	: -50 to +250°C.
Sheath Material	: 316 stainless steel
Tolerance Band	: Class B, Class A, 1/3 DIN, 1/5 DIN or 1/10 DIN
Wiring Sistem	: 2, 3 or 4 wire, Simplex or Duplex
Head Types	: A - KNE Aluminium Alloy, IP68 B - KSE Aluminium Alloy, IP68 C - ABS, IP67 D - Glass Filled Nylon, IP65

E - 316 stainless steel, IP68 (Other heads available upon request)

Head Options : A - *Ceramic Terminal Block*
 B - *In Head Transmitter—various types*
 C - *Tails for Customers Own Transmitter*

2.4. Sensor THD-DD2-C.

Transduser suhu/kelembaban seri THD memiliki sensor suhu dan kelembaban internal dan mampu menghasilkan berbagai output termasuk komunikasi DC 4-20 mA, 1-5 VDC, RS485. Sensor suhu memiliki kisaran -19,9°C hingga 60,0°C dan sensor kelembaban memiliki kisaran 0,0 hingga 99,9% RH. Seri THD tersedia dalam tipe ruangan, tipe pemasangan saluran, dan tipe pemasangan di dinding [16].

Fitur utama:

- Desain yang ringkas
- Sensor suhu dan kelembaban bawaan
- Tersedia dalam tipe kamar, tipe pemasangan saluran, dan tipe pemasangan di dinding
- Tampilan LED 7 segmen (THD-DD/THD-WD)
- Berbagai pilihan output: DC 4-20mA, 1-5VDC, komunikasi RS485 (Modbus RTU)
- Kisaran suhu : -19,9°C hingga 60,0°C
- Kisaran kelembaban : 0,0 hingga 99,9% RH
- Kecepatan komunikasi : 1200 hingga 115200bps

THD-DD2-C kapasitif penginderaan kelembaban sensor suhu dan kelembaban digital adalah salah satu yang berisi sensor gabungan suhu dan kelembaban yang telah dikalibrasi keluaran sinyal digital. Teknologi perolehan suhu dan kelembaban khusus, untuk memastikan bahwa produk memiliki keandalan tinggi dan stabilitas jangka panjang yang sangat baik. Sensor tersebut mencakup komponen basah sensor kapasitif dan terintegrasi presisi tinggi perangkat pengukuran suhu, dan dihubungkan dengan mikroprosesor berkinerja tinggi.

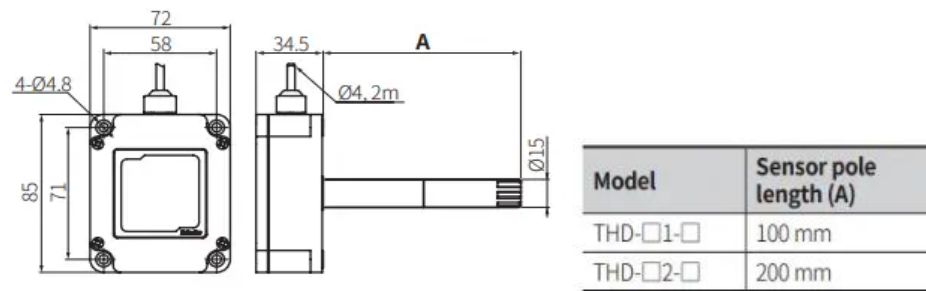
Hal ini dapat diterapkan pada HVAC, dehumidifier, peralatan pengujian dan inspeksi, produk konsumen, mobil, kontrol otomatis, pencatat data, stasiun cuaca, peralatan rumah tangga, kontrol kelembaban, bidang aplikasi medis dan lainnya yang perlu mendeteksi dan mengontrol suhu dan kelembaban seperti. Diskripsi sensor dan fungsi bagian dapat dilihat pada Gambar 2.2, Gambar 2.3 Gambar 2.4 sebagai berikut [16]:

- Metode tampilan : LED 3-digit 7-segmen
- Kisaran pengukuran suhu : -19.9~60.0°C
- Kisaran pengukuran Kelembaban : 0.0~99.9%RH
- Output suhu : Output arus (DC4-20mA)
- Output kelembaban : Output arus (DC4-20mA)
- Output resistansi sensor suhu PT100Ω: Ini mentransmisikan suhu saat ini ke perangkat lain (perekam, termometer, dll.) menghasilkan 100Ω pada 0°C dan 119.40Ω pada 50°C. (Koefisien suhu (TCR)=3850ppm/°C
- Siklus sampling : 500ms
- Panjang tiang sensor : 200mm
- Catu daya : 24VDC
- Konsumsi daya : 2.4W
- Tingkat proteksi : IP65(kecuali bagian sensor)
- Akurasi suhu : $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ (at room temperature)
- Akurasi kelembaban : $\pm 2\%\text{RH}$ (10 to 90%RH, at room temp.)
※Max. $\pm 2.5\%\text{RH}$
- Resolusi : 1/1000
- Lingkungan kadar suhu : -20 hingga 60°C, ruang tertutup: -20 hingga 60°C



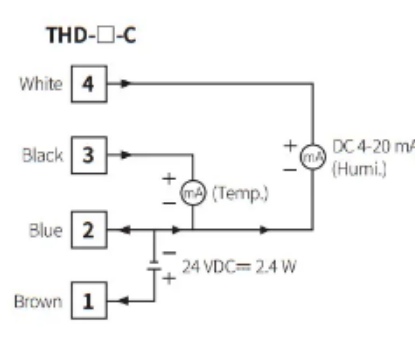
Gambar 2.2. THD-DD2-C Industrial Probe [16].

- Dimensi



Gambar 2.3. Dimensi THD-DD2-C [16].

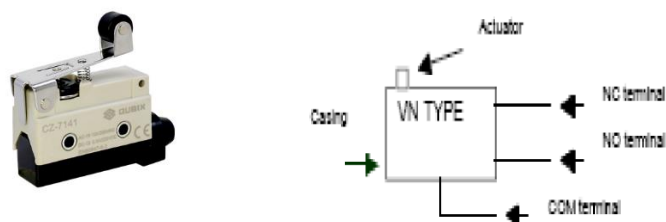
- Sambungan Kabel



Gambar 2.4. THD-DD2-C Wiring Connection [16].

2.5. Limit Switch.

Limit Switch Saklar listrik (switch) adalah suatu alat sederhana yang berfungsi untuk menyambung - memutus atau memindah suatu hubungan di dalam rangkaian listrik. Basic switch merupakan sebuah switch kecil dengan contact-contact terpisah dan mempunyai gerakan mekanis SNAP. Contact-contact yang berada di dalam case dioperasikan oleh gaya luar melalui aktuator yang diteruskan ke moving contact spring [17]. Konfigurasi dari komponen limit switch dapat dilihat pada Gambar 2.5.



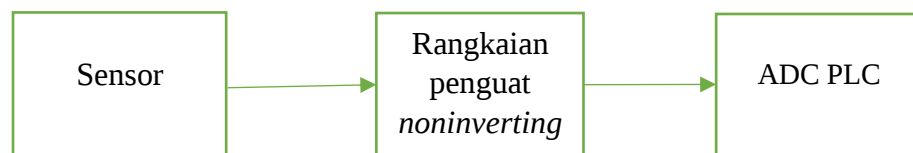
Gambar 2.5. Konfigurasi Limit Switch [17][18].

2.6. Pengolahan Sinyal Analog.

Pengolahan sinyal analog merupakan langkah paling awal dari proses konversi data analog menjadi data digital. Pengolahan sinyal analog dimulai dengan pendeteksian energi panas atau dingin menggunakan sensor suhu PT 100. Output dari sensor ini akan diumpankan kepada rangkaian pengkondisi sinyal sebelum dikonversi menjadi data digital oleh ADC.

2.6.1. Rangkaian Pengkondisi Sinyal.

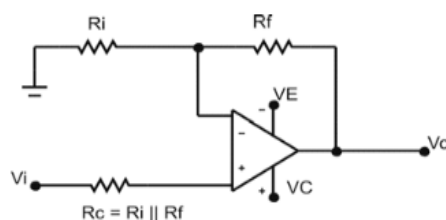
Rangkaian Pengkondisi sinyal digunakan untuk memperoleh tegangan referensi yang disesuaikan dengan karakteristik ADC. Rangkaian pengkondisi sinyal merupakan suatu rangkaian penguat noninverting. Diagram blok dari rangkaian pengkondisi sinyal dapat dilihat pada Gambar 2.6 [19][20]:



Gambar 2.6. Diagram Blok Rangkaian Pengkondisi Sinyal [13][17][18].

Input rangkaian penguat *noninverting* berasal dari output sensor PT 100. Output yang dihasilkan dari rangkaian penguat *noninverting* akan diumpankan ke bagian ADC. Bagian ADC berfungsi untuk mengubah data analog menjadi data digital [14][16][18].

Rangkaian penguat noninverting berupa rangkaian Op-Amp [19]. Skematik dari rangkaian Op-Amp ditunjukkan pada Gambar 2.7.

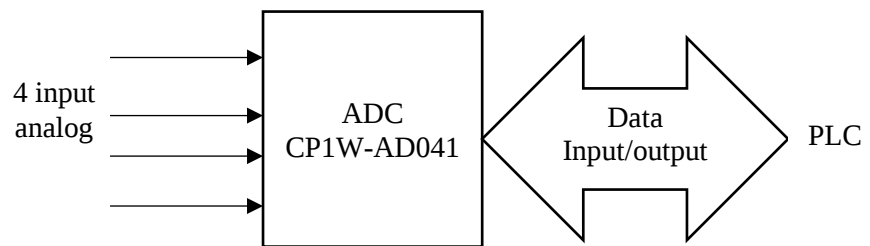


Gambar 2.7. Rangkain Penguat *Noninverting* [19].

Besarnya penguatan (A_v) dari rangkaian penguat *noninverting* ditentukan oleh perbandingan tegangan output (V_o) dengan tegangan input (V_i). Persamaan penguatan (A_v) dari rangkaian penguat *non inverting* adalah sebagai berikut [19]:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_i + R_f}{R_i} = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad (2)$$

Pengubahan Data Analog ke Digital Melalui ADC Pengubahan data analog yang dimaksud adalah mengubah data analog menjadi data digital melalui analog to digital converter (ADC). ADC yang digunakan adalah CP1W-AD041 produksi omron. Gambar 2.8 menunjukkan konfigurasi dari CP1W-AD041.



Gambar 2.8. Konfiguarsi CP1W-AD041 [20][21].

CP1W-AD041 terdiri dari 4 buah input analog yang terbagi menjadi dua macam input arus, dua macam input tegangan, dan juga dua macam output analog yaitu tegangan dan arus. Data input/output delapan bit yang dihubungkan dengan PLC dapat diatur sebagai input atau output. Spesifikasi input-output dari ADC (CPM1A-MAD01) dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.2. Spesifikasi Input ADC [20].

Range sinyal input	Tegangan input	0V s/d 10V atau 1V s/d 5V
	Arus Input	4mA s/d 20mA
Resolusi	Tegangan input	1/256
	Arus Input	1/256

Akurasi	Tegangan input	1.0% skala maksimum
	Arus Input	1.0% skala Maksimum
Sinyal Input Maksimal	Tegangan input	15V kontinu
	Arus Input	30mA kontinu

Tabel 2.3. Spesifikasi Output ADC [20]

<i>Range sinyal output</i>	<i>Tegangan output</i>	0V s/d 10V atau -10V s/d +10V
	<i>Arus output</i>	4mA s/d 20mA
Resolusi	<i>Tegangan output</i>	1/ 256 (0V s/d 10V)
		1/ 512 (-10V s/d 10V)
	<i>Arus output</i>	1/ 256
Akurasi	<i>Tegangan output</i>	1.0 % <i>max</i> (skala maksimum)
	<i>Arus output</i>	1.0 % <i>max</i> (skala maksimum)

Berdasarkan spesifikasi output ADC, dapat ditentukan range sinyal output yang akan digunakan yaitu 1V s/d 5 V atau 4mA s/d 20mA. Resolusi tegangan output dan arus output-nya adalah 1/6000) [22].

Kode setting range ADC bertujuan untuk mengetahui alamat analog I/O unit yang yang ditempati. Penentuan alamat- alamat analog I/O unit dipengaruhi oleh banyaknya jumlah I/O pada PLC yang akan digunakan [20].

2.6.2. Temperatur sensor *Transmitter* PT100 RTD.

Pemancar resistance temperature detector adalah modul pengkondisi sinyal kelas Industri dengan output 3-kabel 4-20mA. Transmitter PT100RTD, kisaran sinyal masukan 0-200°C, dan mengubah masukannya menjadi keluaran 4-20mA secara akurat. Pemancar ini dipasang dalam standar internasional yang dipasang di kepala untuk memudahkan integrasi dengan berbagai sensor [25]. Fungsi dan bagian dapat dilihat pada Gambar 2.9 seperti berikut:

➤ Fitur:

- Output daya loop 3 kabel 4-20 mA.
- Input sinyal RTD PT100.
- Konversi dan transmisi linier.

- 0,5% (masukan TC), 0,2% F.S. (Input RTD) akurasi tinggi, penyimpangan suhu rendah, dan masa pakai yang lama.

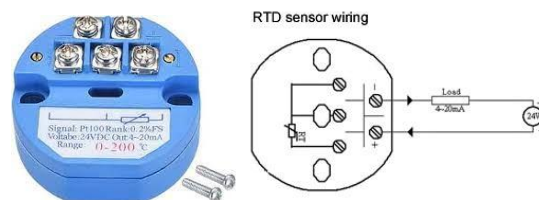
- Pemasangan di kepala berstandar internasional.

➤ Spesifikasi:

- Input sinyal : RTD 3 kabel
- Output : 4-20mA, batas arus: min.3.8mA, maks 20.3mA
- Catu daya : 24VDC
- Akurasi Pengukuran : masukan TC 0,5%, masukan RTD 0,2%.
- Penyimpangan Suhu : $\leq 25 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ F.S.
- Sirkuit perlindungan : Perlindungan koneksi polaritas terbalik
- Measuring range : 0-200°C
- Bahan PA66
- Pemasangan: Sekrup M4x2, dipasang di kepala standar

➤ Aplikasi:

- Pengguna dengan RTD, sensor suhu termokopel (TC) untuk akuisisi data.
- Berlaku dalam mengubah berbagai jenis sinyal menjadi sinyal 4-20mA.
- Konversi dan transmisi sinyal sensor suhu.
- RTD, konversi dan regulasi linier sinyal termokopel.



Gambar 2.9. Transmitter Pengkondisian Sinyal [25].

2.7. Relay omron MKS3P-220V.

Relay adalah sebuah switch elektronik yang beroperasi berdasarkan gaya elektromagnetik untuk membuka atau menutup kontak saklar. Relay terdiri dari dua bagian yaitu koil dan kontak. Koil adalah gulungan kawat yang mendapat arus listrik dan menjadi magnet, sedang kontak adalah switch yang pergerakannya tergantung dari ada tidaknya arus listrik di koil. Untuk supply koil relay bisa berasal dari sumber tegangan AC ataupun DC tergantung dari tipe relay. Kontak dari Relay ada 2 jenis, yaitu [26]:

- *Normally Open* atau biasa disebut NO (kondisi awal sebelum diaktifkan adalah open)
- *Normally Closed* atau biasa disebut NC (kondisi awal sebelum diaktifkan adalah close)

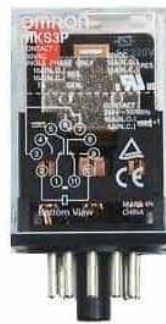
Fungsi, bentuk dan bagian dapat dilihat pada Gambar 2.10. Berikut adalah fungsi spesifikasi dari relay MKS3P dari Omron [26]:

- *Product Range* : OMRON - MK-S Series
- *AC Coil Voltage* : AC12/24/110/220V
- *DC Coil Voltage* : DC12/24/48/110V
- *Contact Current* : 10A
- *Contact Voltage VAC* : 250V
- *Contact Voltage VDC* : 30V
- *Contact Configuration* : 3PDT, 11 Pin
- *Coil Resistance* : 430ohm
- *Relay Mounting* : Quick Connect
- *SVHC* : No SVHC
- *Coil Current* : 55.8mA
- *Contact Current Max* : 10A
- *Contact Voltage AC Nom* : 250V
- *Contact Voltage DC Nom* : 30V
- *External Depth* : 34.5mm
- *External Height* : 52.5mm

- *External Width* : 34.5mm
- *Nom Operating Power* : 1.4W
- *Relay Type* : General Purpose
- *Relay Socket* : PF113A-E

Relay pada sistem PLC sangat dimanfaatkan untuk berbagai hal, antara lain

- Sebagai isolator antara rangkaian tegangan rendah dengan tegangan tinggi
- Mengendalikan beberapa sirkuit secara bersamaan
- Saklar pengganti untuk memindahkan beban antar rangkaian
- Mengendalikan beban listrik untuk melindungi motor listrik dari gangguan Listrik.



Gambar 2.10. Relay MKS3P 220 V [26].

2.8. PLC Omron CP1W-AD041.

Programmable logic controller (PLC) adalah sebuah sistem pengendali yang berisi fungsi-fungsi logika yang ditulis dalam bentuk diagram ladder. Dalam pelaksanaannya PLC secara terus menerus memonitor keadaan sistem melalui sinyal arus balik dari peralatan input. Logika program merupakan dasar untuk menentukan jalannya kegiatan untuk dibawa ke dalam peralatan output [20].

PLC dapat digunakan untuk mengontrol tugas yang sederhana dan berulang, atau beberapa PLC dapat dihubungkan bersama-sama dengan pengatur yang lain atau komputer host melalui sejenis jaringan komunikasi dengan tujuan untuk menggabungkan kontrol proses yang kompleks. PLC banyak digunakan

pada aplikasi-aplikasi industri, misalnya pada proses pengepakan, penanganan bahan, perakitan otomatis dan lain sebagainya. Dengan kata lain, hampir semua aplikasi yang memerlukan kontrol listrik atau elektronik membutuhkan PLC.

Sistem otomatisasi di dalam PLC digunakan untuk membaca sinyal dari berbagai tipe pendeteksi otomatis dari peralatan input maupun output. Peralatan input contohnya adalah pushbutton, keypad, toggle switch, proximity switch, limit switch, level sensor, flow switch dan saklar-saklar lainnya, sedangkan peralatan output contohnya adalah motor, selenoid valve, heater, kontaktor, lampu, buzzer dan lain sebagainya [21]. Fungsi bagian PLC OMRON CP1W-AD041 dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. PLC OMRON CP1W-AD041[21].

