

**STUDI PERANCANGAN PERANGKAT HIDROPONIK TANI-V1
MENGUNAKAN SOLAR PANEL DAN MIKROKONTROLER DI SMAN
12 PALEMBANG**



TUGAS AKHIR

Disusun sebagai salah satu kewajiban untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di

Universitas Islam Sultan Agung

Disusun Oleh :

AJIE HARUN PRATAMA

30602300120

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2025

**RESEARCH DESIGN OF THE TANI-V1 HYDROPONIC DEVICE USING
SOLAR PANELS AND MICROCONTROLLER AT SMAN 12
PALEMBANG**

UNDERGRADUATE THESIS FINAL PROJECT

This Final Project is Wrotted as the one of the requirement to achieving Bachelor
of Engineering title at Universitas Islam Sultan Agung



Writtred By :

AJIE HARUN PRATAMA

30602300120

STUDY PROGRAM OF ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF TECHNOLOGY AND INDUSTRY

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Tugas Akhir dengan judul "STUDI PERANCANGAN PERANGKAT HIDROPONIK TANI-VI MENGGUNAKAN SOLAR PANEL DAN MIKROKONTROLER DI SMAN 12 PALEMBANG " ini disusun oleh:

Nama: Ajie Harun Pratama

NIM: 30602300120

Program Studi: S1 Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari: Selasa

Tanggal: 25 November 2025

Pembimbing

Munaf Ismail, S. T., M. T.

NIDN: 0613127302

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



25/11/2025

Munaf Ismail, S. T., M. T.

NIDN: 0613127302

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Tugas Akhir dengan judul “STUDI PERANCANGAN PERANGKAT HIDROPONIK TANI-VI MENGGUNAKAN SOLAR PANEL DAN MIKROKONTROLER DI SMAN 12 PALEMBANG ”. Telah disahkan dan disetujui oleh dosen penguji pada:

Hari: Selasa

Tanggal: 25 November 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

Ketua Penguji

Jenny Putri Hapsari, S. T., M. T.
NIDN: 0607018501

251125

Anggota Penguji I

Dr. Bustanul Arifin, S. T., M. T.
NIDN: 0614117701

251125

Anggota Penguji II

Munaf Ismail, S. T., M. T.
NIDN: 0613127302

25/11/2025

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Penulis Karya Tulis Ilmiah yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ajie Harun Pratama

NIM : 30602300120

Dengan ini saya menyatakan penulis menyatakan bahwa Karya Tulis Ilmiah yang berjudul: STUDI PERANCANGAN PERANGKAT HIDROPONIK TANI V1 MENGGUNAKAN SOLAR PANEL DAN MIKROKONTROLER DI SMAN 12 PALEMBANG benar hasil karya penulis dan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis yang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiat, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Semarang, 25 November 2025



Ajie Harun Pratama

PERNYATAAN PERSETUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ajie Harun Pratama

NIM : 30602300120

Program Studi : S1 Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri


Dengan ini menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir Skripsi dengan judul :

STUDI PERANCANGAN PERANGKAT HIDROPONIK TANI-V1 MENGGUNAKAN SOLAR PANEL DAN MIKROKONTROLER DI SMAN 12 PALEMBANG

dan menyetujuinya menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data, dan dipublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

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

Semarang, 24
November
2025
Yang
menyatakan,


Ajie Harun
Pratama

KATA PENGANTAR

Puji Syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga laporan tugas akhir dengan judul STUDI PERANCANGAN PERANGKAT HIDROPONIK TANI-V1 MENGGUNAKAN SOLAR PANEL DAN MIKROKONTROLER DI SMAN 12 PALEMBANG dapat terselesaikan.

Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

- 1 Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, S.H., M.Hum selaku rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- 2 Dr. Ir. Hj.Novi Marlyana, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri
- 3 Munaf Ismail, S. T. M. T., selaku Ketua Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri sekaligus merangkap dosen pembimbing.
- 4 Bapak/Ibu dosen strata I Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.
- 5 Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Palembang, Desember 2025

Ajie Harun Pratama

LEMBAR MOTO PUJIAN DAN PERSEMBAHAN

Tidak ada yang namanya kebetulan, aku berada disini, menjalani hari ini, semua pasti ada feedback baik yang aku terima aku percaya sesuatu yang baik pasti akan berakhir baik, demi Allah aku akan terus maju dan mencoba, biarlah Allah yang menjadi saksi perjalanan studi aku di sini, insyaAllah Dia akan memberi ganjaran baik kepadaku, sebagai hambaNya yang berusaha.

- Coretan tangan ahrunama –

Penulis menghaturkan ucapan handai taulan dan puja puji kepada:

1. Tuan dan Nyonya Harun yang memberikan dukungan materi dan non materi
2. Nanda Dwi Harun, Saudara penulis yang penulis harap bisa melanjutkan studi seperti penulis sendiri dengan jenjang yang sama atau lebih tinggi dari penulis
3. Jiejie, Naziatul Husna Susanto S. Tr. T, yang sedang melanjutkan studinya di Shandong Univerity and Technology (SDUST) semoga studi Jiejie lancar, lulus cepat waktu dan tepat waktu dan memperoleh gelar M. Sc.
4. Satria Yoga Pamungkas A, Md., sudah penulis anggap seperti saudara penulis sendiri yang sudah membantu moril dan dukungan lain yang kiranya mempermudah penulis dalam melakukan studi di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Dwi Rahma Rani, adik penulis tersayang yang penulis sayangi karena telah membantu secara moril dan non materi, semoga impian adik bisa lanjut studi bisa tercapai apapun itu pilihan yang adik pilih
6. David Pranata Chandra, penulis berempati atas isu yang menimpa, namun berkat David penulis mempersiapkan studi dan menyelesaikannya dengan lebih proper.
7. Semua aspek yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Abstrak

Hidroponik yang terbengkalai dan masih bersifat konvensional dalam pengoperasian menjadi tantangan terbesar di SMAN 12 Palembang dan juga karena ada masalah keamanan dan keselamatan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem hidroponik otomatis bernama TANI-V1 di SMAN 12 Palembang, Dengan memanfaatkan energi terbarukan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan sistem kendali berbasis mikrokontroler. Perangkat ini dikembangkan sebagai solusi terhadap kerusakan sistem hidroponik sebelumnya yang belum dilengkapi otomatisasi. TANI-V1 menggunakan panel surya monokristalin 100 WP dan akumulator 12V 5Ah sebagai sumber daya utama dengan metode interkoneksi elektrik secara semi off grid yang mampu menyuplai kebutuhan energi sekitar 5 Watt untuk keseluruhan sistem, meliputi sensor, mikrokontroler, dan transduser. Sistem kendali mengombinasikan Arduino Mega 2560 sebagai pengendali utama dan ESP8266 sebagai modul *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung fungsi monitoring, pengendalian pompa air otomatis, serta pencatatan data digital berbasis Google Spreadsheet. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem TANI-V1 mampu menghidupkan kembali perangkat hidroponik sekolah dan beroperasi dengan baik, meskipun terdapat tingkat kesalahan pembacaan sensor sebesar $\pm 20\%$ dan kesalahan komunikasi data antara Arduino Mega 2560 dan ESP8266 sekitar $\pm 35\%$, dengan rata-rata tingkat eror pembacaan sensor mencapai 7,52%. Meskipun demikian, performa sistem masih dapat diterima dan dapat ditingkatkan melalui kalibrasi serta pengolahan sinyal yang lebih komprehensif. Selain itu, TANI-V1 berhasil diintegrasikan dengan Telegram sebagai kontrol interupsi utama di luar jam kerja normal RTC DS1307, sehingga sistem dapat beroperasi otomatis dan efisien. Secara keseluruhan, alat ini dapat digunakan untuk kontrol-monitor dengan Telegram dengan satu pengguna dan Google Spreadsheet untuk pendataan otomatis ke semua pengguna Google Spreadsheet yang memiliki tautan aksesnya. TANI-V1 berpotensi menjadi sarana pembelajaran langsung bagi siswa dalam memahami penerapan energi terbarukan dan otomasi berbasis IoT pada sistem pertanian modern.

Kata kunci: Hidroponik, Panel Surya, Arduino Mega, ESP8266, Otomatisasi, TANI-V1, IoT.

Abstract

Wasteful Hydroponic and conventionally operating is the biggest challenge in SMAN 12 Palembang, and also issue with safety and security. The background reasons is the hidroponic is abonded and usually used in old-school way during operating it, by utilizing renewable energy from a Solar Power Plant (PLTS) and a microcontroller-based control system. The device was developed as a solution to the previous non-functional hydroponic system, which lacked automation features. TANI-V1 employs a 100 WP monocrystalline solar panel and a 12V 5Ah accumulator as the main power source, using semi off grid method in electrical power interconnections, capable of supplying approximately 5 watts to operate all system components including sensors, microcontrollers, and transducers. The control system integrates an Arduino Mega 2560 as the main controller and an ESP8266 as an Internet of Things (IoT) module to enable environmental monitoring, automatic water pump control, and digital data logging via Google Spreadsheet. The implementation results show that TANI-V1 successfully reactivated the school's hydroponic system and operated effectively, although sensor reading errors reached $\pm 20\%$, data communication errors between the Arduino Mega 2560 and ESP8266 were around $\pm 35\%$, and the overall average sensor error rate was 7.52%. Nevertheless, system performance remains acceptable and can be improved through calibration and more comprehensive signal processing. Moreover, TANI-V1 was successfully integrated with Telegram as an interrupt control system outside the normal operation schedule of the RTC DS1307, allowing for efficient and automated system management. Overall, this device can be used for control and monitoring via Telegram with a single user, and for automatic data logging to Google Spreadsheet accessible to all users who have the link. TANI-V1 has the potential to serve as a practical learning medium for students in understanding the application of renewable energy and IoT-based automation in modern agricultural systems..

Keywords: Hydroponics, Solar Panel, Arduino Mega, ESP8266, Automation, TANI-V1, IoT.

DAFTAR ISI

STUDI PERANCANGAN PERANGKAT HIDROPONIK TANI-V1 MENGUNAKAN SOLAR PANEL DAN MIKROKONTROLER DI SMAN 12 PALEMBANG.....	i
RESEARCH DESIGN OF THE TANI-V1 HYDROPONIC DEVICE USING SOLAR PANELS AND MICROCONTROLLER AT SMAN 12 PALEMBANG	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR MOTO PUJIAN DAN PERSEMBAHAN	vi
Abstrak	vii
<i>Abstract</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR KODE TERTANAM	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penelitian	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Landasan Teori.....	12
2.3 PLTS Off Grid	12
2.4 Panel Surya Monokristalin.....	16
2.5 <i>Internet of Things</i> (IoT).....	16
2.5.1 Google Firebase	19
2.5.2 Google SpreadSheet.....	20
2.5.3 Telegram	21
2.7 Software.....	23
2.7.1 Proteus Profesional	23
2.7.2 Arduino IDE.....	24
2.8 Alat Ukur Pengukuran.....	24
2.8.1 MultiMeter	24
2.8.2 pH Meter	26
2.8.3 PPM Meter	29
2.9 Solar Charge Controller (SCC) PWM.....	30
2.10 Persamaan Error	31
2.11 PCB	31
2.12 Akumulator	33
2.13 Modul Penurun Tegangan (<i>Stepdown Module</i>).....	34
2.14 Arduino Mega 2560	37
2.15 ESP8266.....	40
2.16 Level Shifter Module	43
2.17 Komunikasi Data.....	44