Spesifikasi:

- Jenis modul : Analog I/O
- Unit ekspansi I/O : 4 x input analog
- Resolusi : 1:6000
- Tipe masukan analog linier : -10 s/d 10V, 0 s/d 10V, 0 s/d 20mA, 0 s/d 5 V, 1 s/d 5 V, 4 s/d 20mA
- Jenis masukan suhu : Tidak ada
- Resolusi input analog : 13 Bit
- Tipe keluaran analog linier : Tidak ada
- Jumlah output analog : 0
- Tinggi Produk : 90 mm
- Lebar Produk : 86 mm

- Kedalaman Produk : 50 mm
- Berat Produk : 200 g

2.9. Autonic TCN4S-24R.

Autonic TCN4S-24R merupakan alat sensor yang bisa mendeteksi suhu terhadap objek yang ditargetkan. Alat ini juga bisa memngontrol suhu rata-rata yang diinginkan sehingga sangat bermanfaat dalam penghematan energi Listrik.

Seri TCN menawarkan performa yang sangat baik dan hemat biaya. Controller menawarkan kisaran sampling berkecepatan tinggi 100 ms dan akurasi tampilan $\pm 0.5\%$. Didukung dengan output relai dan output drive SSR. Model seri TCN dapat menampilkan SV dan PV secara bersamaan. Tampilan LED terang dengan karakter yang besar memberikan pembacaan nilai yang mudah dan jelas. Spesifikasi dan fungsi bagian seperti pada Gambar 2.12 [22]:

- Metode tampilan : LED 4 digit 7-segmen
- Metode kontrol : ON/OFF, P, PI, PD, PID
- Spesifikasi Input : Thermocouple: K(CA), J(IC), T(CC), R(PR),
S(PR), L(IC) RTD: DPt100 Ω , Cu50 Ω
- Siklus sampling : 100ms
- Output kontrol : Relay (250VAC~ 3A) or SSR drive
(12VDC) [ON/OFF]
- Pilihan output : Alarm 1/2
- Catu daya : 100-240VAC~ 50/60Hz
- Akurasi tampilan RTD :
 - Pada suhu ruangan ($23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$): (PV $\pm 0.5\%$ or 1°C , pilih yang paling tinggi) ± 1 -digit.

- Suhu luar ruangan:(PV $\pm 0.5\%$ or $\pm 2^{\circ}\text{C}$, pilih yang paling tinggi) ± 1 -digit

Akurasi Thermocouple :

- Pada suhu ruangan ($23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$): (PV $\pm 0.5\%$ or $\pm 1^{\circ}\text{C}$, pilih yang paling tinggi) ± 1 -digit
- Suhu luar ruangan:(PV $\pm 0.5\%$ or $\pm 2^{\circ}\text{C}$, pilih yang paling tinggi) ± 1 -digit

Histeresis : Variabel 1 hingga $100^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$
(0.1 hingga $50.0^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$)

Pita proporsional : 0.1 to $999.9^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$

Waktu integral : 0 ~ 9999 detik

Waktu derivatif : 0 ~ 9999 detik

Periode kontrol : 0.5 hingga 120.0 detik

Reset manual : 0.0~100.0%

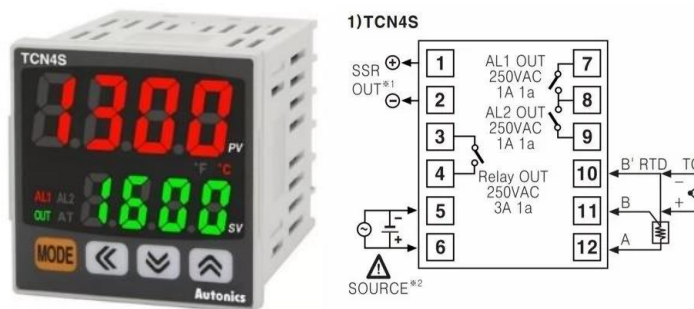
Lingkungan kadar suhu : -10 hingga 50°C , ruang tertutup: -20
hingga 60°C

Lingkungan kadar Kelembapan: 35 ~ 85%RH,

Ruang tertutup : 35 ~ 85%RH

Tipe insulasi : Double insulation or reinforced insulation
(Dielectric strength between the measuring input part and the power part: AC power 2kV, AC/DC Power 1kV)

Berat : Kurang lebih 147g (kurang lebih 100g)



Gambar 2 12. Autonic TCN4S-24R [22].

2.10. PLC Omron OMRON CP1H-XA40DR-A.

PLC Omron digunakan luas di bidang otomasi industri telah menghasilkan penciptaan produk yang tepat untuk aplikasi solusi otomasi yang sederhana hingga yang lebih kompleks. Rangkaian pengontrol yang dapat diprogram memberi rangkaian produk lengkap untuk mengotomatisasi mesin *compact* dan melakukan tugas otomatisasi sederhana lainnya, dengan cepat dan mudah. Pemrograman dan pengoperasian konsisten dengan pengontrol Programmable modular Omron lainnya [27].

PLC merupakan perangkat cerdas yang dapat diprogram untuk sistem automasi pada industri. Pada umumnya PLC digunakan di pabrik-pabrik untuk mengendalikan mesin-mesin agar dapat bekerja secara otomatis. PLC merupakan salah satu komponen yang sangat berperan dalam meningkatkan efisiensi produksi. Efisiensi ini meliputi [23]:

- Peningkatan kecepatan produksi,
- Meminimalkan downtime mesin,
- Menurunkan biaya material & upah kerja,
- Meningkatkan kualitas dan menurunkan tingkat kegagalan produksi, dll.

PLC banyak digunakan untuk menggantikan sistem kontrol konvensional/ *wired logic* yang memiliki banyak kelemahan, seperti [23]:

- Ruang lingkup dan skala kontrol yang terbatas.
- Modifikasi & maintenance yang lebih sulit, dll.

PLC Omron adalah pilihan sempurna untuk aplikasi apa pun yang memerlukan pemosisian. Baik untuk kontrol konveyor, kontrol posisi point-to-point, atau sistem pick-and-place non-interpolasi, kombinasi output pulsa kecepatan tinggi, kontrol penggerak kecepatan variabel, dan umpan balik posisi akan memberikan semua fungsi otomasi pada industri [24].

Spesifikasi dan fungsi bagian PLC Omron CP1H-XA40DR-A dapat dilihat pada Gambar 2.13 dan Gambar 2.14 berikut dibawah ini [28]:

➤ Input output.

- Input Digital I/O : 24.
- Keluaran Digital I/O : 16.
- Terminal I/O yang Dapat Dilepas : ya.
- Total Kapasitas I/O : 320.
- Unit Ekspansi CP1W : Ya (7 unit atau 15 kata masukan /Maksimal 15 kata keluaran).
- Unit I/O Khusus dan Bus CPU Seri CJ : Ya (maks. 2).
- Input Interupsi/Cepat/Penghitung : 8.
- Input Penghitung Kecepatan Tinggi : 4 (maks. 100 kHz).
- Output Pulsa (hanya model output transistor): 4 sumbu
(maks. 100 kHz)
- I/O analog (tertanam) : 4 input, 2 output.
- Penyetel Analog (0-255) : Ya (1).
- Input Pengaturan Analog Eksternal (resolusi 1/256) : Ya (0-10V).

➤ CPU detail.

- Detail CPU Port bawaan: usb
- Detail CPU Dukungan Blok Fungsi (Diagram tangga atau bahasa ST): Ya.
- Kecepatan Pemrosesan (minimum): 0,10 μ s / Instruksi dasar, 0,15 μ s /Perintah khusus.
- Kapasitas Program : 20 ribu Langkah.
- Kapasitas Memori Data : 32K kata.
- Kaset Memori (CP1W-ME05M) : ya.
- Jam Waktu Nyata : ya.
- Baterai : Ya (CJ1W-BAT01).
- Tampilan 7-Segmen : ya.

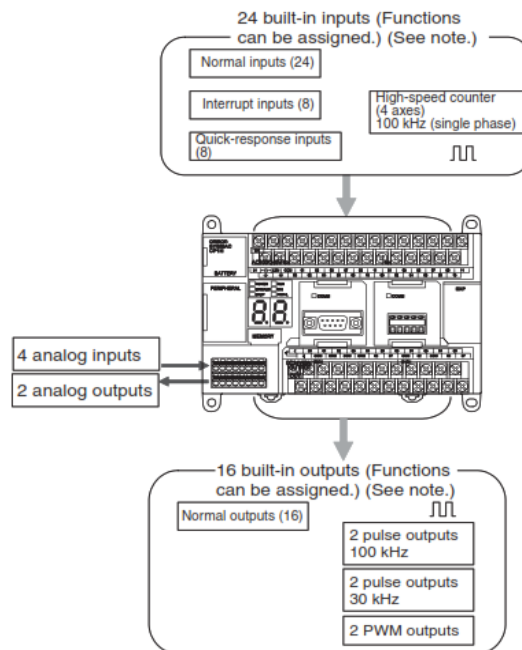
➤ Relay output.

- Output Relai Catu Daya AC : ya.
- Output Relai Catu Daya DC : Tidak.

SYSMAC CP1H adalah Pengontrol terprogram tipe paket berkecepatan tinggi yang canggih. Meskipun CP1H menggunakan arsitektur yang sama dengan Seri CS/CJ dan menyediakan kapasitas I/O yang sama yaitu 40 titik I/O seperti CPM2A, CP1H kira-kira sepuluh kali lebih cepat. Ada tiga jenis Unit CPU CP1H yang dapat dipilih: Unit CPU dasar (X), Unit CPU dengan terminal I/O analog internal (XA), dan Unit CPU dengan Terminal I/O Pulsa Khusus (Y), Unit CPU XA menambahkan fungsionalitas I/O analog ke kemampuan Unit CPU X [28].



Gambar 2.13. PLC OMRON CP1H-XA40DR-A [23].



Gambar 2.14. Fungsi Bagian PLC OMRON CP1H-XA40DR-A [23].

2.10.1. Central Processing Unit (CPU).

Central processing unit adalah suatu mikroprosesor yang mengkoordinasi aktivitas-aktivitas sistem PLC. CPU menjalankan program, memproses sinyal I/O dan mengkomunikasikannya dengan peralatan eksternal. CPU terdiri dari dua bagian yaitu 21 prosesor dan memori. Prosesor berfungsi mengoperasikan dan mengkomunikasikan modul-modul PLC melalui bus-bus serial atau paralel yang ada [24].

2.10.2. Waktu Scan.

Scan adalah proses membaca input, mengeksekusi program dan memperbaharui output. Waktu scan adalah proses membaca status input, mengevaluasi logical control dan memperbaharui output secara terus menerus dan berurutan. Spesifikasi waktu scan menunjukkan seberapa cepat alat kontrol bereaksi terhadap input dan memecahkan logika kontrol secara benar. Waktu yang dibutuhkan untuk satu waktu scan bervariasi dari 0.1 ms sampai 10 ms tergantung kecepatan proses CPU dan panjang program. Memonitor program kontrol juga menambah waktu overhead dari scan karena CPU pengontrol harus mengirimkan status kontak ke peralatan monitor lain [24].

2.10.3. Memory.

Sistem memori bertujuan untuk menyimpan data-data urutan instruksi ataupun program yang dapat dieksekusi oleh prosesor sesuai dengan perintah yang telah diberikan dalam program. Program ladder, nilai timer dan counter disimpan di memori pengguna tergantung kebutuhan penggunaannya. Beberapa tipe memori adalah sebagai berikut [24]:

1) *Read Only Memory* (ROM)

ROM adalah memori tetap yang dapat diprogram sekali.

Memori ini paling tidak populer jika dibandingkan dengan tipe memori yang lain.

2) *Random Acces Memory (RAM).*

RAM adalah tipe memori yang umum digunakan untuk menyimpan program pengguna dan data. Data pada RAM akan hilang jika sumber tenaga dipindahkan. Sebagai solusinya, sumber tenaga dapat digantikan dengan menggunakan baterai.

3) *Erasable Programmable Read Only Memory (EPROM).*

EPROM, menyimpan data secara permanent seperti ROM. Memori ini tidak membutuhkan baterai pendukung. Data di dalam EPROM akan terhapus bila terkena sinar ultraviolet. PROM writer dibutuhkan untuk memprogram ulang memori.

4) *Ellecrically Erasable Programmable Read Only Memory (EEPROM)*

EEPROM mengkombinasikan kefleksibilitasan akses dari RAM dan EPROM yang tidak berubah menjadi satu. Isinya dapat dihapus maupun diprogram secara elektrik, tetapi mempunyai batas waktu.

2.10.4. Struktur Memori.

Terdapat bermacam-macam struktur memori pada PLC. Beberapa struktur memori yang terdapat di dalam PLC adalah sebagai berikut [24]:

1) *Internal Relay (IR).*

Internal relay mempunyai pembagian fungsi seperti IR input, IR output, dan IR work area. Pengolahan data pada program IR input dan IR output adalah IR yang berhubungan dengan terminal input dan output pada PLC. IR work area tidak dihubungkan ke terminal PLC, tetapi terletak pada internal memori PLC dan berfungsi untuk pengolahan logika program (manipulasi program).

2) *Timer/Counter (TC).*

Timer digunakan untuk mendefinisikan waktu sistem tunda (*time delay*) sedangkan counter digunakan sebagai penghitung. *Timer*

dalam PLC mempunyai orde 100 ms. TIM 000 s/d TIM 015 dapat dioperasikan secara interrupt untuk mendapatkan waktu yang lebih presisi.

3) *Specific Relay (SR).*

Specific Relay adalah Relay yang mempunyai fungsi khusus seperti untuk flags dan control bits. SR area menyimpan data analog control yaitu pada alamat SR250 dan SR251.

4) *Holding Relay (HR).*

Holding Relay berfungsi untuk menyimpan data (bit-bit penting). Data (bit-bit penting) tidak akan hilang walaupun sumber tegangan PLC telah terputus (OFF).

5) *Auxiliary Relay (AR).*

Auxiliary Relay Terdiri dari flags dan bit dengan tujuan khusus. Auxiliary Relay dapat kegagalan sumber tegangan, kondisi special I/O, kondisi I/O unit, kondisi CPU PLC, kondisi memori PLC dan lain-lain.

6) *Link Relay (LR).*

Link Relay digunakan untuk data link pada PLC link sistem. Link Relay berfungsi untuk tukar menukar informasi antara dua PLC atau lebih dalam suatu sistem control yang saling berhubungan.

7) *Temporary Relay (TR).*

Temporary Relay berfungsi untuk menyimpan sementara kondisi logika program. Logika program yang dimaksud adalah logika program yang terdapat pada ladder diagram yang mempunyai titik percabangan khusus.

8) *Data Memory (DM).*

Data memory berfungsi untuk menyimpan data-data program. Data-data program di dalam DM tidak akan hilang (reset)

walaupun sumber tegangan PLC telah OFF. Ada beberapa macam DM, antara lain [18]:

- DM read/write: DM ini dapat dihapus dan ditulis oleh program yang dibuat, jadi sangat berguna untuk manipulasi data program.
- DM special I/O unit: DM ini berfungsi untuk menyimpan dan mengolah hasil dari special I/O unit, mengatur dan mendefinisikan sistem kerja special I/O unit.
- DM history Log: DM ini dapat menyimpan informasi-informasi penting pada saat PLC terjadi kegagalan sistem operasionalnya.
- DM Link Test Area: DM ini berfungsi untuk menyimpan informasi-informasi yang menunjukkan status dari sistem link PLC.
- DM setup: berfungsi untuk setup kondisi default (kondisi kerja saat 5 PLC aktif).

2.11. Dasar-Dasar Ladder.

Diagram Ladder diagram adalah program yang berupa kumpulan perintah untuk menjalankan suatu fungsi tertentu di dalam Programmable Logic Controller. Program ladder diagram berisi tentang kontak-kontak [24].

Kontak merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus. Ada dua jenis kontak yaitu kontak Normally Open (NO), dan kontak Normally Closed (NC). Kontak NO merupakan kontak yang kondisi normalnya kontak terputus. Kontak NC merupakan kontak yang kondisi normalnya kontak terhubung. Notasi penulisan kontak NO dan NC dapat dilihat pada Gambar 2.15.

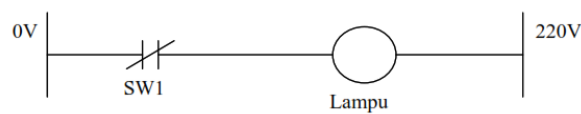


Gambar 2.15. Kontak NO dan NC.

Variasi dari kontak NO dan NC dapat digunakan untuk mengendalikan berbagai macam beban. Beberapa contoh variasi dasar dari kontak NO dan NC untuk mengendalikan suatu beban adalah sebagai berikut [24]:

1) Logika NOT.

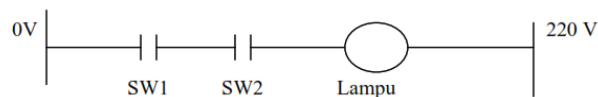
Logika NOT mempunyai satu masukan dan satu keluaran. Keluaran logika NOT akan bernilai 1 (ON), jika masukannya bernilai 0 (OFF) seperti pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Diagram Ladder Logika NOT.

2) Logika AND.

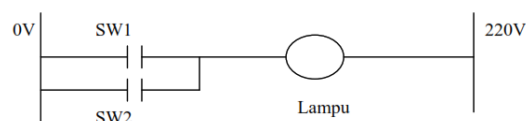
Logika AND menggunakan sambungan secara seri, logika AND mempunyai dua atau lebih masukan dan satu keluaran. Keluaran logika AND akan bernilai 1 (ON), jika semua masukan bernilai 1 (ON). Gambar 6 menunjukkan penulisan diagram ladder logika AND. 220V SW1 SW2 Lampu 0V 220 V pada gambar 2.17.



Gambar 2.17. Diagram Ladder Logika AND.

3) Logika OR

Logika OR menggunakan sambungan secara paralel, logika OR mempunyai dua atau lebih masukan dan satu keluaran. Keluaran logika OR akan bernilai 1 (ON), jika satu atau lebih masukannya bernilai 1 (ON). Gambar 2.18 menunjukkan penulisan diagram ladder logika OR. Lampu SW1 SW2 0V



Gambar 2.18. Diagram Ladder Logika OR

2.12. Tanggapan Transien.

Respon transien adalah respon sistem yang berlangsung dari keadaan awal sampai keadaan akhir. Dalam beberapa kasus praktis, karakteristik sistem kontrol yang diinginkan dinyatakan dalam bentuk besaran waktu. Sistem yang mempunyai elemen penyimpan energi tidak dapat merespon secara seketika dan akan menunjukkan respon transien jika dikenai masukan masukan atau gangguan. Respon transien sistem kontrol praktis sering menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai keadaan tunak. Parameter respon transien sebagai berikut [30]:

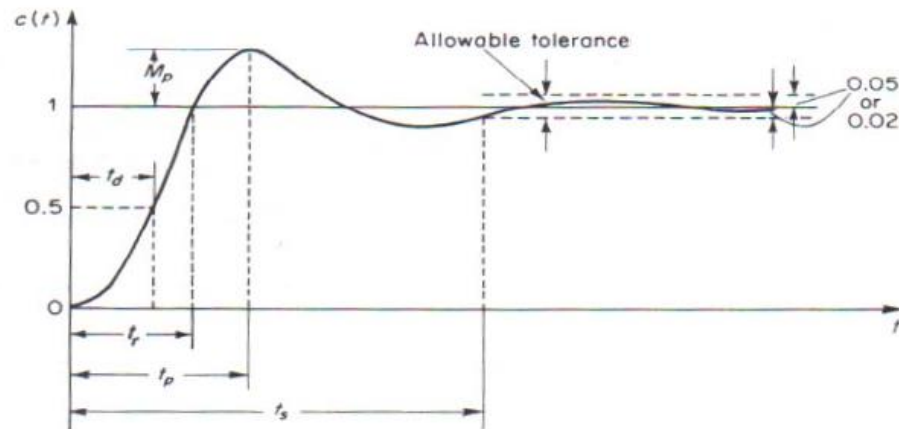
- 1) Waktu tunda (delay time), t_d : Waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah harga akhir yang pertama kali.
- 2) Waktu naik (rise time), t_r : waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10% sampai 90%, 5% sampai 95%, atau 0% sampai 100% dari harga akhir. Untuk orde dua redaman kurang, biasanya digunakan waktu naik 0 – 100%. Untuk sistem redaman lebih, biasanya digunakan waktu naik 10% - 90%.
- 3) Waktu puncak (peak time), t_p : waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak lewatan yang pertama kali.
- 4) Lewatan maksimum (maximum overshoot), M_p : harga puncak maksimum dari kurva respon yang diukur dari satu. Jika harga keadaan tunak respon tidak sama dengan satu, maka biasa digunakan persen lewatan maksimum. Parameter ini didefinisikan sebagai:

$$\text{Persen_lewatan_maksimum} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (1)$$

Besarnya (persen) lewatan maksimum secara langsung menunjukkan kestabilan relatif sistem.

- 5) Waktu penetapan (setting time), t_s : waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah di sekitar harga akhir yang diukur ditentukan dengan persentasi mutlak dari harga akhir (biasanya 5% atau 2%). Waktu penetapan ini dikaitkan dengan konstanta waktu terbesar dari sistem kontrol. Kriteria persentasi kesalahan yang akan digunakan

ditentukan dari sasaran disain sistem yang dinyatakan. Parameter ini ditunjukkan secara grafis pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19. Kurva Respon *Transient* [30].

2.13. SCADA Sistem

Sistem Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) menggabungkan *Programmable Logic Controllers* (PLC), *workstation Human Machine Interface* (HMI) dan sistem komunikasi jaringan ke dalam sistem terintegrasi yang lengkap. Masing-masing komponen utama memerlukan satu atau lebih bentuk pemrograman dari logika program hingga konfigurasi untuk memproses tampilan grafik hingga konfigurasi komunikasi. Karena ada banyak aspek pada perangkat lunak aplikasi SCADA, penting untuk menggunakan pendekatan terstruktur yang terorganisir untuk desain dan pengembangan perangkat lunak ini; karenanya, pembentukan standar sangat penting. [31]

2.13.1. Architecture.

Arsitektur Sistem SCADA banyak digunakan dalam aplikasi industri untuk mengontrol dan memantau sistem proses. Sistem SCADA umumnya terdiri dari komponen-komponen berikut: Operator, yang bertanggung jawab untuk memantau sistem, menangani peringatan, dan melakukan operasi kontrol yang diperlukan. Operator dapat ditempatkan di tempat organisasi atau dia dapat mengakses sistem dari jarak jauh melalui Internet [31].

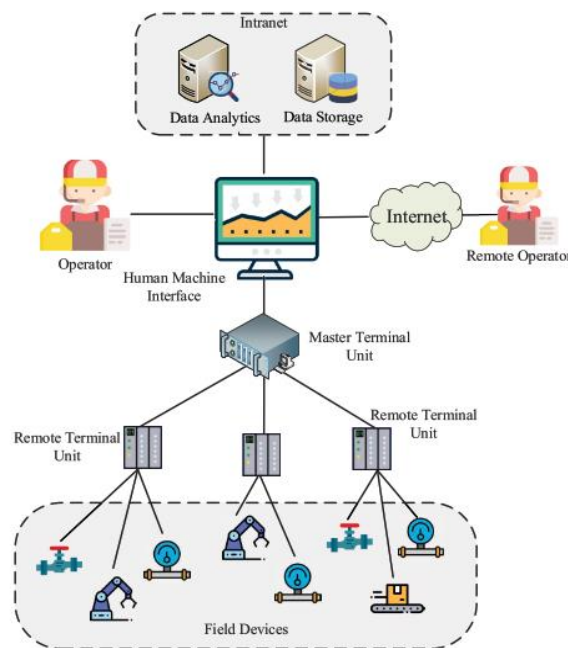
Untuk mewujudkan komunikasi yang berkelanjutan, andal, dan efisien antara komponen SCADA tersebut, protokol komunikasi tertentu telah dibuat. Protokol tersebut memperhitungkan kemampuan pemrosesan komponen dan kebutuhan komunikasi aplikasi industri. Bagian selanjutnya memberikan ikhtisar tentang protokol terkenal, bersama dengan spesifikasi teknis seperti topologi yang didukung, kecepatan data, struktur paket, dan teknologi lapisan jaringan. Tabel 2.4 memberikan ringkasan spesifikasi protokol yang dijelaskan di bagian ini. Kolom Infrastruktur Jaringan menunjukkan teknologi komunikasi dasar yang digunakan setiap protokol, sementara masing-masing topologi yang didukung dicantumkan di kolom Topologi. Kolom Data Rates dan Maximum Distance masing-masing mencantumkan kecepatan data yang didukung dan jarak maksimum perangkat dari pengontrolnya.

Tabel 2.4. SCADA Komunikasi Protokol [31].

Protocol	Network Infrastructure	Topologies	Data Rates	Maximum Distance
BITBUS	Fieldbus	Bus	62.5 Kbps, 375 Kbps, 1.5 Mbps	1200m
DC-BUS	2-wire cable	Line	115.2 Kbps up to 1.3 Mbps	100 km
Distributed Network Protocol 3	Ethernet	Line, Peer-to-Peer	100 Mbps, 1 Gbps	100m
EtherCAT	Ethernet	Ring, Line, Daisy-chain	100 Mbps	100m
Ethernet Powerlink	Ethernet	Tree, Line, Star, Peer-to-Peer	100 Mbps	100m
Foundation Fieldbus HI	Fieldbus	Point-to-point, Bus with Spur, Daisy-chain, Tree	31.25 Kbps	1900 m without repeater, 9500 m with up to 4 repeaters
Foundation HSE	Ethernet	Tree, Line, Star, Peer-to-Peer	100 Mbps	100m
HART	2-wire cable	Point-to-point, Multi-drop	1.2 Kbps	3 km
IEC 60870	Serial, Ethernet	Ring, Tree, Line, Star	N/A	N/A
IEC 61850	Ethernet	Ring, Tree, Line, Star	N/A	100m
Modbus	Serial, Ethernet	Line, Star, Ring, Mesh (MB+)	100 Mbps, 1 Gbps	N/A
PROFIBUS	Fieldbus	Point-to-point, Bus with spur, Daisy-chain, Tree	9.6 Kbps to 12 Mbps	100 to 1200m, 15km for optical channel
PROFINET	Ethernet	Ring, Tree, Line, Star	100 Mbps, 1 Gbps	100m
RAPIDnet	Ethernet	Line, Ring	100 Mbps	100m
SERCOS III	Ethernet	Line, Ring	100 Mbps, 1 Gbps	N/A
Unitronics PCOM	Serial, Ethernet	Ring, Line, Star	100 Mbps	100m
WorldFIP	Fieldbus	Bus	31.25 Kbps, 1 Mbps, 2.5 Mbps, 5 Mbps	1km

Human machine Interface (HMI), yang memfasilitasi interaksi antara operator dan sistem SCADA. HMI mengumpulkan informasi dari Master Terminal Unit dan menerjemahkan perintah kontrol dengan tepat. Intranet organisasi, yang terdiri dari komponen komputasi, jaringan, dan penyimpanan yang terletak di dalam organisasi. Ini

memfasilitasi pengoperasian sistem dengan menjalankan analitik pada data yang dikumpulkan dari perangkat lapangan. Master Terminal Unit (MTU), yang bertanggung jawab untuk mengumpulkan data dari terminal jarak jauh, mengirimkannya ke HMI, dan mengirimkan sinyal kontrol. Ini juga menyediakan logika kontrol tingkat tinggi untuk sistem. Unit Terminal Control/Remote Terminal Unit (RTU), yang bertukar data dan perintah dengan MTU dan mengirim sinyal kontrol yang ditentukan ke perangkat lapangan. Perangkat Lapangan, yang didistribusikan ke seluruh organisasi dan terdiri dari perangkat yang memantau dan mengontrol proses industri. Misalnya, sejumlah sensor digunakan untuk mengumpulkan data, sedangkan aktuator melakukan tindakan kontrol.



Gambar 2.20. Arsitektur Sistem SCADA [32].

Untuk mewujudkan komunikasi yang berkelanjutan, andal, dan efisien antara komponen SCADA tersebut, protokol komunikasi tertentu telah dibuat. Protokol tersebut memperhitungkan kemampuan pemrosesan komponen dan kebutuhan komunikasi aplikasi industri. Bagian selanjutnya memberikan ikhtisar tentang protokol, bersama dengan

spesifikasi teknis seperti topologi yang didukung, kecepatan data, struktur paket, dan teknologi lapisan jaringan. Pada Gambar 2.20 kolom Infrastruktur jaringan menunjukkan teknologi komunikasi dasar yang digunakan setiap protokol, sementara masing-masing topologi yang didukung dicantumkan di kolom topologi. Kolom Data Rates dan Maximum Distance masing-masing mencantumkan kecepatan data yang didukung dan jarak maksimum perangkat dari pengontrolnya [32].

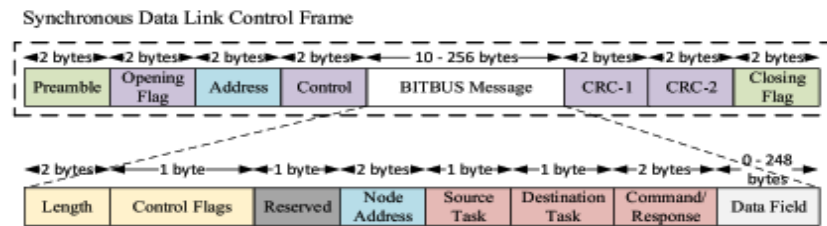
2.13.2. Protokol Berbasis Fieldbus.

Fieldbus adalah sistem jaringan untuk kontrol terdistribusi real-time dalam aplikasi industri. Ini memungkinkan perangkat koneksi seperti sensor, motor, dan aktuator, dengan pengontrol terkait. Fieldbus berbeda menurut topologi, media transmisi, dan protokol transmisi. Mereka juga berbeda dalam hal panjang kabel maksimum dan ukuran data maksimum per telegram.

Fieldbus menawarkan keuntungan tertentu dibandingkan dengan kabel paralel. Karena menggunakan satu kabel yang berjalan melalui semua perangkat, jaringan dapat dirancang dan digunakan lebih cepat. Jalur pendek antara perangkat meningkatkan ketersediaan dan keandalan jaringan. Penggunaan protokol standar memungkinkan koneksi peralatan dari produsen yang berbeda. Akhirnya, jaringan dapat dengan mudah dimodifikasi dan diperluas, untuk beradaptasi dengan kebutuhan masa depan [33].

BITBUS adalah implementasi terbuka dari protokol Fieldbus. Itu dapat diperpanjang hingga 1200 meter, sedangkan kecepatan data yang didukung adalah 62,5 Kbps, 365 Kbps, dan 1,5 Mbps, tergantung jaraknya. Interkoneksi didasarkan pada spesifikasi RS485, menggunakan kabel twisted pair. BITBUS didasarkan pada topologi bus, di mana maksimal 28 node dapat dihubungkan dalam satu segmen bus. Jumlah node dapat diperpanjang hingga 250, dengan menggunakan repeater dan menurunkan data rate. Setiap perangkat diberi alamat unik

dalam bentuk angka mulai dari 1 hingga 249. Alamat 255 dicadangkan sebagai alamat broadcast [33].

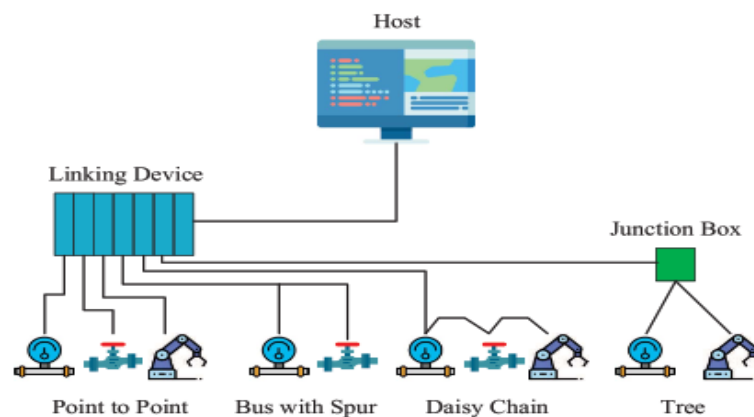


Gambar 2.21. Struktur Rangka BITBUS [33].

Gambar 2.21 menampilkan struktur pesan BITBUS, yang dikemas dalam bingkai Synchronous Data Link Control (SDLC). Frame dimulai dengan pembukaan 16-bit bersama dengan Opening flag yang unik (1 byte). Bidang Alamat (1-2 byte) berisi penerima pesan, sedangkan bidang Kontrol (1-2 byte) menentukan jenis bingkai. Bidang panjang menentukan ukuran pesan, sedangkan bidang MT, SE, DE, dan TR dicadangkan untuk informasi perutean. Alamat node berkisar antara 1-249 dan menentukan node tujuan. Tugas Sumber dan Tujuan masing-masing mengidentifikasi tugas yang menghasilkan perintah dan balasan. Kolom Command/Response berisi perintah yang harus dijalankan. Bidang Data memiliki panjang variabel dari 0 hingga 248 byte. Terakhir, dua field CRC dan flag Penutup ditambahkan oleh frame SDLC [33].

Foundation Fieldbus H1 adalah protokol komunikasi dua arah yang digunakan untuk komunikasi antara perangkat lapangan dan sistem kontrol. Setiap titik komunikasi pengontrol dapat terhubung hingga 32 node menggunakan kabel twisted pair atau fiber. Kecepatan data ditetapkan menjadi 31,25 Kbps dan jarak maksimum antara master dan slave adalah 1900 meter. Menggunakan hingga 4 repeater jarak dapat diperpanjang hingga 9500 meter. Setiap perangkat diberi alamat dalam bentuk angka mulai dari 1 hingga 255. Protokol tidak mendukung fungsi penyiaran [33].

Topologi yang didukung ditunjukkan pada Gambar 2.22. Perangkat penghubung bertindak sebagai antarmuka antara host dan perangkat lapangan. Topologi yang berbeda dapat direalisasikan, seperti Point-to-Point, Bus with Spurs, Daisy Chain dan Tree. Dalam topologi Point-to-Point, setiap perangkat bidang terhubung langsung ke Perangkat Penghubung. Topologi Bus dengan Spurs menggunakan bus tunggal yang menghubungkan perangkat lapangan [33].



Gambar 2.22. *Foundation Fieldbus H1 Topologies* [33].

Dalam topologi Daisy Chain, perangkat lapangan dihubungkan secara seri satu sama lain. Dalam topologi Pohon, Kotak Persimpangan digunakan sebagai konsentrator, di mana beberapa perangkat lapangan terhubung dengannya. Setelah memusatkan data dari perangkat, kotak sambungan meneruskannya ke Perangkat Penghubung.

Foundation Fieldbus H1 mendukung tiga metode komunikasi. Metode *Publisher/Subscriber* digunakan untuk akuisisi data real-time yang berkelanjutan dan dijadwalkan pada interval waktu tertentu. Metode *Klien/Server* terutama digunakan saat operator mengakses perangkat tertentu untuk mengubah variabel, mengelola alarm, dan menjalankan diagnostik. Metode Distribusi Laporan digunakan untuk alarm [33].

III. METODELOGI PENELITIAN.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Pengembangan alat rancang bangun, meliputi rancang bangun perangkat keras dan rancang bangun perangkat lunak. metode pengujian yang menjadi bahan penelitian adalah kadar air / *moisture content* pada lada hitam yang dimana sebuah perangkat sensor dituntut untuk bekerja dengan baik dalam keperluan kecepatan sensitivitas dalam pembacaan sensor. Perancangan perangkat lunak meliputi perancangan diagram alir program, Penulisan program dalam bahasa pemrograman PLC dan SCADA sebagai *human interface*.

Proses penelitian dimulai dari studi pustaka, yaitu mengumpulkan teori-teori pendukung penelitian yang berkaitan dengan pengembangan sistem alat pengering buatan dan sistem PLC-SCADA. Langkah selanjutnya adalah merancangan sistem berdasarkan teori-teori yang didapat. Analisa kebutuhan meliputi kebutuhan perangkat lunak dan perangkat keras sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Setelah semua komponen telah tersedia maka akan dilakukan proses integrasi perancangan sistem perangkat lunak dan perangkat keras secara terpisah. Setelah sistem perangkat lunak dan perangkat keras telah berhasil dibuat. Selanjutnya akan dilakukan proses pengujian sistem, jika pengujian berhasil maka penelitian akan selesai, maka akan dilakukan proses penerapan, yaitu penggabungan sistem perangkat lunak dan perangkat keras menjadi satu sistem yang saling berhubungan. jika pengujian belum berhasil maka proses akan kembali ke perancangan sistem untuk mengecek kembali rancangan yang kurang tepat.