2.17.1	I2C (Inter Integrated Circuit)	44
2.17.2	UART	46
2.18	Sensor	47
2.18.1	DHT 11	47
2.18.2	Real Time Clock (RTC)	49
2.18.3	pH sensor PC4502	50
2.18.4	<i>MQ135 Air Quality Sensor</i>	53
2.18.5	Water Level	54
2.18.6	Sensor Getaran	56
2.18.7	<i>(Total Dissolve Solid)</i> TDS Sensor	58
2.20	Tranduser	61
2.20.1	LCD I2C LCD 20x4	61
2.20.2	Mp3 Player	62
2.20.3	Relay 4 Channel	65
2.20.4	Lampu AC	67
2.20.5	Pompa Air	68
BAB III METODOLOGI PERENCANAAN PERANCANGAN TANI-V1		69
3.1	Perancangan TANI-V1	69
3.1.1	Perancangan Mekanikal	71
3.1.2	Perancangan Program	74
3.1.3	Perancangan Elektkrikal	81
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN		106
4.1	Data TANI-V1	106
4.1.1	Pengukuran Parameter Berdasarkan Sensor dan Fitur IoT	107
4.1.2	Pengukuran Secara Konvensional	109

4.1.3	Analisa Perbandingan Pengukuran IoT dan Konvensional.....	110
4.1.4	Analisa Keberhasilan Komunikasi Data Terhadap Spreadsheet.....	117
4.1.5	Analisa Error Sesaat (Momentary Error) TANI-V1.....	119
4.2	Prinsip Kerja TANI-V1	121
4.2.1	Prinsip Kontrol dan Monitor Telegram.....	122
4.2.2	Prinsip Kontrol Lampu Pencahayaan Hidroponik dan Pompa	128
4.2.3	Prinsip Pembacaan Sensor dengan Interval Waktu.....	131
4.2.4	Prinsip Pengiriman Data Telegram dan Googlespreadsheet.....	133
4.2.5	Prinsip Audio Alert	146
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		149
5.1	Kesimpulan	149
5.2	Saran.....	149
DAFTAR PUSTAKA		151
LAMPIRAN.....		159

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tanaman Hidroponik[10]	10
Gambar 2. 2 Panel Surya[19]	13
Gambar 2. 3 PLTS Off Grid[30]	15
Gambar 2. 4 Panel Surya Monokristal[31]	16
Gambar 2. 5 Internet of Things Integrasi Fisik dan Digital[33]	17
Gambar 2. 6 Google Firebase[34]	19
Gambar 2. 7 Google Spreadsheet[35]	21
Gambar 2. 8 Aplikasi Telegram[36]	22
Gambar 2. 9 Proteus Profesional[37]	23
Gambar 2. 10 Arduino IDE[38]	24
Gambar 2. 11 Multimeter[39]	25
Gambar 2. 12 PH Meter[40]	27
Gambar 2. 13 TDS Meter[41], [42]	29
Gambar 2. 14 SCC Jenis PWM[43]	31
Gambar 2. 16 PCB Matriks[44]	32
Gambar 2. 17 Akumulator[45]	33
Gambar 2. 18 Modul Penurun Tegangan LM2596[46]	35
Gambar 2. 19 Arduino Mega 2560[47]	37
Gambar 2. 20 Arduino Mega 2560 Pro[48]	38
Gambar 2. 21 NodeMCU ESP8266[49]	41
Gambar 2. 22 Level Shifter Module[50]	43
Gambar 2. 23 Komunikasi data I ² C[51]	46
Gambar 2. 24 Universal Asynchronous Receiver Transmitter[52]	47
Gambar 2. 25 DHT 11[53]	48
Gambar 2. 26 Modul RTC[54]	49
Gambar 2. 27 Sensor PH PC4502[55]	51
Gambar 2. 28 Bentuk Fisik dari Modul Sensor Gas MQ135 [56]	53
Gambar 2. 29 Sensor Ultrasonic JST SRN04T[57]	55
Gambar 2. 30 Bentuk Fisik dari Modul Sensor Getar[58]	57
Gambar 2. 31 TDS Sensor[41]	59

Gambar 2. 32 LCD I2C 20x4[59]	61
Gambar 2. 33 Modul DF Player Mini MP3[60].....	63
Gambar 2. 34 Bentuk Fisik dan Pinout dari Modul Relay 4 Channel[61]	65
Gambar 2. 35 Lampu LED AC[62]	67
Gambar 2. 36 Pompa Air untuk Tanaman Hidroponik[63]	68
Gambar 3. 1 Bentuk Fisik TANI-V1 di SMAN 12 Palembang	69
Gambar 3. 2 Alur Studi Perancangan TANI-V1	70
Gambar 3. 3 Bentuk Fisik TANI-V1.....	71
Gambar 3. 4 TANI-V1 dan Hidroponik DFT	73
Gambar 3. 5 PLTS TANI-V1 dan Penyalurannya	75
Gambar 3. 6 Diagram Blok Pengolahan Sinyal dan Data TANI-V1	77
Gambar 3. 7 Diagram Alir TANI-V1	81
Gambar 3. 8 Elektrikal Keseluruhan TANI-V1	82
Gambar 3. 9 Interkoneksi DHT 11 Terhadap Arduino Mega 2560	84
Gambar 3. 10 Interkoneksi RTC 1307 Terhadap Arduino Mega 2560.....	85
Gambar 3. 11 Interkoneksi PH-PC4502 Terhadap Arduino Mega 2560	87
Gambar 3. 12 Interkoneksi Sensor Water Level Terhadap Arduino Mega 2560..	89
Gambar 3. 13 Interkoneksi Sensor Vibrasi Terhadap Arduino Mega 2560.....	90
Gambar 3. 14 Interkoneksi Sensor Tegangan Terhadap Arduino Mega 2560.....	91
Gambar 3. 15 Interkoneksi Sensor Arus Terhadap Arduino Mega 2560.....	92
Gambar 3. 16 Interkoneksi Sensor MQ135 Terhadap Arduino Mega 2560	94
Gambar 3. 17 Interkoneksi Tranduser LCD 20x4 I2C Terhadap Arduino Mega 2560.....	95
Gambar 3. 18 Interkoneksi Tranduser DF MP3 Player Terhadap Arduino Mega 2560.....	97
Gambar 3. 19 Interkoneksi Tranduser Relay 4 Channel Terhadap Arduino Mega 2560.....	98
Gambar 3. 20 Interkoneksi Tranduser Relay 4 Channel Terhadap Arduino Mega 2560.....	99

Gambar 3. 21 Interkoneksi Komunikasi Data Antara NodeMCU ESP8266 Terhadap Arduino Mega 2560	101
Gambar 3. 22 Interkoneksi Ketenagalistrikan PLTS	102
Gambar 3. 23 Interkoneksi Keseluruhan.....	103
Gambar 3. 24 Interkoneksi Keseluruhan.....	104
Gambar 3. 25 Interkoneksi Keseluruhan.....	105
 Gambar 4. 1 Tabel di Google Spreadsheet.....	 107
Gambar 4. 2 Grafik Sensor TANI-V1	108
Gambar 4. 3 Perbandingan Sensor dan Alat Ukur	111
Gambar 4. 4 Perbandingan pH Meter dan pH PC4502 Sensor	112
Gambar 4. 5 Perbandingan TDS Meter dan TDS Sensor	114
Gambar 4. 6 Perbandingan Penggaris dan JST04-SRN Ultrasonic Module.....	115
Gambar 4. 7 Hasil Compile Upload NodeMCU ESP8266	117
Gambar 4. 8 Tabel Google Spreadsheet yang Didownload	118
Gambar 4. 9 Data Komunikasi yang Berhasil dan Tidak.....	119
Gambar 4. 10 Beberapa Data Momentary Error	120
Gambar 4. 11 Tampilan Perintah di Telegram.....	128
Gambar 4. 12 Login Spreadsheet Otomatis Dalam Interval Waktu Tertentu	134

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tanaman Hidroponik SMAN 12 Palembang.....	10
Tabel 2. 2 Spesifikasi Modul Stepdown LM2596	36
Tabel 2. 3 Spesifikasi Arduino Mega 2560.....	38
Tabel 2. 4 Spesifikasi NodeMCU ESP8266	41
Tabel 2. 5 Spesifikasi DHT 11	48
Tabel 2. 6 Spesifikasi Modul RTC 1307.....	50
Tabel 2. 7 Spesifikasi Sensor PH PC4502	52
Tabel 2. 8 Datasheet dari Modul Sensor MQ135.....	54
Tabel 2. 9 Sensor Ultrasonic JST SRN04T.....	56
Tabel 2. 10 Datasheet Modul Sensor Getar SW-420	58
Tabel 2. 11 Datsheet Modul TDS	60
Tabel 2. 12 Datasheet LCD I2C 20x4	61
Tabel 2. 13 Datasheet Modul DF Player Mini MP3	63
Tabel 2. 14 Datasheet Modul Relay 4 Channel.....	66
Tabel 4. 1 Tabel Sensor dan Output Ukur	106
Tabel 4. 2 Pengukuran Menggunakan Alat Ukur Konvensional	110
Tabel 4. 3 Data Perolehan dan Perbandingan	112
Tabel 4. 4 Tabel Error Sensor PH-PC4502	113
Tabel 4. 5 Tabel Error Sensor TDS	114
Tabel 4. 6 Tabel Error Sensor JST04 SRN.....	115
Tabel 4. 7 Kesimpulan Perbandingan	116
Tabel 4. 8 Daftar Perintah di Telegram.....	125
Tabel 4. 9 Tabel Kontrol Relay Terhadap Output dengan RTC 1307	129
Tabel 4. 10 Interval Waktu Pembacaan Sensor Optimal	131
Tabel 4. 11 Daftar Pembacaan Data dan Pengiriman Otomatis Data	135
Tabel 4. 12 Daftar Audio Track yang disimpan di Kartu SD DF Mini Player ...	147

DAFTAR KODE TERTANAM

Kode 3. 1 Kode untuk Akses DHT 11	83
Kode 3. 2 Kode Akses RTC 1307	85
Kode 3. 3 Kode Akses PH-4502C.....	86
Kode 3. 4 Kode Akses Sensor TDS	88
Kode 3. 5 Interkoneksi Sensor TDS Terhadap Arduino Mega 2560	88
Kode 3. 6 Kode Akses Sensor Water Level.....	89
Kode 3. 7 Kode Akses Sensor Vibrasi	90
Kode 3. 8 Kode Akses Sensor Tegangan	92
Kode 3. 9 Kode Akses Sensor Arus ACS712	93
Kode 3. 10 Kode Akses Sensor MQ135	94
Kode 3. 11 Kode Akses LCD I2C 20x4.....	95
Kode 3. 12 Kode Akses DF MP3 Player	96
Kode 3. 13 Kode Akses Relay 4 Channel	98
Kode 3. 14 Kode Komunikasi Data Dari Sisi Arduino Mega 2560.....	100
Kode 3. 15 Kode Komunikasi Data Dari Sisi ESP8266 NodeMCU.....	100
Kode 4 . 1 Kode Command Telegram	127
Kode 4 . 2 Kode Kontrol Pompa dan Lampu dengan RTC 1307	130
Kode 4 . 3 Kode Pembacaan Sensor Dengan Interval Waktu.....	133
Kode 4 . 4 Kode Tertanam di ESP8266 NodeMCU Untuk Kirim Spreadsheet .	138
Kode 4 . 5 Kode di Appscript GoogleSpreadsheet Menerima Data	146
Kode 4 . 6 Kode Untuk Akses Fitur Audio Alert.....	148

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

SMAN 12 PALEMBANG berada di Jalan Syakyakirti, Lr. Sedulur, No. 4 Karang Jaya, Kec. Gandus, Palembang Sumatera Selatan. Instansi pendidikan ini adalah salah satu instansi pendidikan milik negeri yang sudah dibangun sejak tahun 1987 dengan SK Menteri Pendidikan dan Kebudayaan RI no 052/0/1988 tahun 1988. Mulai menerima siswa baru tahun pelajaran 1987/1988 untuk menampung siswa lulusan SMP yang berada di kawasan Tangga Buntung dan sekitarnya. SMA Negeri 12 semula berlokasi di kawasan Situs Taman Purbakala Sriwijaya, selanjutnya seiring dengan pembangunan dan perluasan situs kemudian SMA Negeri 12 pindah ke Lorong Pancasila pada tahun 1992 menempati areal dikawasan Lorong Pancasila. Pendidik dan tenaga kependidikan yang bertugas di awal SMA Negeri 12 berdiri terdiri dari guru 5 orang, tata usaha 1 orang yang dipimpin oleh bapak M. Daud sebagai kepala sekolah [1], [2].