3.1. Waktu dan Tempat.

Pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan pada bulan February 2024 sampai dengan February 2025, bertempat di gudang produksi PT. Agri Spice Indonesia,

Way Laga, Sukabumi, Bandar Lampung, Lampung. dimulai dari penyusunan proposal hingga pelaporan hasil penelitian.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lada hitam dengan kadar air rata-rata 18% dari hasil panen petani lada hitam, setelah melalui proses pengeringan dengan suhu tinggi (suhu udara tungku pengering 100 °C) melewati serangkaian mesin produksi yang saling berhubungan mulai *intake elevator*, ayak asalan /*grader raw material*, pencuci lada /*washing screw*, *intake elevator oven*, oven pengering lada /*drying oven* lada 3 dapur 1 pendingin, *intake elevator grader asta*, ayak asta/*grader asta*, *intake elevator spiral gravity*, alat pemisah gravitasi / *screw gravity*, *intake elevator xilo packaging*, penampung kemasan/*xilo packaging* sampai siap barang jadi di kirim / *eksport*. Pada Gambar 3.1 gambaran fisik mesin *drying oven* lada hitam.



Gambar 3.1. Mesin Proses Produksi Lada Hitam.

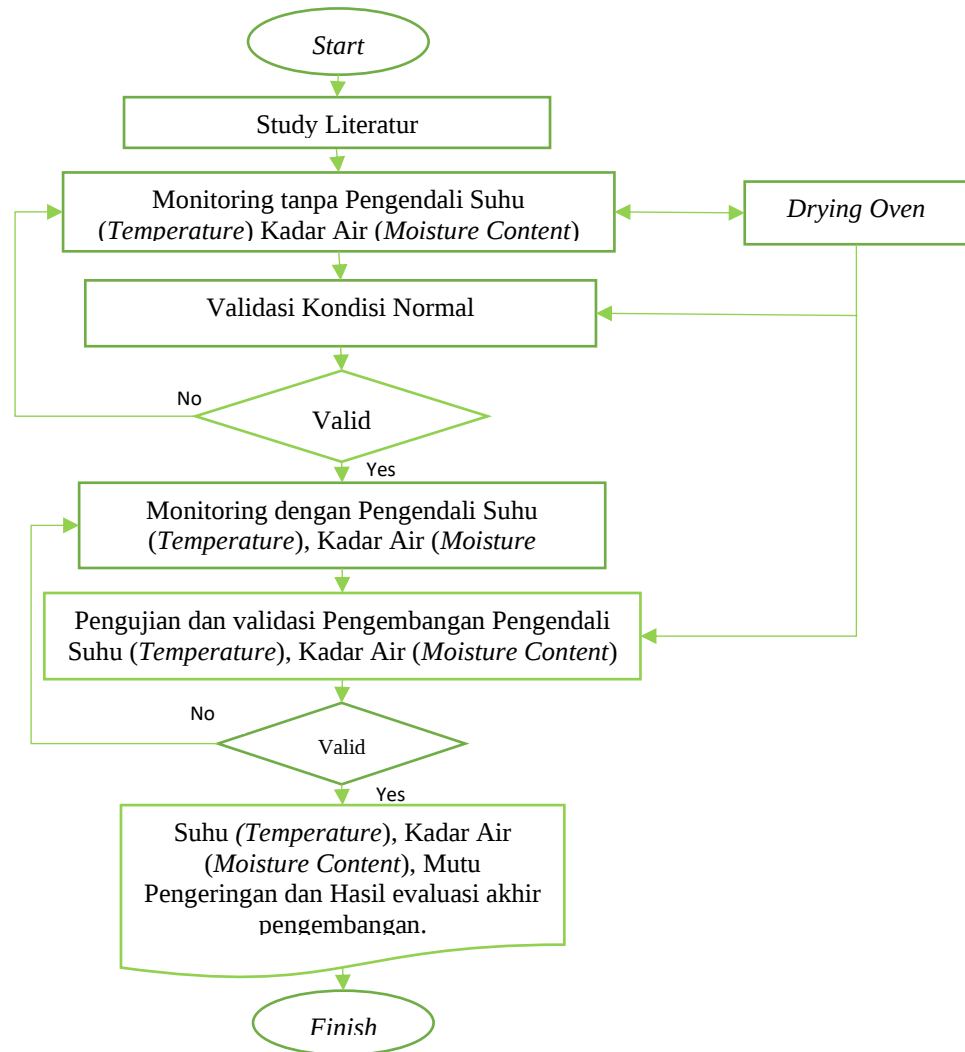
Peralatan ambahan yang digunakan meliputi, alat tes kadar air/ *moisture tester*, pengukur suhu /*thermometer*, timbangan digital dan personal computer (PC) dengan software SCADA Sistem. Bahan dan alat utama yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Table 3.2.

Tabel 3.1. Tabel Alat dan Bahan.

No.	Komponen	Jumlah
1.	Mesin <i>blower drying oven</i> 3 dapur	3 buah
2.	Kompor <i>burner/pemanas</i>	3 buah
3.	Motor <i>intake elevator grader raw material</i>	1 unit
4.	Motor <i>screw washing</i>	1 unit
5.	Motor <i>intake elevator drying oven</i>	1 unit
6.	Motor <i>speed feeder</i>	1 unit
7.	Motor <i>screw conveyor</i>	1 unit
8.	Motor <i>intake elevator grader Asta</i>	1 unit
9.	PLC Omron 40 I/O	1 buah
10.	Sensor PT100	3 buah
11.	Sensor THD Industri	3 buah
12.	Limit Switch	3 buah
13.	Kabel 2 x 1.5	1 rool
14.	Magnetic Contactor SN-10	14 buah
15.	Relay MK3P-220V	15 buah

3.3. Prosedur Penelitian.

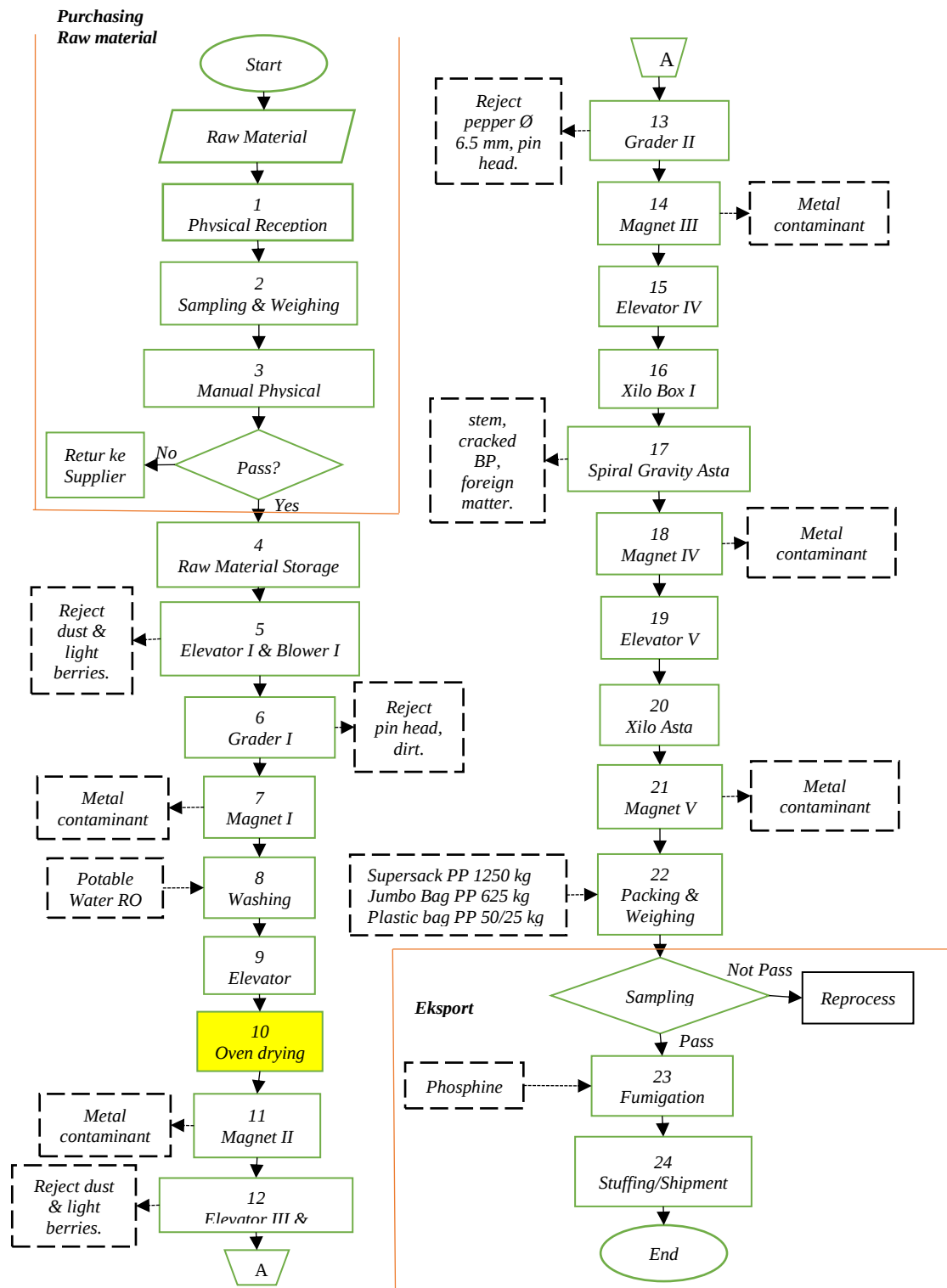
Prosedur atau langkah kerja pada penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir penelitian Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian.

3.4. Diagram Blok.

Proses Produksi lada hitam dari awal sampai akhir yang diawali dengan physical test dari hasil panen petani melalui beberapa tahapan proses sampai akhir akan diberangkatkan atau diekspor dapat dilihat pada gambar block diagram. Urutan pengolahan proses produksi lada hitam dari bahan, peralatan mesin yang digunakan saling berurutan sampai barang jadi /asta dapat dilihat pada Gambar 3.3.



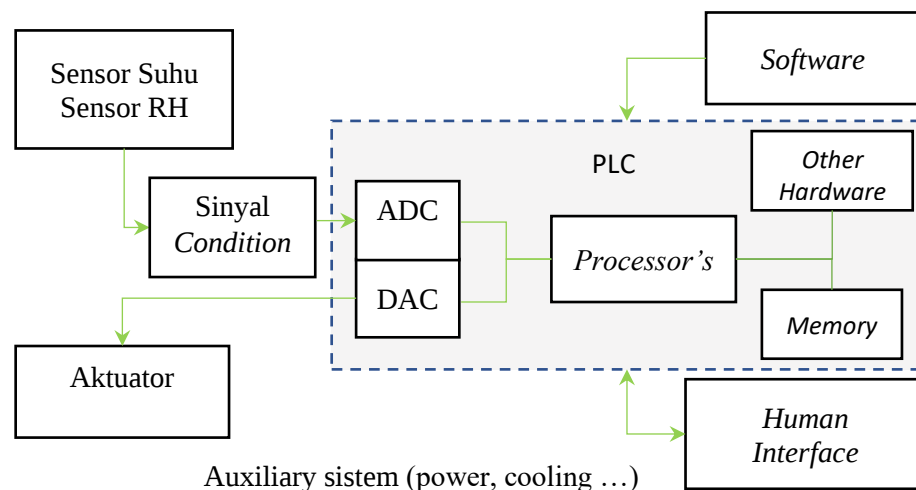
Gambar 3.3. Flowchart Proses Produksi Lada Hitam.

Alur proses produksi lada hitam dapat dilihat pada lini pengeringan /oven, peneliti melakukan penelitian pengembangan proses pengeringan lada hitam

pada *drying oven*. Dimana pada lini tersebut proses pengeringannya masih manual yang diawasi oleh operator. Dari serangkaian proses produksi pada mesin *drying oven* dibangun sebuah *sistem* monitoring suhu dan pengendalian kadar air tahap pengeringan akan dibangun jaringan sensor untuk memonitoring suhu dan mengontrol kadar air lada hitam.

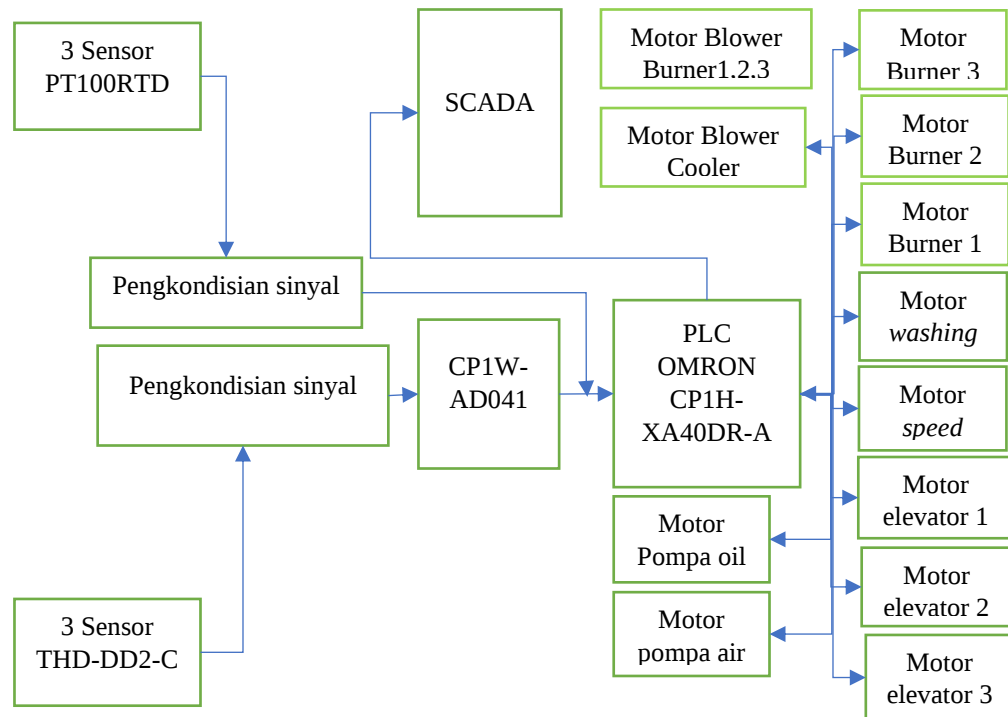
3.4.1. Blok Diagram Sistem Proses Produksi Drying Oven Lada Hitam.

Sensor suhu berfungsi sebagai sensing suhu dan sensor kelembapan sebagai sensing kadar air dimana sinyal masukannya akan dikondisikan menjadi sinyal analog ke sinyal digital yang akan diolah di PLC. Aktuator akan bekerja setelah PLC memberikan sinyal bekerja dimana sinyal keluaran digital dari PLC dikondisikan kembali menjadi sinyal analog. Untuk memonitoring dan mengontrol suhu dibutuhkan *software* dan *human interface* yang artinya perangkat yang digunakan oleh manusia untuk berinteraksi dengan komputer dimana pengguna komputer dan komputer menggunakan perangkat ini untuk berkomunikasi melalui rangkaian input dan output dari manusia ke komputer dan sebaliknya. Secara garis besar dibangun *realtime embedded sistem* seperti blok diagram pada Gambar 3.4.



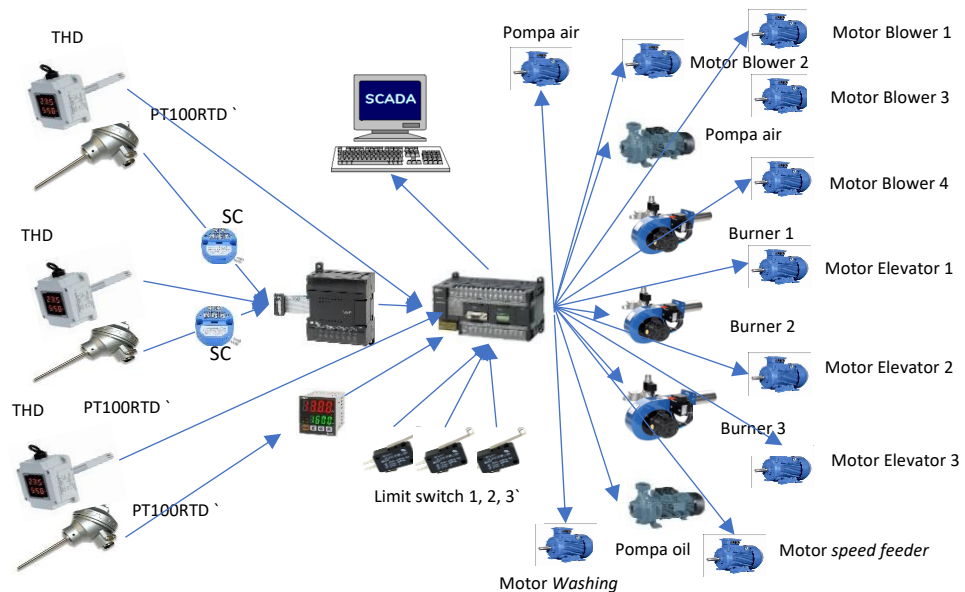
Gambar 3.4. Blok Diagram *Real-time Embedded Sistem*.

Dari block diagram diatas dapat dirancang sebuah *sistem* perangkat untuk *memonitoring* dan mengontrol kadar air lada hitam seperti gambar blok diagram alir pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Blok Diagram Perancangan Sistem *Drying Oven*.

Pada Gambar 3.6 menunjukkan *sistem* terdiri dari sensor suhu / *temperature* untuk mengontrol suhu yang di inginkan dan sensor kelembapan udara / *relative humidity* untuk mengontrol kadar air / *moisture content*. Aktuator terdiri dari tiga keluaran/ output suhu untuk menghidupkan level motor *burner* 1, 2 dan 3. Untuk aktuator pompa air, pompa minyak 3 motor *elevator*, motor *speed feeder* dan motor *screw conveyor*. *Sistem* menggunakan 1 plant PLC digunakan sebagai kontroler yang dapat berkomunikasi dengan SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Data-data dari PLC akan dibaca oleh SCADA, kemudian data- data tersebut akan diolah oleh sistem *monitoring*.



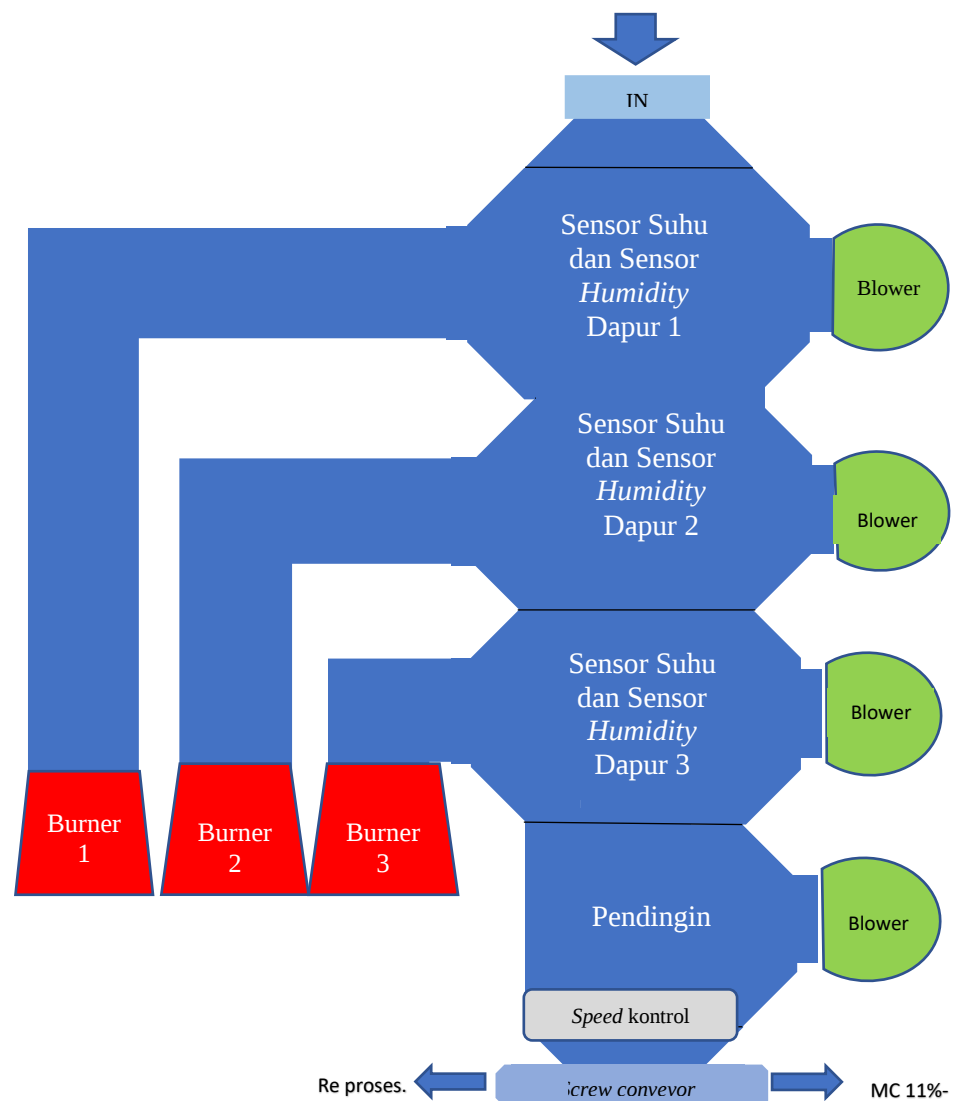
Gambar 3.6. Diagram Alir Komponen Proses Drying Oven.

Perancangan perangkat keras yang digunakan dalam proses *drying oven* lada hitam akan dipasang atau diletakkan beberapa komponen untuk memanaskan ruang dapur untuk membangun *sistem monitoring* dan mengontrol suhu ruang dapur serta kadar air lada hitam dalam ruang dapur. Secara garis besar *sistem* yang dibangun dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6. Dalam perancangan bagian input akan diletakkan 3 buah sensor *temperature* dan 3 buah sensor *humidity* pada 3 dapur oven dan 1 dapur pendingin. 3 buah sensor suhu / *temperature* mempunyai fungsi untuk mengetahui atau mendeteksi nilai suhu pada tiap dapur. 3 buah sensor kelembapan *humidity* mempunyai fungsi mengetahui atau mendeteksi kadar air lada hitam pada dapur tiap dapur.

Bagian output yang dikendalikan oleh PLC yaitu aktuator berupa 3 motor burner sebagai komponen pemanas berfungsi sebagai media pemanas bagi dapur level 1, level 2 dan level 3 pada oven, 3 motor *elevator*, 2 motor pompa, motor *speed feeder* dan motor *screw conveyor*. 4 motor blower hisap sebagai komponen pendingin berfungsi sebagai media pendingin atau pembuangan panas bagi tiap tiap dapur oven. Selain itu, PLC juga akan dikontrol dan dimonitor dengan komputer untuk setiap

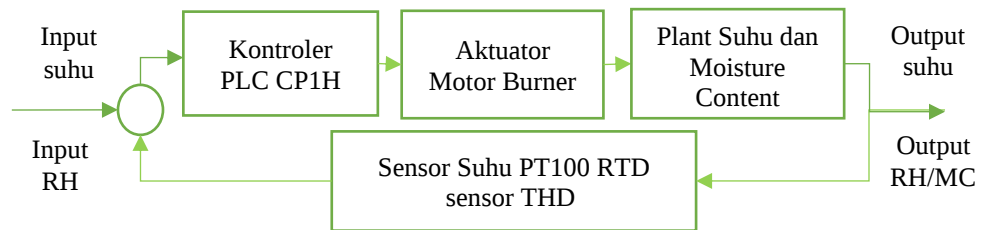
prosesnya. Pengontrolan dan proses monitoring tersebut dinamakan SCADA.

Secara garis besar perancangan pengembangan penelitian mesin drying oven lada hitam dapat dilihat secara keseluruhan pada Gambar 3.7. Peletakan sensor berada di tengah dapur sisi kanan dekat dengan *blower* hisap. Dimana peletakan sensor ini diharapkan dapat mendeteksi suhu dan kelembapan pada ruang dapur yang arus udara panas yang dihisap oleh *blower* dengan kecepatan putaran motor yang konstan 1500 rpm.



Gambar 3.7. Perancangan Keseluruhan Sensor Proses Pengeringan Lada Hitam.

Panas suhu dapur 1, 2 dan 3 akan di *set point* atau dikontrol berdasar kadar air atau kelembapan lada hitam yang dikeringkan pada tiap tiap dapur masing masing. Pengontrolan secara garis besar dapat dilihat pada Gambar 3.8. Dengan diterapkannya *sistem control* dengan *loop* tertutup diharapkan mampu mengontrol suhu dan kelembapan kadar air lada hitam.



Gambar 3.8. Blok Diagram Sistem Kontrol Suhu dan Kadar Air Drying Oven.

Kondisi fisik pada alat pengering lada hitam yang akan dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 3.9. Dimana tiap dapur disusun bertingkat dari dapur 1 paling atas sampai dapur 3 setelah itu baru dapur pendingin. Lada hitam yang akan masuk ke dapur 1 sebelumnya dicuci menggunakan air bersih yang telah diproses melewati proses ionisasi, filterisasi dan sinar ultraviolet sehingga menjadi air steril yang digunakan membersihkan membersihkan lada. Lada yang telah dicuci akan masuk keatas dengan bucket elevator masuk ke dapur 1.

Pada tahap awal sebelum proses pengeringan atau motor burner menyala ruang dapur 1, 2, 3 dan pendingin harus diisi penuh dahulu oleh lada hitam yang akan dikeringkan. setelah penuh proses pengeringan segera dimulai dengan menyalanya motor burner pada tiap- tiap dapur. Pengeringan pada tahap awal akan diputar balik kembali keatas dari dapur pendingin dengan membuka lubang outlet reproses masuk ke bucket elevator masuk kembali ke dapur 1 dengan adanya gaya gravitasi lada hitam akan turun dapur 1, 2, 3, akan mengalami proses pemanasan dan kembali lagi ke pendingin. Pada saat lahitam di dapur pendingin

diharapkan sudah kering sesuai kadar air yang di inginkan yaitu antara 11 % sampai dengan 12%.



1. Elevator, *Grader Row Material*



2. *Washing Screw*



3. Elevator dan *Drying oven.*



4. *Screw Feeder Speed.*



5. Ruang dalam dapur depan.



6. Ruang dalam Dapur Belakang.



7. Hole Depan Ruang Pendingin.



8. Elevator, *Grader* Drying oven



9. Gambar Burner Pemanas 1, 2 dan 3.



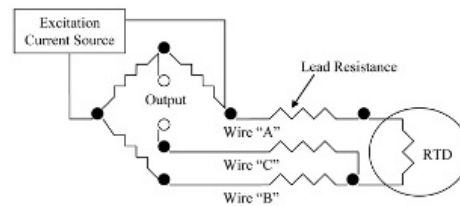
Gambar 3.9. Kondisi Fisik Alat Pengering Lada Hitam.

3.4.2. Blok Perancangan Rangkaian Pengkondisian Sinyal.

1) Blok Sensor PT100RTD.

Rangkaian pengkondisi sinyal dibutuhkan untuk memperoleh tegangan referensi pada CP1W-AD041 maka tegangan output dari sensor suhu PT100RTD -50°C - 250°C harus disesuaikan. Dalam konfigurasi RTD 3 wire ini, kabel “A” dan “B” harus memiliki kedekatan atau panjang yang sama. Panjang kabel ini sangat berarti karena tujuan dari jembatan wheatstone adalah untuk membuat impedansi dari kabel A dan B. Dan kabel

C berfungsi sebagai pembawa arus yang sangat kecil, seperti pada rangkaian struktur sensor Gambar 3.10.



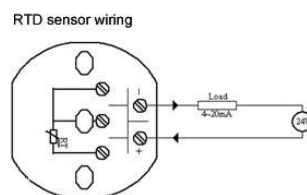
Gambar 3.10. Struktur Sensor PT100RTD Rangkaian Rasiometrik 3 Wire.

Rangkaian pengkondisi sinyal berisi tentang rangkaian penguat non inverting dengan besarnya penguatan disesuaikan dengan karakteristik dari CP1W-AD041. Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal selengkapnya dapat dilihat blok diagram Gambar 3.12 dan Gambar 3.13 adalah sebagai berikut:

Diketahui : Range Hambatan in $80.31\Omega - 194.10\Omega$.

Permasalahan: Diinginkan tegangan referensi pada CP1W-AD041 sebesar $4\text{mA} - 20\text{mA}$.

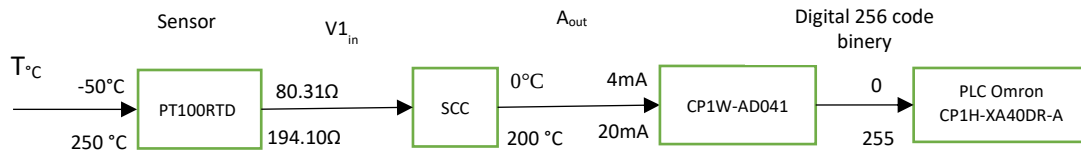
Penyelesaian: Diperlukan rangkaian pengkondisi sinyal yang dapat menghasilkan tegangan keluaran (V_{out}) sebesar 10V dengan mengkonversikan perubahan arus menjadi tegangan. Suhu pada sensor PT100RTD pada suhu 0°C resistansi sama dengan 100Ω dan pada suhu 100°C resistansi sama dengan 138.51Ω [14]. Rangkaian pengkondisian sinyal yang akan dibangun menggunakan transmitter pengkondisian sinyal dengan range 0°C sampai dengan 200°C seperti Gambar 3.11 dengan keluaran referensi 4mA sampai dengan 20mA dengan tegangan masukan 24Volt DC .



Gambar 3.11. RTD Sensor Wiring Transmitter Pengkondisian Sinyal.



Gambar 3.12. Blok Diagram Pengkondisian Sinyal Sensor Suhu PT100RTD.



Gambar 3.13. Block Diagram Perancangan Sensor Suhu PT100RTD.

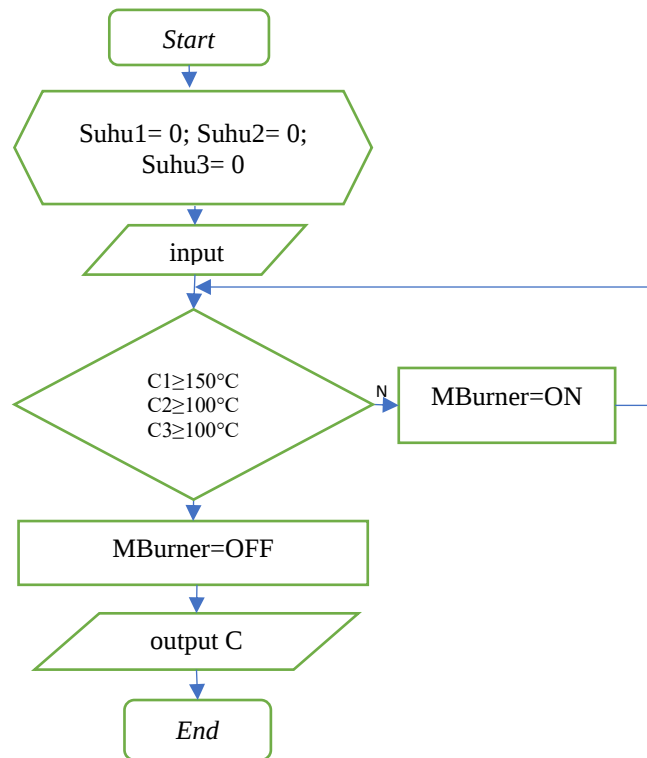
Rangkaian penguat tegangan bisa tidak dibutuhkan karena tersedianya pilihan arus input pada CP1W-AD041 4mA – 20mA. Keluaran arus sensor dan panjang kabel koneksi antara sensor ke ADC tidak mengalami drop arus/ tegangan sehingga masukan arus ke ADC A_{out} masih terpenuhi sebesar.

Mesin drying oven lada hitam dipasang 3 sensor suhu Type PT100 RTD pada ruang dapur level 1, 2 dan 3. Sensor ini bertujuan memonitoring suhu ruang tiap dapur.

Sensor ini sebagai masukan suhu panas pada dapur dimana akan diset point berdasarkan nilai kelembapan kadar air lada hitam pada tiap dapur, nilai suhu udara dapur diset seperti Table 3.3 dan Gambar 3.14.

Tabel 3.2. Nilai Variabel Suhu Set Point.

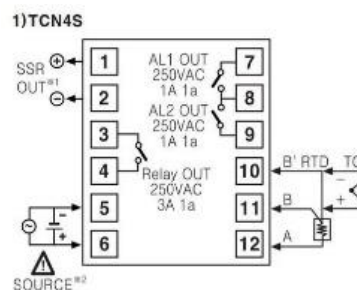
Input	Output	Set Point	Nilai
Sensor PT100RTD		Tungku 1	150°C
		Tungku 2	100°C
		Tungku 3	100°C
	Motor Burner	Dapur 1	T <150°C
		Dapur 2	T >100°C
		Dapur 3	T >100°C



Gambar 3.14. Diagram Alir (*flowchart*) Pengendalian Suhu.

2) Blok Sensor PT100RTD dan TCN4S-24R.

Rangkaian sensor PT100RTD terhubung transmiter sinyal kondisi TCN4S-24R dibutuhkan untuk memperoleh tegangan referensi pada PLC CP1H-XA-40DR-A berupa tegangan output 0 dan 1 dimana logika 1 mempunyai nilai 24 V sebagai input digital pada PLC. Output relay akan terhubung ke input digital. Rangkaian fungsi dan blok diagram dapat dilihat pada Gambar 3.15 dan Gambar 3.16.



Gambar 3.15. Skema Autonic TCN4S-24R.



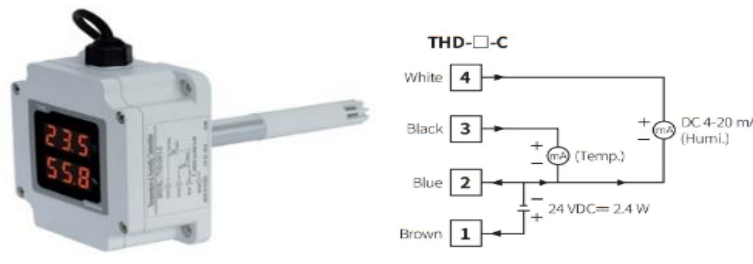
Gambar 3.16. Blok Diagram Trasmitter TCN4S-24R dan Sensor Suhu PT100RTD.

3.4.3. Blok Diagram Perancangan Sensor Kelembapan.

Mesin drying oven lada hitam dipasang 3 sensor Kelembapan autonic tipe THD-DD2-C *Industrial Probe* pada ruang dapur level 1, 2 dan 3 pada bidang yang kontak langsung dengan lada hitam. Sensor ini bertujuan memonitoring kelembapan ruang tiap tiap dapur dan suhu panas dari dapur kompor setelah diserap lada pada tiap-tiap dapurnya. Suhu dan kelembapan diset sesuai dengan nilai keanggotanya sesuai dengan Tabel 3.4 dan Gambar 3.19 pada dapur 1, dapur 2 dan dapur 3. Block diagram perancangan sensor autonic THD-DD2-C dapat dilihat pada Gambar 3.17 dan Gambar 3.18.

Tabel 3 3. Variabel Pengontrolan Suhu dan Kelembapan.