Pertahun 2023 hingga sekarang, sekolah ini berkembang secara bertahap hingga dipimpin oleh Ibu Lili Rahmawati S Pd., M. M., sebagai kepala sekolah dan guru penggerak di SMAN 12 PALEMBANG. Sekolah ini memiliki sarana dan prasarana yang dapat digunakan oleh warganya sendiri, meliputi ruang belajar, perpustakaan lapangan olahraga, akses *Wireless Fidelity* (Wi-Fi), dan lain sebagainya. Tidak terkecuali tanaman hidroponik sebagai media kreasi, produksi dan pembelajaran bagi siswa/i SMAN 12 PALEMBANG itu sendiri. Kondisi tanaman hidroponik di sekolah ini tidak dirawat dengan baik sehingga terbengkalai begitu saja tanpa ditanami karena kesibukan atau manajemen yang kurang memadai dari sekolah itu sendiri. Pada saat tanaman hidroponik ini beroperasi, biasanya dirawat dan ditanami oleh tenaga pendidik di sekolah

dibantu dengan para siswa. Tanaman yang biasa ditanam di sekolah ini adalah pakcoi, dan kangkung.

Metode penanaman ini memang sudah bagus, namun pengisian air yang tidak diketahui kapasitas terakhirnya, jumlah kandungan nutrisi ppm nya, serta kadar pH nya tidak dapat diketahui secara pasti karena keterbatasan pengetahuan penanaman secara modern di sekolah ini. Pada saat siang hari, hidroponik dijalankan dan dipantau secara konvensional, yakni diaktifkan melalui kabel dengan mencolok langsung ke jala-jala 220VAC menggunakan cara *Direct of Line* (DOL). Sehingga secara elektrik dan K3 ini sangat berbahaya. Kondisi lingkungan di sekitar hidroponik begitu lembab karena berada di dekat saluran got air, serta dapur umum di SMAN 12 PALEMBANG. Tindakan ini dapat membahayakan diri sendiri dan orang lain karena kondisi lingkungan yang demikian, dapat menyebabkan tersengat arus listrik dan bisa menyebabkan hubung pendek di rangkaian utilitas listrik di SMAN 12 PALEMBANG.

Tidak terbatas dalam kasus di atas, aktifitas lingkungan sekolah yang padat dengan aktifitas sekolah secara akademik dan non akademik, kerap kali menyebabkan tanaman hidroponik terkena impaksi, yang menyebabkan kerusakan fisik di beberapa bagian perpipaan dan saluran air. Sehingga, diperlukan pengawasan untuk mengetahui kondisi hidroponik melalui monitoring. Begitu juga pada malam hari, pada saat malam hari tanaman hidroponik tidak diawasi secara langsung, sehingga tidak diketahui kondisi di sekitarnya, seperti kelembaban udara, kandungan pH dan ppm dan lain-lainnya kondisi lingkungan sekitar juga gelap karena tidak adanya penerangan yang dapat menyebabkan kejadian yang berbahaya, mengingat tanaman ini berada tepat di depan saluran air got. Jika tidak berhati-hati maka akan menyebabkan kecelakaan dan kejadian berbahaya yang tidak diinginkan. Melakukan instalasi lampu di sekitar, diperlukan bagi tanaman hidroponik ini. Maka dari itu, penyusun berkeinginan untuk membuat sebuah perangkat terpadu yang mengintegrasikan berbagai macam komponen dan modul elektronika.

Mulai dari sumber dayanya yang menggunakan solar panel dan dirangkai secara semi off grid, Dimana pembebanan sensor, mikrokontroler dan transduser dengan beban ringan langsung di bebaskan dengan menggunakan akumulator yang discharging dengan menggunakan panel surya dan Solar Charge Controller (SCC), sedangkan untuk pembebanan yang berat yakni motor AC pada hidroponik yang digunakan oleh SMAN 12 PALEMBANG langsung dibebankan ke jaringan listrik PLN melalui modul relay channel sebagai perangkat switching, lalu modul-modul sensor yang selain dapat mendeteksi atau sebagai masukan yang akan dibaca oleh Mikrokontroler, mikrokontroler melakukan aktifitas terhadap berbagai jenis transduser, perangkat ini juga akan dapat melakukan pengawasan terhadap perilaku, dan kondisi di sekitar tanaman hidroponik. Perilaku dan kondisi hidroponik ini dapat diketahui langsung oleh pihak sekolah yang berwenang, dengan menggunakan IoT (*Internet of Things*) sebagai sarana untuk mengetahui data dan perilaku tanaman hidroponik. [1]

Maka dari itu penyusun, membuat sebuah perangkat yang dinamakan dengan TANI-V1, perangkat ini dinamakan demikian karena merupakan inisial dari Tama sebagai mahasiswa penyusun tugas akhir, Angger, Nurul dan Ismeini, sebagai guru yang memegang tanggung jawab untuk melakukan perawatan dan penanaman tanaman hidroponik secara konvensional. Sehingga dibuatlah judul Tugas Akhir STUDI PERANCANGAN PERANGKAT HIDROPONIK TANI-V1 MENGGUNAKAN SOLAR PANEL DAN MIKROKONTROLER DI SMAN 12 PALEMBANG.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 Bagaimana merancang sistem otomatisasi dan monitoring tanaman hidroponik berbasis mikrokontroler dengan sumber daya dari panel surya di SMAN 12 Palembang?

- 2 Bagaimana mengintegrasikan sistem ini dengan menggunakan IoT untuk memantau perilaku hidroponik secara realtime?

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian ini diberikan beberapa pembatasan di masalah agar tidak terlalu luas:

1. Penelitian dilakukan di lingkungan sekolah SMAN 12 PALEMBANG di area hidroponik.
2. Penelitian difokuskan untuk melakukan perancangan perangkat untuk melakukan kontrol-otomatisasi dan monitoring perangkat hidroponik. Perancangan ini didasarkan atas perancangan elektrik, program dan mekanikal perangkat.
3. Parameter yang dilakukan analisa meliputi pendataan untuk modul-modul yang digunakan di TANI-V1 serta fokus ke sistem kendali (algoritma tertanam).
4. Penelitian dilakukan dengan metode *semi off-grid* karena ditujukan untuk melakukan aktivasi TANI-V1 saat terjadi padam listrik namun membebaskan motor AC dan lampu AC tetap menggunakan PLN.
5. TANI-V1 tidak memnahas mengenai segala sesuatu yang berhubungan dengan unjuk kerja dari PLTS *semi off-grid*.

1.4 Tujuan

Tujuan Penelitian adalah :

1. Merancang sistem otomatisasi dan monitoring tanaman hidroponik berbasis mikrokontroler yang memanfaatkan energi dari panel surya
2. Mengimplementasikan sistem *Internet of Things* (IoT) untuk memantau kondisi hidroponik seperti pH, PPM, dan kelembaban secara *real-time*
3. Mengetahui prinsip kerja solar panel dan pengendali berbasis mikro yang akan dirangkai di perangkat hidroponik SMAN 12 PALEMBANG

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah TANI-V1 untuk hidroponik di SMAN 12 Palembang adalah sebagai berikut,

1. Manfaat penelitian TANI-V1 bagi sekolah adalah untuk menghidupkan kembali sistem hidroponik sebagai media pembelajaran berbasis teknologi terbarukan.
2. Bagi kebermanfaatan secara akademik, TANI-V1 dapat menjadi referensi penerapan sistem IoT dan energi surya dalam bidang pertanian modern.
3. Untuk masyarakat TANI-V1 dapat memberikan contoh penerapan energi terbarukan dan otomatisasi yang efisien, ramah lingkungan, serta berkelanjutan.

1.6 Sistematika Penelitian

Adapun sistematika dalam penulisan laporan Skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini merupakan isi keseluruhan pokok informasi tentang latar belakang masalah, tujuan pembuatan skripsi, ruang lingkup permasalahan, metodologi pembuatan skripsi dan sistematika penyusunan skripsi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini berisi teori – teori dasar dari peralatan atau komponen yang digunakan dan juga keterangan – keterangan lain yang mendukung skripsi ini, serta teori dasar mengenai panel surya, mikrokontroler, serta modul-modul yang akan digunakan, meliputi perancangan dengan menggunakan elektrikal, program, dan fisikal.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN TANI-V1

Bab ini menjelaskan tentang pendekatan penelitian, metode penelitian, kebutuhan hardware dan software, rancangan sistem, pengujian TANI-V1 dan pengambilan kesimpulan.

BAB 4. DATA DAN PEMBAHASAN STUDI TANI-V1

Bab ini berisi tentang pengumpulan data TANI-V1 yang lebih ditekankan pada data panel surya dan mikrokontroler, karena disesuaikan dengan pembatasan masalah yang sudah ditentukan.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh pasca melakukan penelitian dan pengumpulan data dari TANI-V1 dan saran – saran yang dapat dilakukan untuk melakukan pengembangan untuk TANI-V1.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka yang digunakan sebagai materi pendukung dengan melampirkan abstrak berupa penelitian yang pernah dilakukan para peneliti terdahulu.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jaenul dkk dengan judul Pembuatan Sumber Listrik Cadangan Menggunakan Panel Surya Berbasis Internte of Things (IoT) dengan Beban Lampu dan Peralatan Listrik mendapat kesimpulan bahwa, pembuatan sumber listrik cadangan menggunakan panel surya berbasis IoT dengan beban lampu dan peralatan listrik, merupakan sebuah alat yang dapat menjadi wadah tempat penyimpanan energi dari panel surya menggunakan aki. Energi yang disimpan dapat digunakan untuk penerangan lampu dan juga pada pemakaian peralatan listrik. Penelitian dilakukan bertujuan untuk membuat sebuah alat yang dapat menyediakan sumber listrik cadangan dengan daya energi yang berasal dari sinar matahari. Guna mengatasi pemakaian sumber listrik PLN yang berlebihan dan jika terjadi pemadaman listrik pada rumah tinggal[1].

Lalu penelitian yang dilakukan untuk mengetahui manfaat dari melakukan pengadaan instalasi panel surya yang diteliti oleh Yuwono dkk dengan judul Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid. Potensi berbagai energi alternatif di Indonesia pada dasarnya sangat cukup untuk memenuhi kebutuhan aktifitas seluruh masyarakat, namun biaya investasinya yang mahal dan perawatan yang lebih rumit mengakibatkan energi alternatif masih belum menjadi pilihan utama. Energi terbarukan memiliki kecenderungan mahal karena sehingga pengembangan teknologi pemanfaatan energi tersebut menjadi terbatas dikarenakan minimnya investasi kepada sektor energi alternatif. Kebutuhan energi

di masa depan akan sangat tinggi dan sumber energi konvensional lambat laun akan habis sehingga potensi penggunaan energi alternatif menjadi tinggi. Meskipun potensi energi surya bukan merupakan jenis energi yang terbesar, namun energi surya merupakan alternatif energi yang mudah untuk dibuat secara mandiri[2].