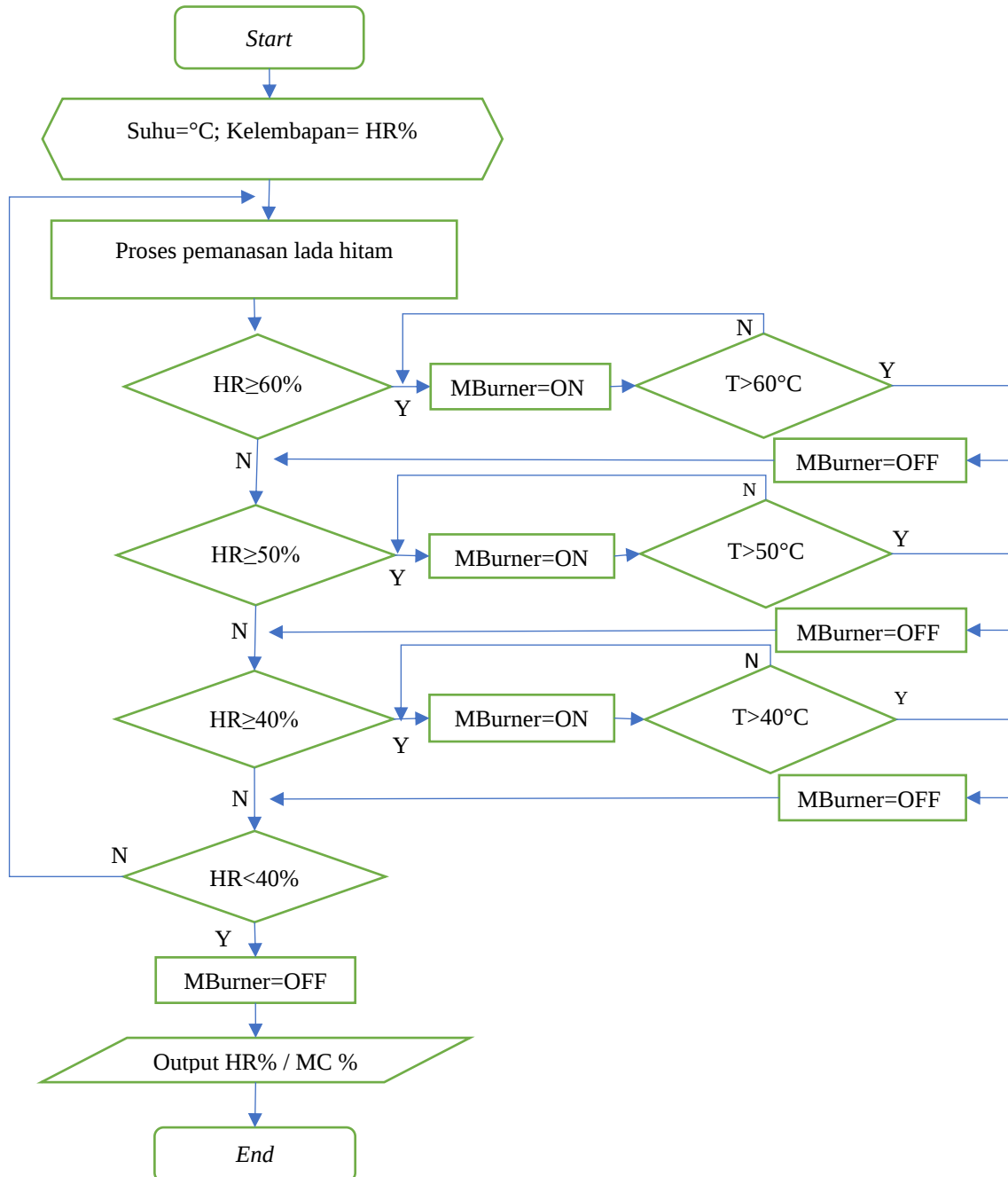
Input	Output	Kondisi	Nilai Suhu dan Kelembapan
Sensor THD		Basah	MC % > 12%; HR% > 60%
		Sedang	13% $\geq$ MC% $\geq$ 12%; 60%> HR%>50%
		Normal	12% $\geq$ MC% $\geq$ 11%; 50%> HR%>40%
		Kekeringan	MC % < 11% HR % < 40%
	Motor Burner	OFF Suhu Kamar	T>60°C; MC%<11%; HR%<40%
		ON Tinggi	T $\leq$ 60°C; MC %>12%; HR % $\geq$ 60%;
		ON Sedang	T $\geq$ 50°C; 12%>MC% >11.5%; 50% $\geq$ HR% >60%
		ON Normal	T $\geq$ 40°C; 11.5% >MC% >11%; 40% $\geq$ HR% >50%



Gambar 3.17. Skema THD-DD2-C *Industrial Probe*.



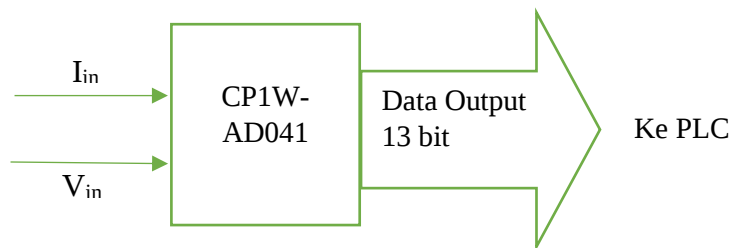
Gambar 3.18. Blok Diagram Perancangan Sensor Autonic THD-DD2-C.



Gambar 3.19. Block Diagram Alir Perancangan Sensor Autonic THD-DD2-C.

3.4.4. Perancangan ADC (Analog to Digital Converter).

ADC (Analog to Digital Converter) merupakan komponen pengubah data analog menjadi data digital. Dalam perancangan ini, ADC yang dipakai adalah CP1W-AD041 produksi OMRON AD041 ini memiliki empat jenis input yaitu V1, I1, V2, I2 dan dua output Vout dan Iout, dengan data digital sebanyak 13 bit. Dalam perancangan ini CP1W-AD041 difungsikan untuk dua input tegangan dan output 13 bit data [35]. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.20 dan Gambar 3.21.



Gambar 3.20. ADC (Analog to Digital Converter).



Gambar 3.21. PLC CPIW-AD041 ADC (Analog to Digital Converter).

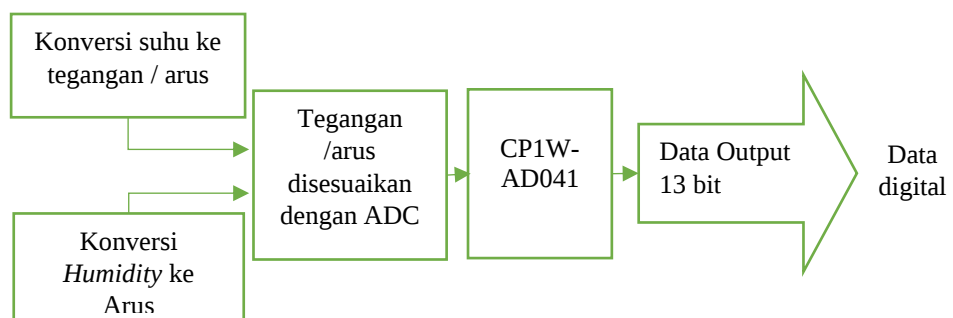
I_{in} pada ADC adalah I_{out} pada rangkaian pengkondisi sinyal yaitu antara 4mA s/d 20mA. Oleh karena itu, set range ADC yang dipakai 1770 (hex). Hasil output dari ADC adalah antara 0000 0000 0000 0000 s/d 0001011101110000 (bin) atau 0000 s/d 1770 (hex).

V_{in} pada ADC adalah V_{out} pada rangkaian pengkondisi sinyal yaitu antara 0 s/d 10 V. Oleh karena itu, set range ADC yang dipakai adalah 1770. Hasil output dari ADC adalah antara 0000 0000 0000 0000 s/d 0001011101110000 (bin) atau 0000 s/d 1770 (hex). Sedangkan range suhu dari 0 % s/d 100%. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses konversi data analog ke data digital ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.4. Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap Proses Konversi Data Analog ke Data Digital.

Pengaruh perubahan <i>humidity</i> terhadap tegangan (V/%RH)	10 mV/ %RH
Pengaruh perubahan tegangan terhadap data digital output ADC (V/ bit)	$\frac{10 V}{6000 - 1} = 0.00162 \frac{V}{bit}$ (1 bit = 39 mV)
Pengaruh perubahan <i>humidity</i> terhadap data digital output ADC (%RH/ bit)	$\frac{100 \%RH}{6000 - 1} = 0.016 \% \frac{RH}{bit}$ 0,016%RH/bit atau 1 bit = 0,016%RH

Tabel 3.5 digunakan sebagai acuan untuk memperhitungkan proses perubahan data analog ke digital setiap bit antara *humidity* 00 RH s/d 100 RH. Ilustrasi konversi data analog ke data digital dapat dilihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22. Ilustrasi Konversi Data Analog ke Data Digital melalui ADC.

Ilustrasi konversi suhu dan *humidity* ke ADC merupakan urutan-urutan dari proses pengkonversian data analog menjadi data digital. Penampil suhu dan *humidity* dari hasil pengkonversian data analog ke data digital diatur di bagian SCADA. SCADA dapat mengkopi data suhu yang telah tersimpan pada Data Memory (DM) di dalam PLC sehingga data-data suhu dan *humidity* tersebut dapat dipantau melalui komputer. Perhitungan konversi data analog ke data digital disajikan pada Tabel 3.6 Tabel 3.7. Tabel 37 dan Tabel 3.8.

Tabel 3.5. Perhitungan Konversi Data analog ke Data Digital Sensor Suhu melalui ADC.

Suhu sensor PT100RTD °C (Celsius)	Output Rangkaian Pengkondisian sinyal Ω (Ohm)	Suhu sensor sinyal kondisi °C (Celsius)	Output Rangkaian Pengkondisian sinyal mA (Ampere)	Output ADC CP1W-AD041 (Bilangan Hex)	Resolusi PLC-CP1H-XA40DR-A (bil Decimal)
-50	81,18	-	4,00	4	-
0	100,00	33,33	6,67	6	1.000,00
50	118,82	66,67	9,33	9	2.000,00
100	137,64	100,00	12,00	B	3.000,00
150	156,46	133,33	14,67	E	4.000,00
200	175,28	166,67	17,33	11	5.000,00
250	194,10	200,00	20,00	14	6.000,00

Tabel 3.6. Perhitungan Konversi Data Analog ke Data Digital Sensor THD Suhu melalui ADC.

Suhu pada sensor THD °C (Celsius)	Output Rangkaian Pengkondisian sinyal Ω (Ohm)	Output Rangkaian Pengkondisian sinyal mA (Ampere)	Output ADC CP1W-AD041 (Bilangan Hexa)	Resolusi PLC-CP1H-XA40DR-A (bil Decimal)
-20	92,24	4,00	4	-
-10	96,12	6,00	6	750,00
0	100,00	8,00	8	1.500,00
10	103,88	10,00	A	2.250,00
20	107,76	12,00	C	3.000,00

30	111,64	14,00	E	3.750,00
40	115,52	16,00	10	4.500,00
50	119,40	18,00	12	5.250,00
60	123,28	20,00	14	6.000,00

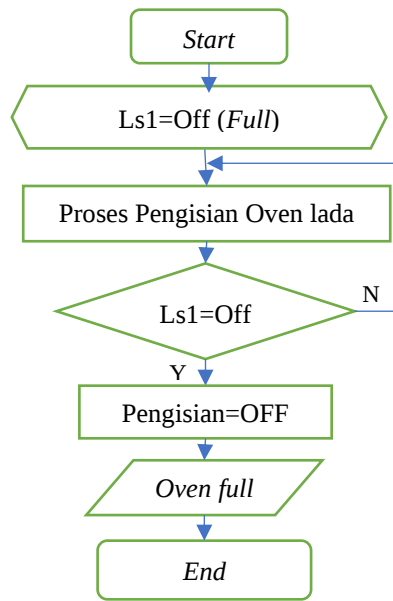
Tabel 3.7. Perhitungan Konversi Data Analog ke Data Digital Sensor THD *Humidity*.

Humidity pada sensor THD %RH	Output Rangkaian Pengkondisian sinyal mA (Ampere)	Output ADC CP1W-AD041 (Bilangan Hexa)	Resolusi PLC-CP1H-XA40DR-A (bil Decimal))
-	4,00	4	-
10,00	5,60	5	600,00
20,00	7,20	7	1.200,00
30,00	8,80	8	1.800,00
40,00	10,40	A	2.400,00
50,00	12,00	C	3.000,00
60,00	13,60	D	3.600,00
70,00	15,20	F	4.200,00
80,00	16,80	10	4.800,00
90,00	18,40	12	5.400,00
100,00	20,00	14	6.000,00

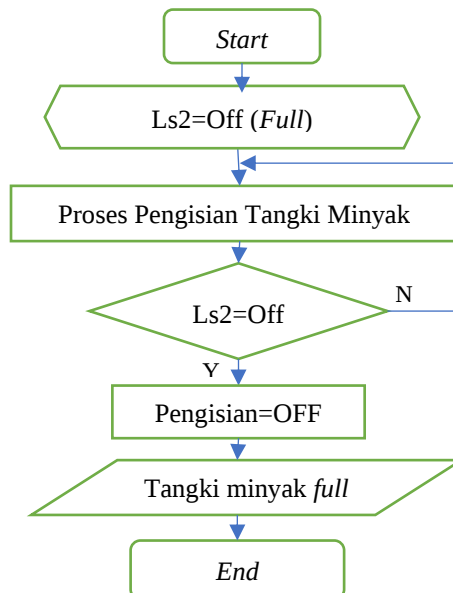
Perhitungan konversi data analog ke data digital melalui ADC yang ditunjukkan dalam Tabel diatas merupakan data-data yang ideal. Data tegangan output pada rangkaian pengkondisi sinyal sangatlah mungkin memiliki error. Error yang terjadi disebabkan oleh tidak tersedianya komponen-komponen pendukung yang ideal. Error pada rangkaian pengkondisi sinyal juga dapat mempengaruhi data-data analog yang akan dikonversi menjadi data-data digital.

Pada tahap awal sebelum proses pengeringan atau motor burner menyala ruang dapur 1, 2, 3 dan pendingin harus diisi penuh dahulu oleh lada hitam yang akan dikeringkan, dibarengi dengan pengisian tangki air bertujuan untuk pencucian lada hitam dan tangki minyak yang bertujuan sebagai

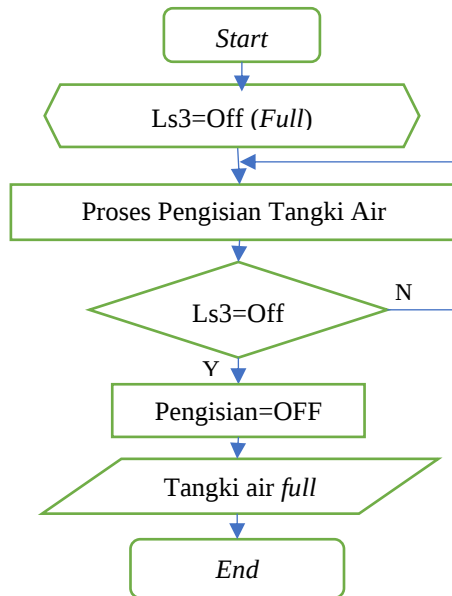
bahan bakar. setelah terisi penuh semua proses pengeringan segera dimulai dengan menyalanya motor burner pada tiap-tiap dapur dan pencucian lada hitam *screw washing*. Tahapan proses diagram alir pengisian oven, tangki minyak dan bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 3.23, Gambar 3.24 dan Gambar 3.25.



Gambar 3.23. Diagram Alir (*flowchart*) Pengisian Oven Lada.

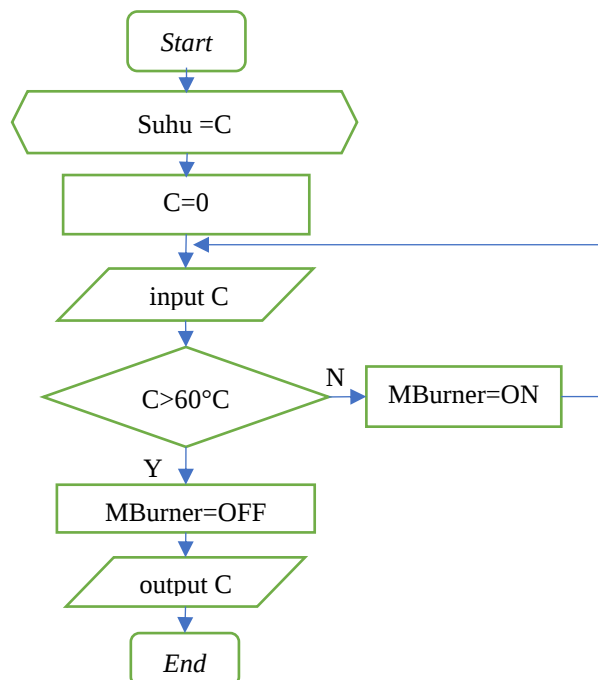


Gambar 3.24. Diagram Alir (*flowchart*) Pengisian Tangki Minyak.



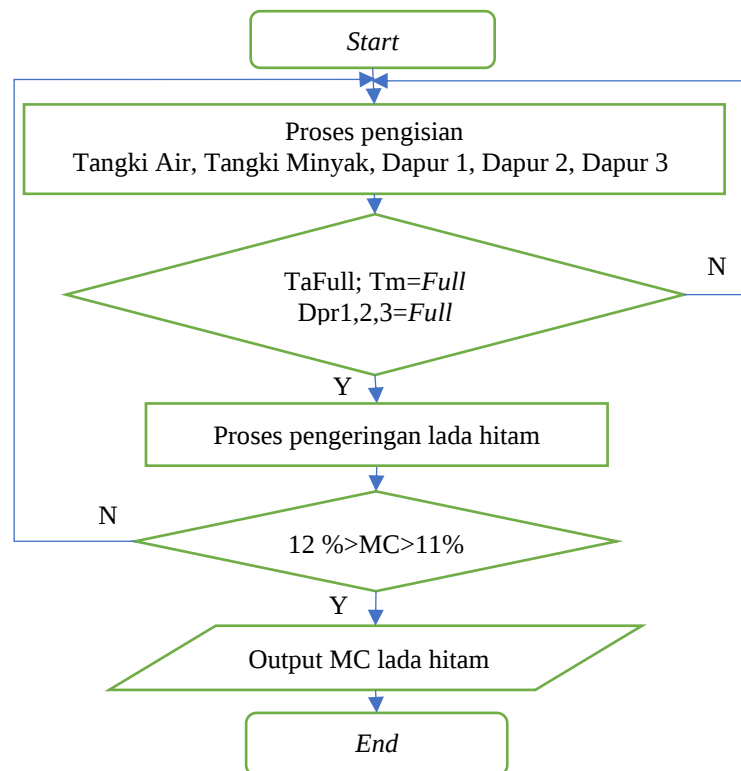
Gambar 3.25. Diagram Alir (*flowchart*) Pengisian Tangki Air.

Dengan penuhnya lada hitam dioven dilanjutkan dengan nyalanya kompor pemanas pada tiap-tiap dapur dengan pengendalian suhu maksimal yang telah terserap lada hitam pada tiap tiap dapur yang terisi lada hitam sebesar 60°C. Diagram alir pengendalian suhu maksimal pada Gambar 3.26.



Gambar 3.26. Diagram Alir (*flowchart*) Pengendalian Suhu Maksimal Lada Hitam.

Pengeringan pada tahap awal akan diputar balik kembali keatas dari dapur pendingin dengan membuka lubang outlet reproses masuk ke *bucket elevator* masuk kembali ke dapur 1 dengan adanya gaya gravitasi lada hitam akan turun dapur 1, 2, 3, akan mengalami proses pemanasan dan kembali lagi ke pendingin. Pada saat lada hitam di dapur pendingin diharapkan sudah kering sesuai kadar air yang di inginkan yaitu antara 11 % sampai dengan 12%. Secara garis besar tahapan proses pengeringan lada hitam dimana kondisi pada saat mulai pengeringan berjalan mempunyai prasyarat harus kondisi tangki air, tangka minyak, dapur oven harus penuh atau terisi. Bertujuan *supply* air yang digunakan untuk mencuci lada hitam yang akan dikeringkan tidak boleh terhenti dan *supply* bahan bakar minyak untuk menyalakan motor burner, begitu pula lada hitam didalam dapur tidak boleh kosong yang mengakibatkan suhu panas akan langsung terkena pada motor *blower* hisap. Tahapan dapat dilihat pada blok diagram alir proses pengering pada Gambar 3.27.