Lalu, penelitian pengabdian yang dilakukan di desa Blang Panyang oleh Nuraini dkk dengan judul Rancangan Panel Surya Sebagai Sumber Listrik Pada Pembinaan Penghematan Energi Bagi Masyarakat Kurang Mampu di Desa Blang Panyang Kecamatan Muara Satu, Penggunaan panel surya sebagai alternatif pengganti genset maupun listrik konvensional sebagai kebutuhan listrik untuk para masyarakat miskin, selain ramah lingkungan panel surya juga tidak membutuhkan perawatan yang mahal seperti layaknya penggunaan genset, selain itu panel surya juga cocok untuk digunakan di wilayah Indonesia yang memiliki iklim tropis dan memiliki suhu panas yang cukup untuk penggunaan panel surya[3] .

Sistem Monitoring Panel Surya Secara Realtime Berbasis Arduino Uno, adalah judul penelitian yang dilakukan oleh Pratama dkk, berdasarkan judul Pratama dkk melakukan pemantauan terhadap panel surya dengan beberapa parameter. Pemantauan terhadap performa panel surya sangat perlu dilakukan untuk menilai kinerja sebuah panel surya pada kondisi lingkungan yang nyata. Penelitian yang dilakukan bertujuan memberikan suatu teknik baru pemantauan secara langsung dan real time untuk arus, tegangan, suhu, temperature dan radiasi matahari. Untuk memenuhi keperluan tersebut, sistem monitoring performa panel surya yang dirancang dilengkapi dengan sensor pengukur arus, tegangan, suhu, temperature dan radiasi matahari yang telah dikalibrasi, system monitoring dengan menggunakan PLX DAQ yang diintegrasikan ke Microsoft Excel. Perancangan sistem berbasis mikrokontroler Arduino Uno ini dihubungkan ke komputer. Hasil dari sistem monitoring ini adalah pengukuran dari setiap sensor dapat diproses secara langsung dan ditampilkan dalam bentuk grafik pada kondisi real time serta dapat memonitor performa tersebut. Informasi mengenai tegangan dan arus dari panel surya yang dikumpulkan pada kondisi real time dapat diperoleh langsung

melalui dokumen Excel yang datanya didapatkan dari database. Fasilitas ini memberikan kemudahan untuk pengolahan data[4].

Sedangkan penelitian dengan judul Rancang Bangun Rotasi Matahari Pada Panel Surya dengan Menggunakan Arduino Uno (Studi Kasus Rotasi Panel Surya) oleh Chomper dkk mendeskripsikan rancangan sistem yang mampu mengendalikan panel surya dengan 2 lintasan kebebasan berbasis mikrokontroler Arduino Uno, yaitu pergerakan arah timur ke barat sesuai rotasi bumi dan pergerakan arah utara ke selatan sesuai revolusi bumi untuk mendapatkan penjejakan titik daya maksimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa purwarupa sistem yang dirancang, mampu mengendalikan kemudi motor servo pada panel surya, baik secara otomatis dengan 2 lintasan edar untuk mendapatkan penjejakan titik daya maksimum[5].

Teknik menanam secara hidroponik adalah cara menanam tanaman dengan mengalirkan air langsung menuju akar tanaman tanpa menggunakan media tanah seperti penanaman konvensional. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ida, teknologi yang layak disebarluaskan adalah teknologi hidroponik, hal ini dikarenakan semakin langkanya lahan pertanian akibat dari banyaknya sektor industri dan jasa, sehingga kegiatan usaha pertanian konvensional semakin tidak kompetitif karena tingginya harga lahan [6], [7].

Teknologi budidaya pertanian dengan sistem hidroponik diharapkan menjadi salah satu alternatif bagi masyarakat yang mempunyai lahan terbatas atau pekarangan, sehingga dapat dijadikan sebagai sumber penghasilan yang memadai. Hidroponik merupakan metode bercocok tanam dengan menggunakan media tanam selain tanah, seperti batu apung, kerikil, pasir, sabut kelapa, potongan kayu atau busa. Hal tersebut dilakukan karena fungsi tanah sebagai pendukung akar tanaman dan perantara larutan nutrisi dapat digantikan dengan mengalirkan atau menambah nutrisi, air dan oksigen melalui media tersebut [7], [8], [9].



Gambar 2. 1 Tanaman Hidroponik[10]

Hidroponik adalah lahan budidaya pertanian tanpa menggunakan media tanah, sehingga hidroponik merupakan aktivitas pertanian yang dijalankan dengan menggunakan air sebagai medium untuk menggantikan tanah. Sehingga sistem bercocok tanam secara hidroponik dapat memanfaatkan lahan yang sempit. Pertanian dengan menggunakan sistem hidroponik memang tidak memerlukan lahan yang luas dalam pelaksanaannya, tetapi dalam bisnis pertanian hidroponik hanya layak dipertimbangkan mengingat dapat dilakukan di pekarangan rumah, atap rumah maupun lahan lainnya. [6], [11], [12]

Tabel 2. 1 Tanaman Hidroponik SMAN 12 Palembang

Kategori	Sawi	Pakcoy
Nama Ilmiah	Brassica juncea	Breassica rapa subp chinesis
Bentuk Daun	Lebih lonjong dan bergelombang	Lebih lebar, halus, dan berwarna hijau terang
Rasa	Lebih tajam dan sedikit pahit	Lebih ringan dan manis

Kategori	Sawi	Pakcoy
Pertumbuhan	Lebih cepat dibanding pakcoy	Sedikit lebih lambat matang dibanding sawi
Jarak Tanam	15-20 cm	10 – 14 cm
Lama Panen	25 – 30 hari setelah semai	30 – 40 hari setelah semai
pH Optimal	5.5 – 6.5	5.5 – 6.5
PPM Optimal (EC)	80 – 1200 (1.2 – 1.8 mS/cm)	700 – 1200 ppm (1.0 – 1.8 mS/cm)
Suhu Air Optimal	18 – 26 C	18 – 26 C
Sistem Hidroponik Kompatibel	NFT, DFT, rakit apung	NFT, DFT, rakit apung
Kebutuhan Oksigen dalam Air	Sedang - Tinggi	Tinggi, perlu aerasi lebih baik
Ketahanan terhadap Hama	Lebih tahan terhadap penyakit akar dan jamur	Lebih rentan terhadap serangan kutu dan thrips
Ketahanan Terhadap Cuaca Panas	Cukup tahan	Lebih tahan dibanding sawi
Ketahanan terhadap Cuaca Dingin	Cukup rentan	Lebih tahan dibanding sawi
Potensi Over-fertilization (kelebihan nutrisi)	Lebih tahan terhadap PPM tinggi	Lebih sensitif terhadap PPM tinggi
Kandungan Nutrisi	Tinggi vitamin A, C, dan K	Kaya serat, vitamin C, dan kalsium

Kategori	Sawi	Pakcoy
Penggunaan dalam Masakan	Lebih sering digunakan dalam tumisan dan sayur berkuah karena rasa yang dominan pahit	Cocok untuk salad, sup, atau tumisan ringan

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut maka dilakukan penggabungan dan integrasi terpadu antara fisik dan non fisik alat, dengan menggunakan TANI-V1 pengaplikasian hidroponik akan bersifat otomatisasi dan pendataannya dapat dilakukan secara langsung dengan fitur otomatis IoT yang menghubungkan perangkat fisik yang sudah ditanamkan program dengan jaringan internet ke telegram dan GoogleSpreadsheet.

2.2 Landasan Teori

Landasan teori merupakan dasar konseptual yang menjadi pijakan dalam penyusunan dan pelaksanaan penelitian ini. Teori-teori yang dibahas dalam bagian ini berfungsi untuk memberikan pemahaman yang mendalam serta memperkuat argumentasi mengenai teknologi dan konsep yang digunakan dalam sistem yang dirancang. Setiap teori yang dikemukakan relevan dengan komponen utama dalam penelitian, seperti *Internet of Things* (IoT), mikrokontroler, sensor, aktuator, sistem tenaga surya (PLTS), serta media tanam hidroponik. Dengan merujuk pada literatur dan penelitian terdahulu, penulis berharap kajian teoritis ini dapat memberikan landasan yang kuat dalam menganalisis dan merancang sistem secara sistematis, efisien, dan terukur.

2.3 PLTS Off Grid

Panel surya adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan prinsip efek fotovoltaiik. Di dalam panel surya terdapat komponen utama yang disebut sel surya (solar cell), biasanya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Ketika cahaya matahari mengenai permukaan sel surya, energi foton dari cahaya tersebut akan membangkitkan pergerakan elektron di dalam material semikonduktor, sehingga menghasilkan arus listrik searah (DC).[1], [13]

Panel surya tersedia dalam berbagai jenis, di antaranya monocrystalline, polycrystalline, dan thin-film. Panel monocrystalline memiliki efisiensi tinggi dan umur pemakaian panjang, sedangkan panel polycrystalline memiliki harga lebih terjangkau dengan efisiensi sedikit lebih rendah. Sementara itu, panel jenis thin-film lebih tipis dan fleksibel, namun efisiensinya paling rendah dibanding dua jenis lainnya. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem pembangkit energi listrik yang memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energinya. PLTS terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu panel surya untuk menangkap energi matahari, solar charge controller (SCC) untuk mengatur aliran daya dari panel ke baterai, baterai sebagai penyimpan energi, serta inverter yang mengubah listrik DC menjadi AC jika dibutuhkan oleh beban [14], [15], [16]

Dalam sistem PLTS, listrik yang dihasilkan oleh panel surya akan disalurkan ke SCC[17], kemudian dialirkan ke baterai untuk disimpan dan digunakan saat diperlukan, seperti pada malam hari atau saat cuaca mendung. PLTS dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis sistem, yaitu sistem on-grid yang terhubung ke jaringan PLN, sistem off-grid yang berdiri sendiri tanpa koneksi jaringan, dan sistem hybrid yang merupakan gabungan keduanya. Sistem PLTS sangat cocok digunakan di negara tropis seperti Indonesia yang memiliki intensitas penyinaran matahari tinggi sepanjang tahun, serta menjadi solusi energi bersih yang ramah lingkungan dan berkelanjutan [14], [18]



Gambar 2. 2 Panel Surya[19]

Panel surya bekerja berdasarkan prinsip fotovoltaiik, yaitu kemampuan material semikonduktor seperti silikon untuk menghasilkan arus listrik ketika terkena cahaya matahari. Secara matematis, hubungan antara arus keluaran dan tegangan dari panel surya dijelaskan dengan menggunakan model satu dioda (one-diode model)[20], [21], [22].