Gambar 3.27. Blok Diagram Alir Tahapan Proses Pengeringan Lada Hitam.

3.4.5. Pengkabelan serta Penentuan Alamat-Alamat Input ke PLC.

Seperti yang telah dituliskan dalam diagram blok pada Gambar 3.5, konfigurasi masukan ke PLC terdiri dari dua macam sensor, yaitu sensor suhu dan sensor kelembapan / *humidity*. Sensor suhu bertujuan sebagai sensor deteksi panas pada ruang dapur dan sensor kelembapan untuk mendeteksi kadar air lada hitam. Sensor pendeteksi panas pada ruang dapur terdiri dari 3 sensor PT100RTD pada tiap dapur, begitu pula dengan sensor kelembapan 1, 2, dan 3.

Pengkabelan dari sensor pendeteksi panas dapat dilakukan secara langsung ke PLC dengan sumber tegangan sebesar 24 V. Sumber tegangan 24 V diambil dari tegangan output dari PLC. Sensor suhu dapur 1, 2 dan 3 diletakkan pada alamat input 0.00, 0.01 dan 0.02. Pengkabelan sensor kelembapan tidak dapat dilakukan secara langsung ke PLC karena harus melewati rangkaian pengkondisi sinyal dan CP1W-AD041 sebagai ADC. Sensor kelembapan memerlukan sumber tegangan sebesar 24 V.

1) Alamat Input Analog.

Keluaran sensor analog yang melewati pengkondisian sinyal atau langsung terhubung langsung ke input analog CP1H-XA40DR-A dan CP1W-AD041 sesuai Tabel 3.9.

Tabel 3.8. Alamat Input Analog dari Sensor.

CP1H-XA40DR-A CP1W-AD041					
No	Sensor	Fungsi	Saluran	Alamat	Data Memori
1	THD1	Suhu	Chanel 1	200	W0
2		Kelembapan	Chanel 2	201	W2
3	PT1001	Suhu	Chanel 3	202	W4
4	PT1002	Suhu	Chanel 4	203	W6
CP1W-AD041					
1	THD2	Suhu	Chanel 1	D0	D10
2		Kelembapan	Chanel 2	D1	D15
3	THD3	Suhu	Chanel 3	D2	D20
4		Kelembapan	Chanel 4	D3	D25

2) Alamat Input Digital.

Keluaran Limit switch yang langsung terhubung langsung ke input Digital CP1H-XA40DR-A sesuai Tabel 3.10 berikut dibawah ini.

Tabel 3.9. Alamat Input Digital.

No	Jenis Saklar	Fungsi	Aktuator	Saluran	Alamat
1	Push bottom	Start	Sistem on	Chanel 0	00
2	Push bottom	Stop	Sistem off	Chanel 0	01
3	Limit switch 1	On/Off	M. Air	Chanel 0	02
4	Limit switch 2	On/Off	M. minyak	Chanel 0	03
5	Limit switch 3	On/Off	M. isi lada	Chanel 0	04
6	Relay autonic	On/Off	Burner 3	Chanel 0	05

3) Alamat Output Digital.

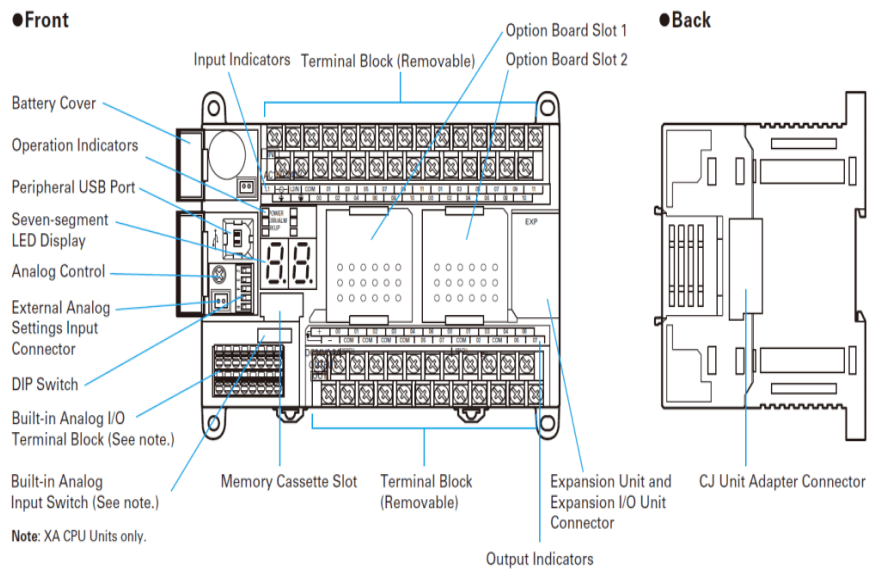
Keluaran PLC CP1H-XA40DR-A yang langsung terhubung langsung ke relay untuk memicu kontaktor untuk menghidupkan motor-motor dinamo sebagai aktuator dapat dilihat pada table Tabel 3.11.

Tabel 3.10. Alamat Output Digital.

No	Jenis Saklar	Aktuator Motor	Saluran	Alamat
1	Kontactor 1	Blower 1	Chanel 100	00
2	Kontactor 2	Blower 2	Chanel 100	01
3	Kontactor 3	Blower 3	Chanel 100	02
4	Kontactor 4	Blower 4	Chanel 100	03
5	Kontactor 5	Elevator 1	Chanel 100	04
6	Kontactor 6	Elevator 2	Chanel 100	05
7	Kontactor 7	Elevator 3	Chanel 100	06
8	Kontactor 8	Burner 1	Chanel 100	07
9	Kontactor 9	Burner 2	Chanel 101	00
10	Kontactor 10	Burner 3	Chanel 101	01
11	Kontactor 11	Pompa air	Chanel 101	02
12	Kontactor 12	Pompa oil	Chanel 101	03

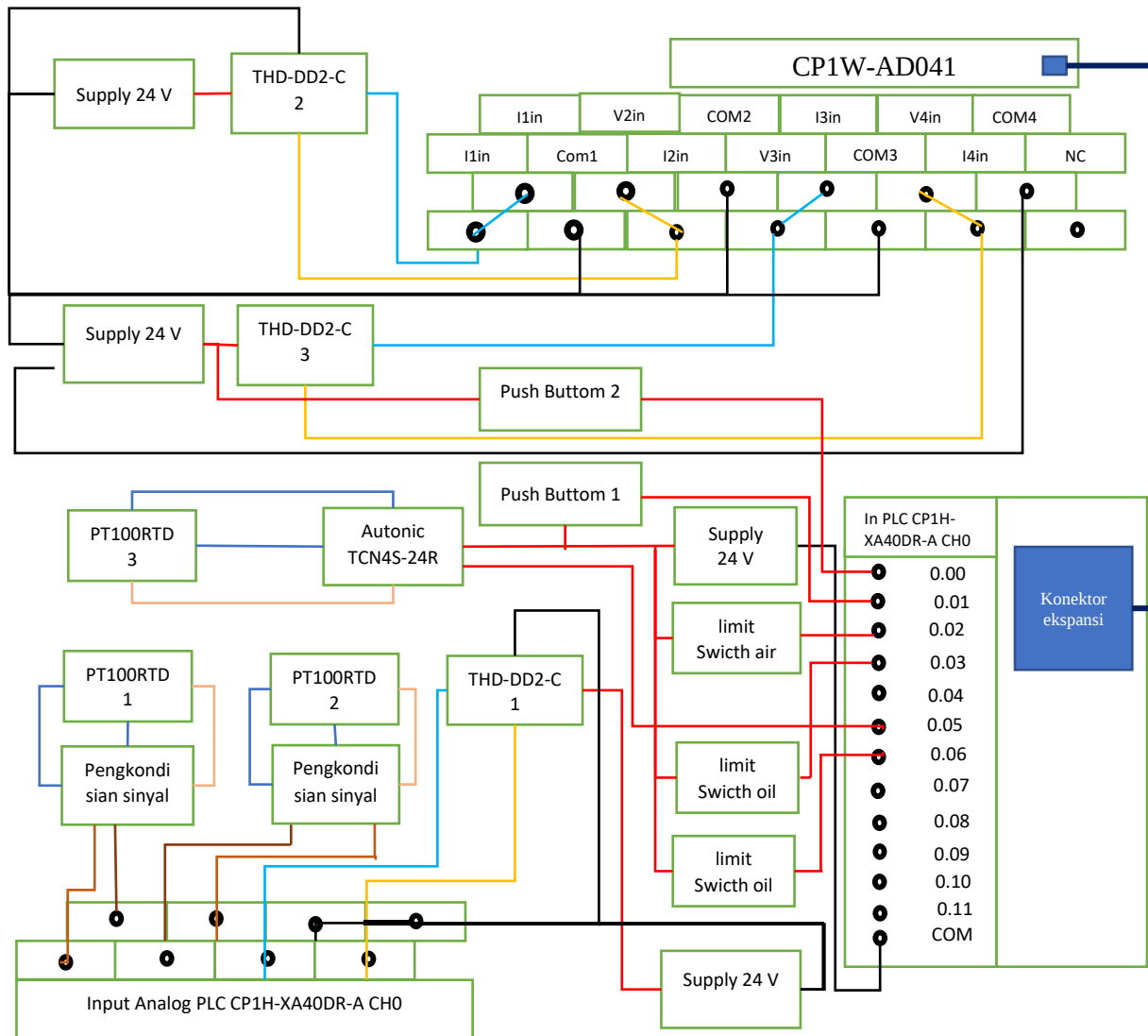
13	Kontaktor 13	Pencuci	Chanel 101	04
14	Kontaktor 14	Speed feeder	Chanel 101	05

Keluaran PLC CP1H-XA40DR-A yang langsung terhubung langsung ke relay untuk memicu kontaktor untuk menghidupkan motor-motor dinamo sebagai actuator. Bagian-bagian PLC seperti input analog, terminal input maupun output dapat dilihat pada Gambar 3.28.



Gambar 3.28. Blok Diagram dari PLC Omron CP1H-XA40DR-A.

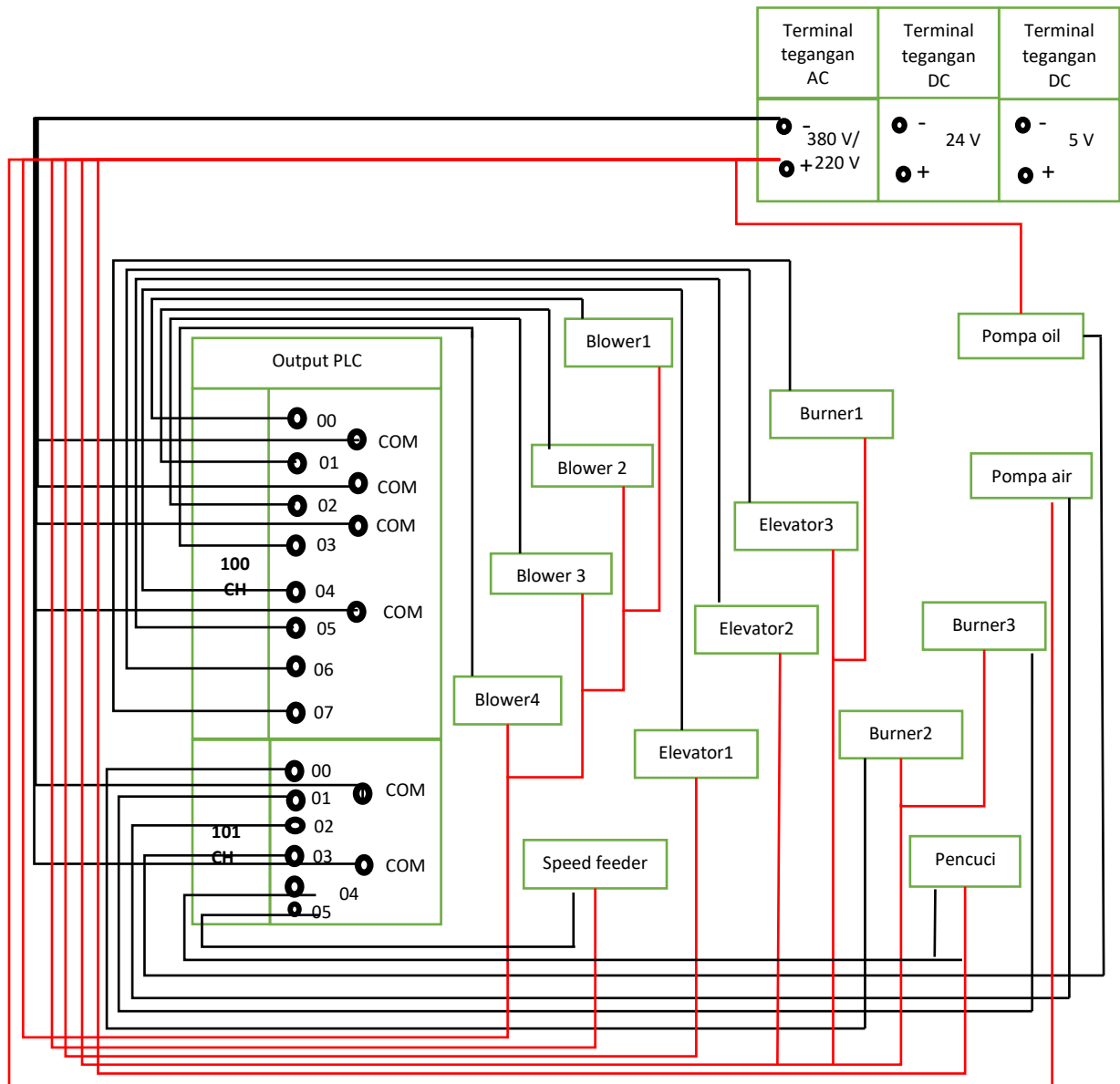
Pengkabelan komponen-komponen input ke PLC ditunjukkan pada Gambar 3.29.



Gambar 3.29. Pengkabelan Komponen-komponen Input ke PLC.

3.4.6. Pengkabelan serta Penentuan Alamat-alamat Output dari PLC.

Seperti yang telah dituliskan dalam diagram blok pada Gambar 3.14, konfigurasi output dari PLC terdiri dari 10 macam beban yang diatur. beban tersebut adalah pompa air, pompa minyak, motor *burner* 1, motor *burner* 2 motor *burner* 3, 3 motor *elevator*, motor *speed feeder* dan motor *screw conveyor* Pengkabelan dari semua jenis beban output dapat dilakukan secara langsung dari PLC dengan sumber tegangan yaitu 220 V. Pengkabelan komponen-komponen output dari PLC ditunjukkan pada Gambar 330.



Gambar 3.30. Pengkabelan Komponen-komponen Output PLC.

Tabel 3.12 dibawah menunjukkan alamat-alamat input yang digunakan untuk komunikasi antara komponen-komponen dengan PLC. Channel input PLC pada table berfungsi sebagai alamat-alamat yang dituju dalam proses pengkabelan (wiring) antara komponen-komponen dengan PLC.

Tabel 3.11. Chanel input yang digunakan PLC.

Input	Chanel input PLC
Push bottom	0.00
Push bottom	0.01
Limit switch 1	0.02
Limit switch 2	0.03
Limit switch 3	0.04
Relay autonic	0.05
THD1 Suhu	200
THD1 <i>Humidity</i>	201
RTD1 PT100	202
RTD2 PT100	203
THD2 Suhu	D0
THD2 <i>Humidity</i>	D1
THD3 Suhu	D2
THD3 <i>Humidity</i>	D3
Input SCADA	Ethernet

Komponen-komponen seperti limit switch berfungsi sebagai sensor input, sensor PT100RTD dapur 1,2 dan 3 sebagai sensing pengendalian suhu, sensor THD dapur 1, 2 dan 3 sebagai sensing kelembapan/*humidity* lada hitam dan *port ethernet* yang berfungsi sebagai saluran untuk dapat mengaktifkan PLC dari komunikasi SCADA.

Channel output PLC pada Tabel 3.13 berfungsi sebagai alamat-alamat yang dituju dalam proses pengkabelan (*wiring*) antara komponen-komponen dengan PLC.

Tabel 3 12. Chanel Output yang digunakan PLC.

Output	Chanel Output PLC
Blower 1	100.00
Blower 2	100.01
Blower 3	100.02

Blower 4	100.03
Elevator 1	100.04
Elevator 2	100.05
Elevator 3	100.06
Burner 1	100.07
Burner 2	101.00
Burner 3	101.01
Pompa air	101.02
Pompa oil	101.03
Pencuci	101.04
Speed feeder	101.05

Komponen-komponen seperti motor burner 1, motor burner 2, motor burner 3, motor Elevator asalan, motor pompa minyak, Motor intake elevator oven, motor speed control, motor spiral conveyor dan motor elevator ASTA merupakan piranti-piranti output bagi PLC. Pengaturan aktif tidaknya piranti output ditentukan oleh program ladder diagram yang akan dibuat.

Tabel 3.14 yang berisi tentang alamat-alamat memori yang digunakan di dalam PLC. Data komponen-komponen yang tersimpan di dalam alamat memori yang di dalam PLC akan digunakan sebagai input data bagi SCADA. SCADA akan mengolah lagi data-data tersebut sebelum akhirnya ditampilkan di dalam komputer untuk proses monitoring.

Tabel 3.13. Alamat-alamat Memori Yang Digunakan Didalam PLC.

Data	Alamat Memori
Push bottom1	I0.00
Push bottom2	I0.01
Limit switch 1	I0.02
Limit switch 2	I0.03
Limit switch 3	I0.04
Relay autonic	I0.05
THD1 Suhu	W0

THD1 <i>Humidity</i>	W2
PT100 RTD1	W4
PT100 RTD2	W6
THD2 Suhu	D10
THD2 <i>Humidity</i>	D15
THD3 Suhu	D20
THD3 <i>Humidity</i>	D25

Tabel 3.15 yang menunjukkan channel-channel fungsi yang digunakan di dalam PLC. *Timer 1* (start) berfungsi sebagai penanda dimulainya proses produksi pengeringan lada hitam yaitu untuk pembatas waktu dalam persiapan awal pengisian bagi dapur 1, 2, dan 3 oven. *Timer 2* berfungsi sebagai waktu penanda dalam proses pengisian yang telah penuh pada tiap tiap dapur yang disensing oleh sensor *humidity* yang di pasang di dapur 1, 2 dan 3. *Timer 3* berfungsi sebagai waktu tunda persiapan setelah proses pengeringan lada hitam yang telah disensing pada dapur ke 3 telah mencapai kadar air antara 12% sampai dengan 11%. Pada bagian akhir sebagai inti dari proses pengeringan lada hitam tersebut bertujuan sebagai persiapan akan dikeluarkannya lada hitam dalam oven yang telah kering sesuai yang telah diharapkan dengan ditandai bekerjanya motor elevator KW. Urutan Timer 1 sampai dengan 22 sebagai penanda nyala dan matinya masing-masing motor aktuator yang berfungsi sebagai jeda untuk meringankan beban atau melepaskan beban.