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{nKT}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

Dengan:

I = Arus Keluaran Panel (A)

I_{ph} = Arus fotovoltaiik , tergantung intensitas cahaya

I_0 = Arus saturasi balik dioda (A)

q = Muatan Elektron ($1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$)

V = Tegangan output panel surya (V)

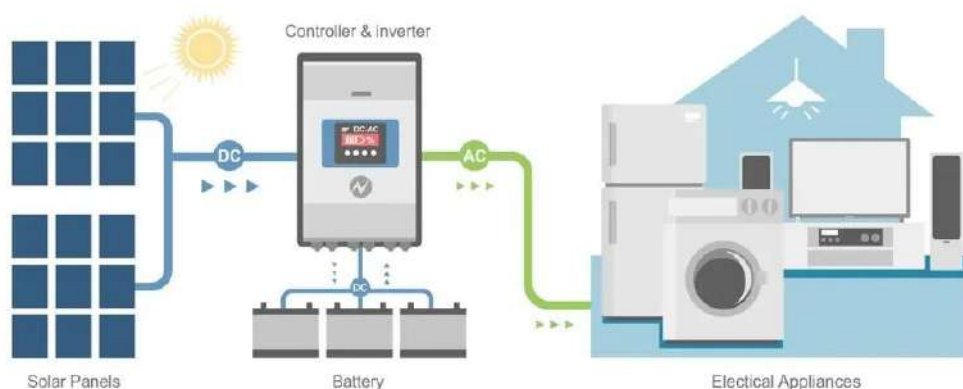
n = faktor identitas dioda (antara 1 – 2)

k = konstanta boltzman $\left(\frac{1,38 \cdot 10^{-23} \text{J}}{\text{K}} \right)$

T = Suhu Absolute (K)

Dalam persamaan ini, adalah arus keluaran panel, adalah arus fotovoltaiik yang dihasilkan akibat penyinaran cahaya, adalah arus saturasi balik dari dioda, adalah muatan elektron, adalah tegangan keluaran panel, nnn adalah faktor idealitas dioda, adalah konstanta Boltzmann, dan adalah suhu absolut dalam Kelvin. Persamaan ini menunjukkan bahwa arus keluaran panel surya bergantung pada dua faktor utama yaitu intensitas cahaya (melalui) dan tegangan keluaran . Ketika tidak ada cahaya panel surya akan bertindak seperti dioda biasa, tidak menghasilkan arus listrik[23], [24], [25], [26].

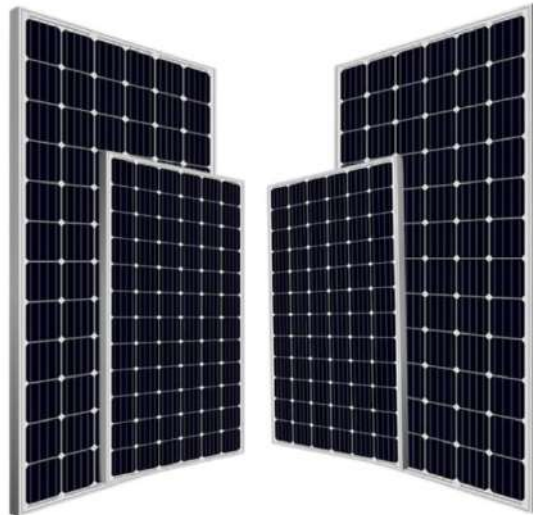
PLTS off-grid adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang berdiri sendiri tanpa terhubung dengan jaringan listrik PLN. Sistem ini umumnya dipakai di daerah terpencil atau lokasi yang memang tidak memiliki akses listrik dari jaringan utama. Prinsip kerjanya adalah panel surya menangkap energi cahaya matahari lalu mengubahnya menjadi listrik searah (DC) yang kemudian diatur oleh solar charge controller (SCC) untuk mengisi baterai. Baterai berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi sehingga listrik dapat tetap digunakan saat malam hari atau ketika cuaca mendung. Jika beban yang digunakan berupa peralatan rumah tangga yang umumnya menggunakan listrik arus bolak-balik (AC), maka diperlukan inverter untuk mengubah arus searah dari baterai menjadi arus bolak-balik. Kelebihan dari PLTS off-grid adalah dapat memberikan kemandirian energi, bebas dari pemadaman listrik PLN, dan sangat cocok untuk daerah yang jauh dari jangkauan jaringan listrik. Namun, kekurangannya terletak pada biaya awal yang relatif tinggi karena membutuhkan baterai dalam jumlah besar serta perawatan baterai yang harus rutin dilakukan. Selain itu, kapasitas listrik yang dihasilkan sangat bergantung pada kapasitas panel dan baterai sehingga jika baterai habis pada malam hari atau cuaca buruk berkepanjangan, maka sistem tidak dapat menyuplai listrik ke beban[27], [28], [29]



Gambar 2. 3 PLTS Off Grid[30]

2.4 Panel Surya Monokristalin

Panel surya monokristalin terbuat dari satu kristal silikon utuh yang memiliki struktur kristal yang seragam. Ciri khas dari panel ini adalah warnanya yang hitam pekat dan sudut-sudut sel yang berbentuk membulat. Panel jenis ini dikenal memiliki efisiensi konversi energi tertinggi di antara ketiga jenis panel, yaitu berkisar antara 18% hingga 22%. Kelebihan utama panel monokristalin adalah performa tinggi dalam ruang terbatas dan daya tahan lebih lama, bahkan hingga lebih dari 25 tahun. Namun, panel ini juga memiliki harga yang lebih mahal karena proses produksinya yang lebih kompleks dan membutuhkan silikon berkualitas tinggi.

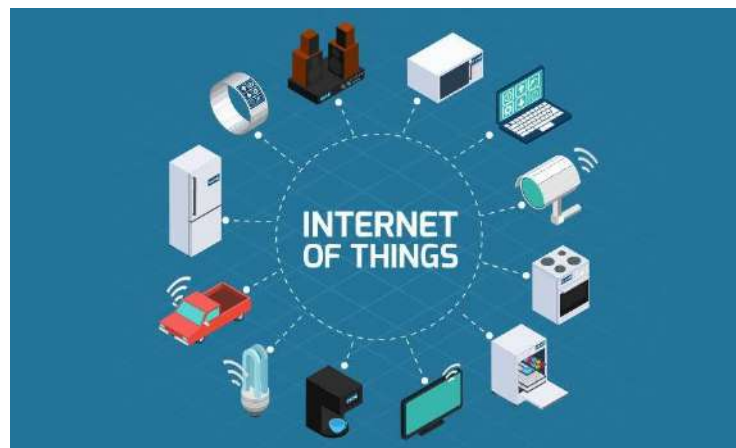


Gambar 2. 4 Panel Surya Monokristal[31]

2.5 *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang merujuk pada jaringan perangkat fisik yang saling terhubung melalui internet dan mampu mengumpulkan, mengirimkan, serta bertukar data tanpa campur tangan manusia secara langsung. Perangkat-perangkat ini dapat berupa sensor, aktuator, perangkat elektronik, hingga mesin industri, yang dilengkapi dengan sistem komputasi, komunikasi, dan perangkat lunak pendukung.

IoT memungkinkan integrasi antara dunia fisik dan digital, sehingga data dari lingkungan nyata dapat dianalisis dan direspons secara otomatis dalam waktu nyata. Menurut *International Telecommunication Union* (ITU), IoT merupakan infrastruktur global untuk masyarakat informasi yang memungkinkan layanan canggih dengan menghubungkan (secara fisik dan virtual) berbagai objek berdasarkan teknologi informasi dan komunikasi yang ada[32].



Gambar 2. 5 *Internet of Things* Integrasi Fisik dan Digital[33]

IoT menciptakan ekosistem pintar (smart environment) di berbagai sektor seperti rumah pintar (smart home), industri (industrial IoT), pertanian, kesehatan, dan transportasi, yang semuanya bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, kenyamanan, serta penghematan sumber daya. Menurut laporan dari Statista (2024), jumlah 30 perangkat IoT diperkirakan melebihi 30 miliar unit secara global, yang menunjukkan pertumbuhan signifikan dalam adopsi teknologi ini. IoT adalah kelanjutan dari perkembangan internet yang menghubungkan "benda" (*things*) alih-alih hanya "orang" (*people*), menjadikan dunia lebih terhubung secara cerdas. Dengan kombinasi teknologi seperti *cloud computing*, *big data*, dan *artificial intelligence* (AI).

IoT berperan penting dalam mendukung transformasi digital di era Revolusi Industri 4.0. Berdasarkan konsepnya IoT adalah sebagai berikut:

- a. Arsitektur IoT terdiri dari beberapa lapisan dan komponen yang saling terintegrasi untuk memungkinkan pengumpulan, pengolahan, dan pemanfaatan

data secara otomatis. Proses dimulai dari perangkat fisik seperti sensor, aktuator, dan smart devices, yang bertugas mengumpulkan data lingkungan dan melakukan tindakan berdasarkan instruksi yang diterima. Perangkat ini terhubung ke *gateway*, yang berfungsi sebagai penghubung antara perangkat di lapangan dengan sistem *cloud*. *Gateway* ini juga dapat melakukan pemrosesan awal pada data seperti penyaringan atau pengkodean sebelum data dikirim lebih lanjut ke *cloud gateway*, yaitu titik masuk utama data menuju platform *cloud*. Setelah itu, data akan diproses oleh *streaming data processor* yang menangani aliran data secara *real-time*, memungkinkan analisis dan respons cepat terhadap perubahan yang terjadi.

b. Data mentah yang diterima akan disimpan dalam data lake, yang berfungsi sebagai penyimpanan skala besar untuk berbagai jenis data tanpa harus segera diproses. Dari sana, data yang telah diolah akan dipindahkan ke *big data warehouse*, yaitu tempat penyimpanan data yang sudah terstruktur dan siap digunakan untuk analisis lanjutan. Di sisi lain, data ini juga dapat dimanfaatkan oleh model *machine learning* untuk mempelajari pola dan membangun prediksi atau klasifikasi yang dapat diintegrasikan kembali ke dalam sistem melalui control applications. Aplikasi kontrol ini akan mengatur bagaimana sistem harus merespon berdasarkan logika yang telah ditentukan atau hasil analisis prediktif.

c. Data dan hasil pemrosesan juga tersedia untuk pengguna melalui *web application* dan *mobile application*, yang berfungsi sebagai antarmuka untuk monitoring dan pengendalian sistem dari jarak jauh. Pengambilan keputusan berbasis data ini didukung oleh komponen *user business logic*, yang merupakan implementasi dari aturan atau kebijakan pengguna dalam sistem. Selain itu, data yang terkumpul dianalisis secara mendalam melalui modul *data analytics* guna menghasilkan wawasan atau tren yang berguna. Arsitektur ini juga dilengkapi dengan modul *device administration* untuk pengelolaan perangkat keras, *user administration* untuk mengatur hak akses pengguna, serta *security monitoring* guna menjaga keamanan sistem dari ancaman siber dan akses tidak sah. Keseluruhan sistem ini mendemonstrasikan ekosistem IoT yang kompleks namun efisien, mampu

mengintegrasikan data dari dunia fisik ke dalam proses digital yang cerdas dan adaptif.

2.5.1 Google Firebase

Firebase merupakan platform pengembangan aplikasi berbasis *cloud* yang disediakan oleh Google untuk mendukung pengembangan aplikasi web dan mobile secara cepat dan terintegrasi. Firebase menyediakan berbagai layanan backend-as-a-service (BaaS) yang memungkinkan pengembang untuk membangun sistem secara efisien tanpa harus mengelola infrastruktur server secara manual. Sejak diakuisisi oleh Google pada tahun 2014, Firebase telah berkembang menjadi salah satu platform *cloud* paling populer di kalangan pengembang karena kemudahan penggunaan, skalabilitas, serta kemampuannya untuk menangani data secara *real-time*[32] .



Gambar 2. 6 Google Firebase[34]

Firebase juga menyediakan layanan *Firebase Authentication* yang mendukung berbagai metode otentikasi pengguna, mulai dari email dan kata sandi hingga integrasi dengan layanan pihak ketiga seperti Google, Facebook, dan GitHub. Dengan fitur ini, sistem dapat mengelola akses pengguna dengan aman dan efisien. Di sisi lain, Firebase memiliki *Firebase Cloud Messaging* (FCM) yang dapat digunakan untuk mengirim notifikasi push secara gratis ke berbagai perangkat.

Firebase juga mendukung penyimpanan file melalui *Firebase Cloud Storage*, serta analisis aplikasi melalui integrasi dengan Google Analytics for

Firestore. Firestore dapat diintegrasikan dengan berbagai bahasa pemrograman seperti JavaScript, Python, Java, Swift, dan lainnya. Dengan tersedianya REST API, Firestore juga mendukung fleksibilitas tinggi untuk sistem IoT dan perangkat mikrokontroler seperti ESP32, NodeMCU, dan Arduino yang memiliki konektivitas internet. Dalam konteks pengembangan sistem hidroponik berbasis IoT, Firestore dapat digunakan untuk menyimpan data sensor seperti suhu, kelembaban, dan pH secara *real-time*, serta memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengendalikan perangkat dari jarak jauh melalui antarmuka aplikasi web atau mobile. Dengan kemampuannya dalam manajemen data *real-time*, keamanan otentikasi pengguna, pengiriman notifikasi otomatis, serta pengolahan event berbasis fungsi *cloud*, Firestore menjadi solusi yang sangat relevan dalam pengembangan sistem cerdas berbasis IoT yang terhubung ke internet secara terus menerus.

2.5.2 Google Spreadsheet

Google Spreadsheet adalah aplikasi pengolah data berbasis web yang merupakan bagian dari Google Workspace (sebelumnya dikenal sebagai G Suite). Aplikasi ini menyediakan antarmuka spreadsheet yang mirip dengan Microsoft Excel, namun berjalan secara daring dan memungkinkan kolaborasi waktu nyata antar pengguna.

Selain sebagai alat pengolahan data, Google Spreadsheet juga memiliki kemampuan sebagai platform penyimpanan dan pemantauan data berbasis *cloud*, yang sangat bermanfaat dalam pengembangan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT), khususnya dalam konteks pemantauan dan pencatatan data sensor secara otomatis. Salah satu keunggulan utama Google Spreadsheet adalah kemampuannya untuk diintegrasikan dengan layanan lain melalui Google Apps Script dan *Application Programming Interface* (API).



Gambar 2. 7 Google Spreadsheet[35]

Penggunaan Google Spreadsheet dalam sistem monitoring IoT juga diperkuat dengan ketersediaan Google Apps Script, yaitu platform pemrograman berbasis JavaScript yang berjalan di server Google. Dengan Apps Script, pengembang dapat mengatur otomatisasi data, pembuatan laporan berkala, hingga pengiriman email atau notifikasi berdasarkan kondisi tertentu yang terbaca dari data spreadsheet. Misalnya, jika nilai sensor suhu melebihi ambang batas, maka sistem dapat secara otomatis mengirimkan peringatan kepada pengguna melalui email. Dengan berbagai kemudahan integrasi, fleksibilitas API, kemampuan scripting, serta ketersediaan akses *cloud* secara gratis, Google Spreadsheet menjadi salah satu pilihan populer sebagai backend ringan dalam sistem pencatatan dan monitoring data IoT. Penggunaan Google Spreadsheet sangat cocok untuk prototipe sistem, proyek edukasi, maupun sistem skala kecil hingga menengah yang memerlukan pencatatan data *real-time* dan akses kolaboratif dari berbagai lokasi.

2.5.3 Telegram

Telegram merupakan sebuah aplikasi pesan instan berbasis *cloud* yang mendukung pertukaran pesan teks, media, dan data secara *real-time* melalui koneksi internet. Dikembangkan oleh Pavel Durov, Telegram menawarkan API yang terbuka dan mendukung integrasi dengan berbagai platform, termasuk mikrokontroler dan sistem IoT (*Internet of Things*) seperti Arduino, ESP8266, dan ESP32.

Salah satu fitur utama dari Telegram yang memungkinkan penggunaannya dalam sistem kontrol dan monitoring adalah Telegram Bot API. Telegram Bot adalah akun khusus yang dapat berinteraksi dengan pengguna atau sistem melalui perintah (commands), pesan otomatis, dan callback yang diatur oleh pemrograman. Bot ini dapat dibuat dan dikustomisasi oleh pengguna dengan menggunakan layanan @BotFather, yang kemudian menghasilkan token autentikasi untuk integrasi dengan perangkat IoT.



Gambar 2. 8 Aplikasi Telegram[36]

Dalam konteks sistem berbasis Arduino Mega 2560 WiFi dengan modul ESP8266, Telegram berperan sebagai antarmuka komunikasi antara pengguna dan perangkat. Modul ESP8266 yang tertanam pada board Arduino Mega 2560 WiFi memiliki kemampuan koneksi ke jaringan Wi-Fi, sehingga dapat digunakan untuk mengirim dan menerima pesan dari server Telegram melalui protokol HTTP atau HTTPS menggunakan library tertentu seperti UniversalTelegramBot dan WiFiEsp. Integrasi ini memungkinkan pengguna untuk [32].

Monitoring jarak jauh, seperti membaca data sensor suhu, kelembaban, gas, dan lainnya, yang dikirimkan secara berkala atau berdasarkan permintaan ke akun Telegram pengguna. Kontrol jarak jauh, seperti mengaktifkan atau menonaktifkan aktuatur (pompa, relay, kipas, lampu) dengan perintah berbasis teks seperti /on, /off, atau perintah kustom lainnya. Keunggulan penggunaan Telegram dalam sistem kendali dan pemantauan berbasis Arduino antara lain. *Real-time Communication*,

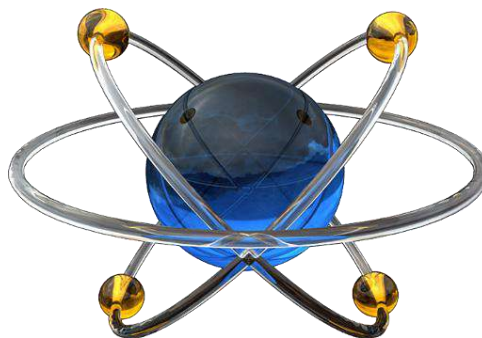
Pengiriman dan penerimaan pesan dapat dilakukan dengan latensi rendah. *User-friendly Interface*. Tidak memerlukan aplikasi tambahan karena cukup menggunakan aplikasi Telegram. Keamanan dan Autentikasi, Dapat dibatasi hanya pada pengguna tertentu melalui ID pengguna Telegram atau sistem token. Cross-platform, Dapat diakses melalui berbagai perangkat (*smartphone*, tablet, desktop).

Dengan fitur-fitur tersebut, Telegram menjadi pilihan yang efisien dan praktis dalam pengembangan sistem monitoring dan kendali berbasis mikrokontroler, khususnya dalam implementasi sistem IoT yang membutuhkan interaksi langsung antara pengguna dan perangkat melalui jaringan internet.

2.7 Software

2.7.1 Proteus Profesional

Proteus Professional dikembangkan oleh Labcenter Electronics, sebuah perusahaan yang didirikan oleh John Jameson pada tahun 1988 di Inggris. Perangkat lunak ini awalnya dirancang untuk menyediakan solusi simulasi dan desain sirkuit elektronik yang terintegrasi. Sejak peluncurannya, Proteus telah berkembang menjadi alat yang mendukung simulasi berbagai mikrokontroler dan komponen elektronik lainnya, memungkinkan desainer untuk menguji dan memvalidasi desain mereka sebelum produksi fisik. Fitur utamanya mencakup desain skematik, simulasi SPICE, dan desain PCB, yang semuanya terintegrasi dalam satu platform.



Gambar 2. 9 Proteus Profesional[37]

2.7.2 Arduino IDE

Arduino Integrated Development Environment (IDE) merupakan 36 lingkungan pengembangan yang dirancang untuk memprogram papan mikrokontroler Arduino. Sejarahnya bermula pada tahun 2003 ketika Hernando Barragán, sebagai bagian dari tesis masternya di Interaction Design Institute Ivrea (IDII) di Italia, mengembangkan platform Wiring. Tujuan dari Wiring adalah untuk menyederhanakan proses pemrograman mikrokontroler bagi desainer dan seniman. Proyek ini diawasi oleh Massimo Banzi dan Casey Reas. Kemudian, pada tahun 2005, Massimo Banzi bersama David Cuartielles, David Mellis, dan Gianluca Martino mem-porting Wiring ke arsitektur prosesor Atmel AVR8 dan menamainya Arduino. Arduino IDE pertama kali dirilis pada tahun 2007, menyediakan antarmuka yang sederhana dan mendukung bahasa pemrograman berbasis Wiring (turunan dari C/C++), memungkinkan pengguna untuk dengan mudah menulis dan mengunggah kode ke papan Arduino. Seiring waktu, Arduino IDE telah berkembang dengan menambahkan dukungan untuk berbagai papan dan mikrokontroler, serta meningkatkan fitur dan stabilitasnya.



Gambar 2. 10 Arduino IDE[38]

2.8 Alat Ukur Pengukuran

2.8.1 MultiMeter

Multimeter, yang dikenal juga sebagai AVOMeter, pertama kali dikembangkan oleh Donald Macadie, seorang insinyur di British Post Office, pada

awal 1920-an. Macadie merasa tidak efisien harus membawa berbagai alat ukur terpisah untuk mengukur arus (amperemeter), tegangan (voltmeter), dan resistansi (ohmmeter) saat memelihara sirkuit telekomunikasi. Untuk mengatasi masalah ini, ia merancang sebuah alat yang mampu mengukur ketiga parameter tersebut dalam satu perangkat, yang kemudian dikenal sebagai AVOMeter, singkatan dari Ampere, Volt, dan Ohm . Pada tahun 1923, Macadie memperoleh paten untuk desainnya dan bekerja sama dengan Automatic Coil Winder and Electrical Equipment Company (ACWEECO) untuk memproduksi AVOMeter secara komersial. Alat ini menjadi standar dalam industri dan digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi teknik dan elektronik .



Gambar 2. 11 Multimeter[39]

Perkembangan dari Waktu ke Waktu Sejak diperkenalkan, multimeter telah mengalami berbagai evolusi. 1920-an hingga 1950-an, Multimeter awal menggunakan tampilan analog dengan jarum penunjuk pada skala. Model-model seperti AVOMeter Model 8, diperkenalkan pada tahun 1951, menjadi sangat populer dan diproduksi hingga 2008 . 1950-an hingga 1970-an, Perbaikan dalam desain dan komponen meningkatkan akurasi dan keandalan multimeter analog. 1970-an hingga 1980-an, Perkembangan teknologi semikonduktor memungkinkan munculnya multimeter digital (DMM). Pada tahun 1977, Frank Bishop dari Intron Electronics mengembangkan multimeter digital genggam pertama, memberikan kemudahan dalam pengukuran di lapangan. 1990-an hingga sekarang, Multimeter digital terus berkembang dengan fitur tambahan seperti pengukuran kapasitansi,

frekuensi, suhu, dan konektivitas ke komputer atau perangkat pintar untuk analisis data lebih lanjut.

Multimeter beroperasi berdasarkan prinsip-prinsip dasar pengukuran listrik, yang meliputi tegangan, arus, dan resistansi. Dalam mengukur tegangan (voltase), multimeter mendeteksi perbedaan potensial antara dua titik pada suatu rangkaian. Untuk tegangan DC, perangkat ini menggunakan pembagi tegangan internal agar sinyal masuk berada dalam kisaran yang aman dan terukur. Pada multimeter analog, perubahan tegangan menyebabkan gerakan jarum penunjuk, sedangkan multimeter digital mengandalkan konversi sinyal analog ke digital melalui komponen Analog-to-Digital Converter (ADC) untuk menampilkan nilai secara numerik.

Dalam pengukuran arus listrik (ampere), multimeter harus dihubungkan secara seri dengan beban sehingga arus mengalir melewati alat. Aliran arus ini menyebabkan defleksi pada jarum indikator (pada versi analog) atau ditampilkan sebagai angka digital. Untuk menjaga keamanan perangkat, sebagian besar multimeter dilengkapi sekering internal sebagai perlindungan terhadap arus berlebih.