Tabel 3.14. Channel Fungsi Yang Digunakan Didalam PLC.

Channel Fungsi	Aktuator	Alamat Memori
Timer 1	On blower 1	T0001
Timer 2	On blower 2	T0002
Timer 3	On blower 3	T0003
Timer 4	On blower 4	T0004
Timer 5	On Elevator 1	T0005
Timer 6	On Elevator 2	T0006

Timer 7	On Elevator 3	T0007
Timer 8	On Pompa Air	T0008
Timer 9	On pompa oil	T0009
Timer 10	On motor cuci	T0010
Timer 11	On speed feeder	T0011
Timer 12	Off blower 1	T0012
Timer 13	Off blower 2	T0013
Timer 14	Off blower 3	T0014
Timer 15	Off blower 4	T0015
Timer 16	Off Elevator 1	T0016
Timer 17	Off Elevator 2	T0017
Timer 18	Off Elevator 3	T0018
Timer 19	Off Pompa Air	T0019
Timer 20	Off pompa oil	T0020
Timer 21	On motor cuci	T0021
Timer 22	On speed feeder	T0022
Compare 1 $w2 \geq 60\%$	THD1 <i>humidity</i>	W2
Compare 2 $w0 \geq 60^\circ\text{C}$	THD1 <i>suhu</i>	W0
Compare 3 $w2 \geq 50\%$	THD1 <i>humidity</i>	W2
Compare 4 $w0 \geq 50^\circ\text{C}$	THD1 <i>suhu</i>	W0
Compare 5 $w2 \geq 40\%$	THD1 <i>humidity</i>	W2
Compare 6 $w0 \geq 40^\circ\text{C}$	THD1 <i>suhu</i>	W0
Compare 7 $w4 \geq 100^\circ\text{C}$	PT 100 RTD1	W4
Compare 8 $D15 \geq 60\%$	THD2 <i>humidity</i>	D15
Compare 9 $D10 \geq 60^\circ\text{C}$	THD2 <i>suhu</i>	D10
Compare 10 $D15 \geq 50\%$	THD2 <i>humidity</i>	D15
Compare 11 $D10 \geq 50^\circ\text{C}$	THD2 <i>suhu</i>	D10
Compare 12 $D15 \geq 40\%$	THD2 <i>humidity</i>	D15
Compare 13 $D10 \geq 40^\circ\text{C}$	THD2 <i>suhu</i>	D10
Compare 14 $w6 \geq 100^\circ\text{C}$	PT 100 RTD2	W6
Compare 15 $D25 \geq 60\%$	THD3 <i>humidity</i>	D25
Compare 16 $D20 \geq 60^\circ\text{C}$	THD3 <i>suhu</i>	D20
Compare 17 $D25 \geq 50\%$	THD3 <i>humidity</i>	D25
Compare 18 $D20 \geq 50^\circ\text{C}$	THD3 <i>suhu</i>	D20

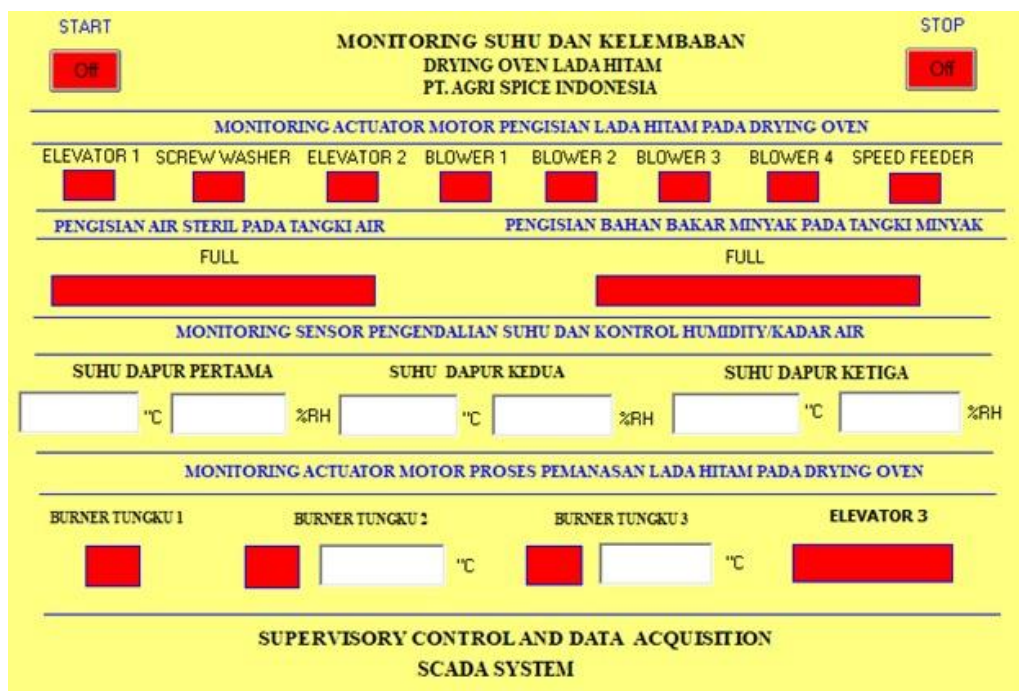
Compare 19 D25>=40%	THD3 humidity	D25
Compare 20 D20>=40°C	THD3 suhu	D20

Compare berfungsi sebagai program pembandingan antara suhu panas dan kelembapan yang tersimpan di dalam DM dengan set point.

Tahap terakhir hasil proses pengeringan lada hitam yang keluar dari mesin drying oven akan dicatat dan disimpan untuk mendapatkan penilaian kelembapan/*humidity* yang diperoleh dari sensor akan akan dikonversikan setara dengan nilai kadar air yang dibandingkan dengan nilai yang diperoleh oleh pengetesan kadar air lada hitam pada laboratorium dengan metode destilasi.

3.5. Perancangan *Human Interface SCADA*.

Data yang sudah diolah di PLC kemudian ditampilkan pada *software* SCADA yaitu CX supervisor yang dapat dilihat pada Gambar 3.16. Pada *software* SCADA, pengguna dapat melakukan *monitoring* data parameter ukur dan dapat mengetahui *range* nilai rata-rata pembacaan *sensor* ketika terdapat perubahan.



Gambar 3. 31. *User Interface SCADA.*

Gambar 3.31. memperlihatkan user interface SCADA, menampilkan suhu tiap dapur, kelembapan tiap dapur, level tangki air, level tangki minyak, indikator on/off elevator asalan, *intake elevator oven*, *elevator KW*, *speed control* dan *screw konveyor*. Data ini dapat digunakan untuk mengetahui fungsi alat bekerja dan ditampilkan pada user interface SCADA, Pada user interface SCADA terdapat indikator alarm jika terdapat nilai pembacaan kadar air lada hitam telah sesuai dengan kadar air 12% sampai dengan 11%. Kadar air lada hitam yang diukur kelembapannya diperoleh nilai yang akan dikalibrasikan dan dibandingkan dengan hasil tes kadar air lada hitam dari laboratorium dengan metode destilasi. Kemudian dianalisis sehingga dapat diketahui layak maupun berhasil sistem yang telah dibuat.

V. KESIMPULAN DAN SARAN.

5.1. Kesimpulan.

Berdasar dari hasil pengujian dan implentasi sistem alat kendali suhu dan kelembapan pada mesin pengering lada hitam di PT. Agri spice Indonesia di Lampung dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) *Protocol komunikasi user interface* dapat di monitor pada program SCADA, nilai-nilai suhu dan kelembapan yang disensing oleh sensor PT100RTD dan sesor THD-DD2-C, dapat dilihat dan terbaca nilainya pada tampilan serial monitor pada program CX supervisor sesuai dengan perancangan.
- 2) Algoritma yang dibangun dalam pengontrolan suhu dan kelembapan dapat berjalan dengan baik sehingga mendapatkan nilai kadar air lada hitam yang dikeringkan sesuai dengan yang diharapkan berada diantara 11% sampai dengan 12 %. Dari pengecekan sampel lada hitam yang berjumlah 15 mempunyai rata-rata kadar air konversi 11,24 % sedangkan nilai rata-rata kadar air dengan metode destilasi 11,57 %. Nilai kadar air konversi tersebut memiliki tingkat ke akuratan yang cukup tinggi terhadap nilai kadar air dengan metode destilasi dengan nilai rata-rata *error* sebesar 2,76 %.
- 3) Pengecekan sebelum dan sesudah sistem kendali suhu beserta kelembapan mempunyai nilai perbedaan dimana suhu dan kelembapan sebelum terpasang sistem kendali pada dapur 3 mempunyai nilai rata-rata suhu 45,57 °C dan rata-rata kelembapan 33,56 %RH setara kadar air 10,35 % sedangkan setelah terpasang sistem kendali mempunyai rata-rata suhu 40,16 % dan kelembapan 42,29 % setara kadar air 11,24 %. Rata-rata nilai sampel kadar air sebelum dan sesudah terpasang mempunyai selisih positif kadar air 0.89

% yang artinya dengan terpasangnya sistem kendali suhu dan kelembapan dapat berfungsi lebih baik dan efisien sesuai yang diharapkan.

- 4) Perbedaan rata-rata kadar air sampel lada hitam yang dites dengan metode destilasi 10.59 % saat *pretest* dan kadar air 11,57 % saat *posttest* mempunyai efisiensi kehilangan berat lada hitam selama proses berkurang 0,98% yang artinya sistem kendali suhu dan kelembapan dapat diaplikasikan dengan baik.

5.2. Saran.

Untuk mencapai kesempurnaan sistem kendali suhu dan kelembapan yang dibangun untuk pengembangan yang lebih baik seperti:

- 1) Sistem ON-OFF atau proporsional dalam pengendalian suhu yang disetting dapat diperbaiki menjadi sistem PID atau Fuzzy Logic untuk pengontrolan suhu panas agar sistem dapat dikendalikan dengan lebih baik.
- 2) Sistem komunikasi dengan jaringan kabel dapat diperbaiki menjadi sistem *Wireless network* atau jaringan tanpa kabel yang dapat berkomunikasi dengan jarak dekat maupun jarak yang jauh (lewat satelit). Sehingga dapat di akses dan dimonitoring dari jarak jauh.
- 3) Tampilan menu *user interface* pada serial monitor SCADA dapat ditambah atau dikembangkan dalam bentuk gambar atau animasi menyerupai fisik mesin oven supaya lebih mudah dibaca dan lebih menarik, dikembangkan pula menu record dan *setting* suhu dan kelembapan sehingga sehingga nilai-nilai suhu dan kelembapan dari sensor bisa langsung dapat diolah atau diatur input dan outputnya seperti menginput dan merubah *setting* suhu dan kelembapan serta dapat menampilkan nilai output dalam bentuk table maupun grafik.

DAFTAR PUSTAKA

- Hendra Jayadi, “Asal mula lada secara botanical”, <https://adoc.pub/download/asal-mula-botani-budidaya.html>, tahun 2020.
- Peraturan Menteri Pertanian “Pedoman Penanganan Pascapanen Lada”, Nomor 55/Permentan/OT.140/9/2012, tanggal 4 September 2012.
- Dr. Yudianto, SSi, MSi, “Tanaman Lada Dalam Perspektif Autekologi”, tahun 2016, ISBN 978-602-6238-36-8.
- International Pepper Community, “IPC Standard Specifications for Black/ White Pepper (Whole and Ground) and Whole Dehydrated Green Pepper”, tahun 2015.
- P.J. Fellows, “Food Processing Technology Principles and Practice”, P.J. 2000, CRC Press. CRC, Woodhead Publishing, Cambridge England. ISBN 0-8493-0887-9.
<https://books.google.co.id/books?id=t4ykAgAAQBAJ&lpg=PP1&hl=id&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>.
- Ashok Kumar, B P Hari Chandra, Sunil S and Girish V Kulkarni, “Application of cryogenics in grinding of spices for value addition: A Review”, Nat. Volatiles & Essent. Oils, 2021; 8(5):10580-10593, Desember 2021.
- James Moscola, Kala Meah, Wayne Blanding, Chase Bleacher, Kyle Langrill and Taylor Brown, “Paddy Rice Moisture Tester with Bluetooth Data Transfer”, 2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), doi: 10.1109/HNICEM48295.2019.9072784.
- S. Madhankumar, V. Harish, C.P. Jayanth, R. Manikandan, and N. Aswin “Automated Moisture Remover for Drying Agricultural Products”, 2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), doi: 10.1109/ICACCS51430.2021.9441812.

- Jan Paul I. Alibayan, Ian Renz C. Bobadilla, Mark Kevin V. Carnicer, Reynaldo T. Pascua, Jeschri G. Teodosio, Nilo M. Arago, Lean Karlo S. Tolentino, Edmon O. Fernandez and Ira C. Valenzuela*, “Green Coffee Bean Sorter and Corrector based on Moisture Content using Capacitive Method”, 2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), doi: 10.1109/HNICEM48295.2019.9073477.
- M. Ajay, M. Rakesh, M. Hrithik Roshan and G. Revat, “PLC Based Smart Farming Sistem With SCADA”, 2020 IEEE International Conference on Advances and Developments in Electrical and lectronics Engineering (ICADEE) ©2020 IEEE, doi: 10.1109/ICADEE51157.2020.9368954
- Jayson P. Rogelio, Elmer P. Dadios, Ryan Rhay Vicerra, Argel Bandala and Renann Baldovino, “Rice Bran Drying Kinetics of a Controlled Microwave Vacuum Dryer Optimized PLC-based: A Neuro fuzzy Approach”, 2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), doi: 10.1109/HNICEM51456.2020.9400029.
- Rifqi M, “Sensor Network”, <https://rifqimulyawan.com/blog/sensor-networks/>
- Bansari Deb Majumder, Joyanta Kumar Roy, Senior Member, IEEE, and Subhransu Padhee, "Recent Advances in Multifunctional Sensing Technology on a Perspective of Multi-Sensor Sistem: A Review", IEEE Sensors Journal, (Volume: 19, Issue: 4, 15 February 2019), doi: 10.1109/JSEN.2018.2882239
- J. Wu, “A Basic Guide to RTD Measurements”, Texas Instruments Inc., no. June, pp. 1–42, 2018.
- Bahare Babaie and Nasser Masoumi, “An Analytical Approach for Extraction of the Temperature Bias-Error of RTD Sensors for Smart Home”, 2020 28th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), doi:10.1109/ICEE50131.2020.9260942.
- Autonic, “THD Series Intruction Manual”, autonic, TCD220002AB, http://www.ehaegypt.com/uploads/THD_i2suz7ox.pdf.

Sujatmoko, Mn., “Dasar-Dasar Kontrol Komponen dan Sysmac”, Departemen Manufacturing Engineering, PT. Omron Manufacturing Of Indonesia, 2000.

Praguynakorn, “Limit Switch model CZ7141”, Qubix type <http://www.praguynakorn.com/product/3171/cz-7141>.

Stanley, W.D., “Operational Amplifier with Integrated Circuit”, New York, Macmillan College Publishing Co., 1994, ISBN 978-81-317-0845-3.

Programming Manual Omron, “Programmable Controllers Sysmac CPM1/CPM1A/ CPM2A/ CPM2C/SRM1(-V2)”, OMRON, tahun 2008. https://www.fa.omron.com.cn/data_pdf/mnu/w353-e1-06_cpm1_cpm_a_cpm2c_srm1-v2.pdf?id=36.

CPU Unit and Expantion Unit, “Connecting Expansion Units and Expansion I/O Units” Omron, <https://industrial.omron.eu/en/products/CP1W-DA04>.

TCN Series, ‘Dual Display, PID Control Temperature Controller’, Autonics222. https://autonics.se/wp-content/uploads/2018/03/tcn_ca_en_20171025_he.pdf.

Alidino,” Pengantar Pprgrammable logic Control”, Menara Ilmu, Universitas Gajah Mada, <https://plc.mipa.ugm.ac.id/pengantar-plc/>.

Eka Samsul Ma’rif, “Panduan Operasional PLC Seri Omron”, Jakarta, LP2M Politeknik Manufakture Astra, tahun 2024, ISBN: 9786239359775.

Finglay, “FTT01 series temperature transmitters” Yueqing Finglai Electric Co., Ltd, Cina. <https://www.finglai.com/products/instruments/temperature-transmitters/FTT01/>.

General Purpose Relays, “New Super MK Relays Models with Latching Lever Added to the Series”, Omron, https://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/mk-s_ds_e_6_4_csm1382.pdf.

Agfianto Eko Putra, “PLC: Konsep, Pemrograman dan Aplikasi (Omron CPM1A/CPM2A dan ZEN Programmable Relay) 2/E-“, Gava Media, Yogyakarta, Tahun 2017, ISBN 9786026948786.

Operation Manual, “Sysmac CP Series”, Omron, Tahun 2014. https://assets.omron.eu/downloads/latest/manual/en/w450_cp1h_cpu_unit_operation_manual_en.pdf?v=4.

- Programing Manual, "Sysmac CP Series", Omron, Tahun 2014. Manual, https://assets.omron.eu/downloads/latest/manual/en/w451_cp1_cpu_unit_programming_manual_en.pdf?v=4.
- Ogata Katsuhiko, "Teknik Kontrol Automatik", Erlangga, Jakarta, 1997. ISBN/ISSN 979-411-467-7
- Stuart G. McCrady, "Designing SCADA Application Software A Practical Approach", Technical Instructor in SCADA Technology, ON, Canada, 2013. ISBN: 978-0-12-417000-1.
- Dimitrios Pliatsios, Panagiotis Sarigiannidis, Thomas Lagkas, and Antonios G. Sarigiannidis, "A Survey on SCADA Systems: Secure Protocols, Incidents, Threats and Tactics", IEEE Communications Surveys and Tutorial, Vol. 22, No. 3, Third Quarter 2020. doi: 10.1109/COMST.2020.2987688.
- Ian Verhappen and Augusto Pereira, "Foundation Fieldbus", Fourth Edition by Copyright: 2012 Length: 221 pages. ISBN: 978-1-937560-20-1.
- Y. Alaviyan, MH. Aghaseyedabdollah, MH. Sadafi and A. Yazdizade "Design and Manufacture of a Smart Greenhouse with Supervisory Control of Environmental Parameters Using Fuzzy Inference Controller", 2020 6th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS), doi: 10.1109/ICSPIS51611.2020.9349619.