Pengukuran resistansi (ohm) dilakukan dengan mengalirkan arus kecil ke komponen yang diukur, lalu menghitung tegangan yang muncul. Berdasarkan hukum Ohm ($V = I \times R$), resistansi dapat dihitung dari hubungan antara arus dan tegangan tersebut. Pada multimeter digital, nilai resistansi langsung ditampilkan secara akurat dalam bentuk angka. Dengan ketiga prinsip ini, multimeter menjadi alat ukur penting yang multifungsi dalam berbagai aplikasi kelistrikan dan elektronika.

2.8.2 pH Meter

Sejarah dan Penemu Konsep pH pertama kali diperkenalkan oleh ilmuwan asal Denmark, Søren Peter Lauritz Sørensen, pada tahun 1909 di laboratorium Carlsberg. Ia memperkenalkan skala pH sebagai cara untuk mengukur keasaman atau kebasaan larutan secara logaritmik berdasarkan konsentrasi ion hidrogen (H^+). Namun, pH meter sebagai alat pengukuran digital atau elektronik belum ditemukan

saat itu pengukuran pH dilakukan dengan indikator warna seperti lakmus dan indikator universal.



Gambar 2. 12 PH Meter[40]

Perubahan besar terjadi pada tahun 1934 ketika Arnold Orville Beckman, seorang profesor kimia dari California Institute of Technology (Caltech), mengembangkan pH meter elektronik pertama. Beckman menciptakan alat ini untuk memenuhi permintaan temannya yang kesulitan mengukur pH jus lemon secara akurat menggunakan metode indikator warna. Penemuannya menjadi fondasi dari alat pH meter modern, dan Beckman kemudian mendirikan perusahaan Beckman Instruments, yang berkembang menjadi salah satu produsen alat ukur ilmiah terbesar di dunia. Perkembangan dari Masa ke Masa Setelah Beckman menciptakan pH meter elektronik pertama, alat ini mengalami banyak peningkatan dalam akurasi, portabilitas, dan kemudahan kalibrasi.

Awalnya, pH meter menggunakan tabung vakum dan hanya tersedia sebagai alat laboratorium besar. Pada tahun 1950-an hingga 1970-an, pH meter mengalami miniaturisasi dengan penggunaan komponen elektronik *solid-state*, sehingga memungkinkan dibuatnya pH meter portabel. Pada dekade 1980-an hingga

sekarang, pH meter digital menjadi lebih umum dan terjangkau. Teknologi mikroprosesor memungkinkan kalibrasi otomatis, koreksi suhu otomatis (ATC – Automatic Temperature Compensation), dan tampilan hasil pengukuran secara digital dalam hitungan detik. Kini, pH meter tersedia 39 dalam bentuk pena genggam, desktop lab meter, hingga sensor pH yang terhubung ke sistem IoT dan dapat memantau pH secara *real-time* dalam sistem industri dan pertanian (seperti hidroponik dan perikanan). Prinsip Kerja pH meter bekerja berdasarkan pengukuran perbedaan potensial listrik (tegangan) yang timbul dari aktivitas ion hidrogen (H^+) dalam larutan. Alat ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu elektroda pengukur (biasanya elektroda gelas) dan elektroda referensi. Kedua elektroda ini direndam dalam larutan yang akan diukur. Elektroda pengukur memiliki membran kaca khusus yang sensitif terhadap ion H^+ . Saat membran ini bersentuhan dengan larutan, ion H^+ dari larutan menempel di permukaan membran dan menciptakan tegangan listrik.

Tegangan yang dihasilkan oleh elektroda pengukur dalam sensor pH dibandingkan dengan tegangan dari elektroda referensi yang memiliki karakteristik stabil, karena mengandung larutan dengan konsentrasi tetap—umumnya larutan kalium klorida (KCl) jenuh yang dilengkapi dengan elektroda perak-klorida (Ag/AgCl) atau kalomel. Perbedaan potensial listrik yang terjadi antara kedua elektroda ini sebanding dengan konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam larutan yang diukur.

Tegangan tersebut kemudian diolah oleh rangkaian elektronik dan dikonversi menjadi nilai pH menggunakan persamaan Nernst. Hasil pengukuran pH biasanya berada dalam skala 0 hingga 14, dengan interpretasi sebagai berikut: pH = 7 menandakan kondisi netral, pH di bawah 7 menunjukkan sifat asam, dan pH di atas 7 menunjukkan sifat basa. Sensor pH modern umumnya telah dilengkapi dengan sistem elektronik digital yang memungkinkan pembacaan hasil lebih akurat dan responsif terhadap perubahan ionik dalam larutan, dilengkapi dengan kompensasi suhu otomatis, karena suhu dapat mempengaruhi aktivitas ion dan

tegangan elektroda. Dengan fitur ini, pengukuran menjadi lebih akurat meskipun suhu larutan berubah-ubah.

2.8.3 PPM Meter

PPM meter, sering disebut juga sebagai *Total Dissolved Solids* (TDS) meter, digunakan untuk mengukur konsentrasi ion terlarut dalam larutan, biasanya dinyatakan dalam satuan *parts per million* (ppm). Alat ini berkembang dari teknologi konduktivitas listrik yang telah dipelajari sejak awal abad ke-20. Pada awalnya, pengukuran konduktivitas dilakukan menggunakan konduktometer sederhana dengan elektroda platina. Seiring waktu, alat ukur konduktivitas menjadi lebih portabel dan mudah digunakan.

Pada tahun 1980-an, teknologi *Total Dissolved Solids* (TDS) meter digital mulai diperkenalkan, memungkinkan pengguna untuk mengukur kadar zat terlarut dalam air secara cepat dan akurat. Hingga kini, PPM meter tersedia dalam berbagai bentuk, termasuk model genggam dengan fitur digital, kalibrasi otomatis, dan konektivitas nirkabel untuk pemantauan jarak jauh.



Gambar 2. 13 TDS Meter[41], [42]

Prinsip kerja PPM meter didasarkan pada pengukuran konduktivitas listrik larutan. Ion-ion terlarut dalam air seperti garam, mineral, dan logam meningkatkan kemampuan air dalam menghantarkan arus listrik. Untuk mengukurnya, PPM meter menggunakan sepasang elektroda yang ditempatkan dalam larutan, lalu mengalirkan arus listrik kecil. Alat kemudian mengukur seberapa baik larutan menghantarkan listrik (konduktivitas listrik). Nilai konduktivitas yang diukur ini selanjutnya dikonversi menjadi nilai *Total Dissolved Solids* (TDS) dalam satuan *parts per million* (ppm) menggunakan faktor konversi tertentu. Nilai faktor konversi ini tergantung pada jenis larutan, namun umumnya berada dalam kisaran 0,5 hingga 0,7. Sebagai contoh, jika konduktivitas larutan adalah 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan faktor konversi yang digunakan adalah 0,5, maka nilai TDS-nya adalah 500 ppm.

2.9 Solar Charge Controller (SCC) PWM

Alat ini memiliki peran penting dalam menjaga efisiensi pengisian baterai dan memperpanjang umur baterai dengan mencegah *overcharging* (pengisian berlebih) dan *overdischarging* (pengosongan berlebih). SCC juga dapat melindungi baterai dari arus balik saat malam hari, ketika tidak ada produksi daya dari panel surya. Dalam sistem *semi off-grid* (tidak terhubung ke jaringan listrik umum), SCC adalah komponen vital yang menjaga kestabilan sistem dan mencegah kerusakan pada komponen lainnya, terutama baterai. Prinsip Kerja Solar Charge Controller Prinsip kerja SCC didasarkan pada pengaturan tegangan dan arus dari panel surya ke baterai dengan menggunakan metode kontrol elektronik. SCC bekerja dengan membaca level tegangan baterai dan menyesuaikan arus pengisian yang masuk agar sesuai dengan kebutuhan baterai.

SCC jenis *Pulse Width Modulation* (PWM) bekerja dengan cara menyalakan dan mematikan arus dari panel surya ke baterai dengan kecepatan tinggi. Dengan mengatur lebar pulsa (*duty cycle*), SCC tipe PWM mengatur jumlah energi yang dialirkan ke baterai. Namun, SCC PWM hanya menurunkan tegangan output dari panel sesuai dengan tegangan baterai, sehingga efisiensi tidak maksimal terutama saat perbedaan tegangan cukup besar.



Gambar 2. 14 SCC Jenis PWM[43]

2.10 Persamaan Error

Untuk mengevaluasi tingkat ketelitian atau akurasi suatu sistem pengukuran, biasanya digunakan persentase error atau percentage error. Persentase error menunjukkan seberapa besar perbedaan antara nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya (acuan/teoritis).

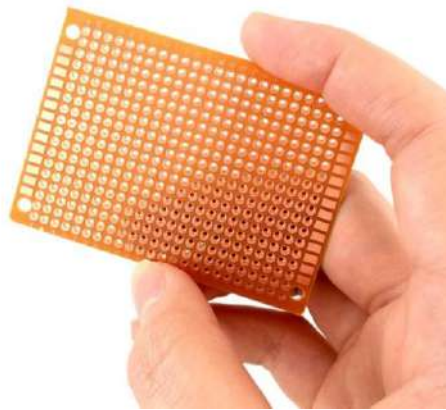
$$\%Error = \frac{Data\ Error}{Total\ Data} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

Data error merupakan jumlah atau besarnya data yang dinyatakan salah, menyimpang, atau tidak sesuai dengan nilai referensi atau standar. Total data adalah keseluruhan jumlah data yang diukur, diamati, atau dianalisis dalam suatu proses pengujian. Persentase error (%Error) kemudian dihitung untuk menunjukkan tingkat kesalahan keseluruhan dari data yang diperoleh, sehingga memberikan gambaran mengenai tingkat akurasi dan keandalan sistem atau metode pengukuran yang digunakan.

2.11 PCB

Prinsip Kerja *Printed Circuit Board* (PCB) terletak pada pengaturan jalur konduktor di atas substrat non-konduktif. Setiap jalur dirancang untuk menghubungkan pin antar komponen, seperti resistor, kapasitor, IC, transistor, atau konektor eksternal, agar arus listrik mengalir sesuai dengan rancangan sirkuit elektronik. PCB merupakan komponen penting dalam sistem elektronik yang

tersusun dari beberapa lapisan utama. Lapisan paling dasar adalah substrat, yang umumnya terbuat dari fiberglass FR-4, berfungsi sebagai penopang mekanis dan isolator bagi keseluruhan papan. Di atas substrat terdapat lapisan konduktor berupa tembaga yang membentuk jalur sirkuit sebagai penghantar arus listrik antar komponen.



Gambar 2. 15 PCB Matriks[44]

Lapisan ini kemudian dilapisi oleh solder mask, yaitu pelindung berwarna (biasanya hijau) yang berfungsi untuk mencegah oksidasi dan hubungan pendek saat proses penyolderan. Di bagian paling atas terdapat lapisan *silkscreen* yang mencetak informasi berupa simbol, label komponen, atau penanda lainnya guna mempermudah proses perakitan dan pemeliharaan rangkaian. Berdasarkan jumlah lapisan konduktornya, PCB dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu single layer, double layer, dan multilayer. Single layer PCB hanya memiliki jalur tembaga di satu sisi papan dan biasa digunakan untuk rangkaian sederhana.

Double layer PCB memiliki jalur konduktor di kedua sisi papan sehingga memungkinkan koneksi yang lebih kompleks dengan bantuan lubang vias. Sementara itu, multilayer PCB terdiri dari lebih dari dua lapisan tembaga yang disusun secara berlapis, dipisahkan oleh isolator, dan digunakan pada perangkat elektronik kompleks seperti motherboard, router, atau peralatan komunikasi. Secara

keseluruhan, PCB tidak hanya berfungsi sebagai konektor antar komponen, tetapi juga memberikan stabilitas mekanis, mengurangi risiko hubungan pendek antar jalur, mempermudah proses pengujian dan perbaikan, serta mendukung efisiensi produksi dalam skala industri.

2.12 Akumulator

Akumulator, atau yang lebih dikenal sebagai baterai isi ulang (*rechargeable battery*), merupakan perangkat penyimpanan energi listrik dalam bentuk energi kimia yang dapat digunakan berulang kali melalui proses pengisian ulang. Teknologi akumulator pertama kali dikembangkan oleh seorang fisikawan Prancis bernama Gaston Planté pada tahun 1859.



Gambar 2. 16 Akumulator[45]

Planté adalah penemu akumulator timbal-asam (*lead-acid battery*), yang menjadi cikal bakal baterai isi ulang modern. Penemuan ini sangat revolusioner pada masanya, karena sebelum itu, sumber energi listrik bersifat sekali pakai, seperti baterai primer (*non-rechargeable*) yang hanya bisa digunakan hingga habis dan kemudian dibuang. Penemuan akumulator oleh Planté membuka jalan bagi pengembangan sistem kelistrikan yang lebih efisien, terutama di sektor otomotif, telekomunikasi, sistem cadangan daya, dan kini juga digunakan dalam sistem pembangkit tenaga surya serta perangkat elektronik portabel.

Akumulator didasarkan pada reaksi kimia reversibel yang memungkinkan proses pengisian ulang. Saat akumulator digunakan (*discharge*), reaksi kimia di dalam sel akumulator akan mengubah energi kimia menjadi energi listrik yang digunakan untuk menghidupkan beban, seperti motor, lampu, atau rangkaian elektronik. Sedangkan ketika akumulator diisi ulang (*charge*), sumber listrik eksternal akan mengalirkan arus ke dalam akumulator, memaksa reaksi kimia di dalamnya berjalan ke arah sebaliknya sehingga energi listrik kembali disimpan dalam bentuk energi kimia. Sebagai contoh, pada akumulator timbal-asam yang paling umum digunakan di kendaraan bermotor terjadi reaksi antara timbal dioksida (PbO_2) di kutub positif dan timbal (Pb) di kutub negatif, dengan elektrolit berupa larutan asam sulfat (H_2SO_4). Saat discharge, timbal di kedua elektroda bereaksi dengan ion sulfat dari larutan asam, membentuk timbal sulfat (PbSO_4), dan menghasilkan aliran listrik. Saat proses charging, arus dari sumber eksternal memecah PbSO_4 kembali menjadi Pb dan PbO_2 ,

Sementara ion sulfat kembali ke larutan, memulihkan kondisi awal sel akumulator. Proses ini bisa diulang berkali-kali, meskipun pada akhirnya, kemampuan akumulator akan menurun karena degradasi material elektroda dan perubahan kimia pada elektrolit. Aplikasi Akumulator Akumulator banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari sistem cadangan daya (UPS), kendaraan bermotor, alat berat, pembangkit listrik tenaga surya, sistem telekomunikasi, hingga perangkat elektronik seperti laptop dan ponsel, dengan jenis kimia yang berbeda-beda seperti lead-acid, lithium-ion, nickel-cadmium (NiCd), nickel-metal hydride (NiMH) dan lain-lain. Keunggulan utama akumulator adalah kemampuannya menyimpan dan melepaskan energi secara berulang, efisiensi konversi energi, dan kestabilan dalam suplai daya.

2.13 Modul Penurun Tegangan (*Stepdown Module*)

Modul *step down*, yang sering disebut juga sebagai *buck converter*, adalah rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk menurunkan tegangan DC dari level lebih tinggi ke level yang lebih rendah secara efisien. Modul ini banyak dipakai dalam berbagai sistem elektronika, mulai dari pengisian baterai, power

supply mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32, hingga sistem tenaga surya dan perangkat industri. Prinsip kerja modul step down didasarkan pada proses switching yang sangat cepat, biasanya dikontrol oleh sebuah transistor (MOSFET atau BJT) yang bertindak sebagai saklar elektronik.



Gambar 2. 17 Modul Penurun Tegangan LM2596[46]

Saat transistor dalam posisi ON, sumber tegangan DC mengalir ke induktor (L), menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Ketika transistor berubah ke posisi OFF, arus yang sebelumnya mengalir dari sumber ke beban dipertahankan oleh induktor, yang akan melepaskan energi magnetiknya dalam bentuk arus listrik ke beban. Proses ini berlangsung sangat cepat (dengan frekuensi *switching* bisa mencapai puluhan kHz hingga ratusan kHz), dan output tegangan menjadi lebih rendah dibanding input, tergantung dari rasio waktu ON dan OFF transistor — ini disebut sebagai *duty cycle*.

Karena proses kerja ini melibatkan penyimpanan dan pelepasan energi oleh induktor, serta pengaturan cepat oleh switching, efisiensi konversi energi pada modul step down bisa sangat tinggi, bahkan sering mencapai 85% hingga 95%, jauh lebih hemat energi dibandingkan rangkaian penurun tegangan berbasis resistor (divider) atau regulator linear seperti IC 7805. Aplikasi Modul Step Down Modul step down banyak digunakan di berbagai aplikasi praktis, seperti pada sistem embedded (mikrokontroler) di mana perangkat hanya menerima tegangan 3.3V atau 5V, sementara sumber dayanya bisa berupa baterai 12V, 24V, atau bahkan 48V. Modul ini juga banyak diterapkan di perangkat seperti lampu LED, sistem tenaga

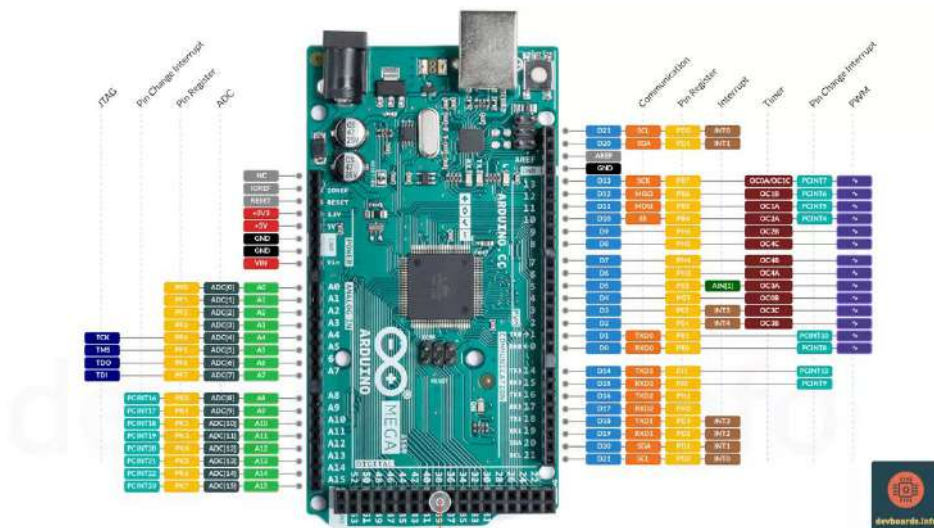
DC pada mobil, charger baterai lithium-ion, hingga dalam sistem energi terbarukan, di mana input dari panel surya bisa bervariasi tergantung intensitas sinar matahari, dan perlu diturunkan ke tegangan yang stabil untuk pengisian aki atau superkapasitor.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Modul Stepdown LM2596

Spesifikasi	Keterangan
Nama Modul	DC-DC Buck Converter LM2596 (Step-Down) dengan Display LED
Chip Utama	LM2596S (DC-DC Buck Regulator)
Jenis Konversi	Step-Down (Buck Converter)
Tegangan Input	4.0 – 40 V DC
Tegangan Output	1.25 – 37 V DC (dapat diatur dengan trimpot)
Arus Output Maksimum	2A (stabil), hingga 3A dengan pendinginan (heat sink)
Efisiensi Konversi	Hingga 92% (tergantung tegangan/arus)
Ripple Output	± 30 mV (pada beban ringan)
Frekuensi Switching	150 kHz
Proteksi	Tidak ada proteksi short circuit internal, perlu sekering eksternal jika dibutuhkan
Fitur Tambahan	• Layar voltmeter LED 3-digit (menampilkan tegangan input/output) • Tombol untuk pilih tampilan (IN/OUT) • Potensiometer untuk adjust output
Pendinginan	2 buah heatsink pada IC regulator & diode
Dimensi Modul	$\pm 60 \text{ mm} \times 35 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$

2.14 Arduino Mega 2560

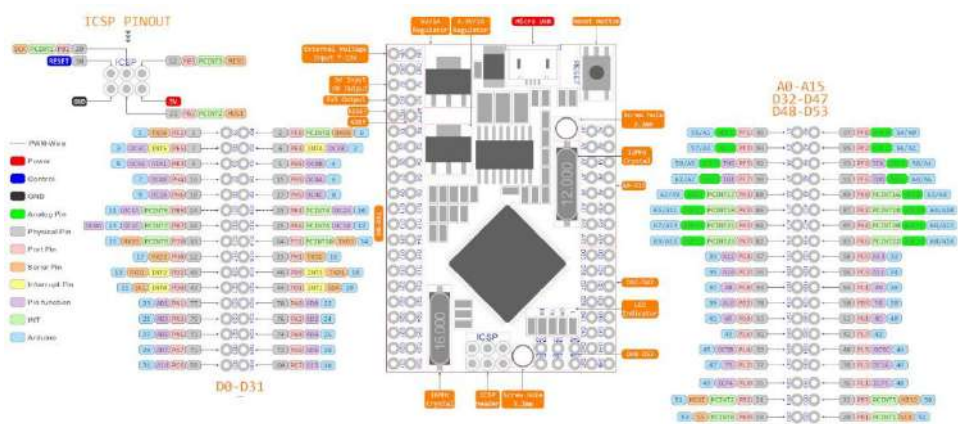
Arduino Mega 2560 adalah salah satu varian papan mikrokontroler dari keluarga Arduino, yang dikembangkan di Italia oleh tim yang dipimpin oleh Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, dan Gianluca Martino pada pertengahan tahun 2000-an. Proyek Arduino sendiri pertama kali diluncurkan pada tahun 2005 sebagai platform open-source yang bertujuan untuk memudahkan mahasiswa, insinyur pemula, hingga penggemar hobi dalam membangun prototipe sistem elektronik dan embedded system.



Gambar 2. 18 Arduino Mega 2560[47]

Arduino Mega 2560 pertama kali dirilis sebagai pengembangan dari seri Arduino Uno, dengan peningkatan utama pada jumlah pin input-output (I/O), kapasitas memori flash, dan jumlah port serial, yang membuatnya sangat cocok untuk proyek-proyek yang memerlukan banyak perangkat terhubung secara bersamaan, seperti robotika, sistem SCADA kecil, automasi rumah, dan pengembangan perangkat IoT. Prinsip Kerja Arduino Mega 2560 Arduino Mega 2560 bekerja berdasarkan prinsip mikrokontroler AVR RISC 8-bit yang mengandalkan ATmega2560 sebagai otaknya. Mikrokontroler ini memiliki 32 KB SRAM, 256 KB Flash Memory, dan 4 KB EEPROM, serta dilengkapi dengan 54 digital I/O pins (15 di antaranya mendukung output PWM) dan 16 analog input.

Perangkat ini bisa dikendalikan menggunakan bahasa pemrograman Arduino yang berbasis C/C++. Prinsip kerja Arduino Mega 2560 dimulai saat papan ini diberi catu daya, baik melalui koneksi USB (5V) atau jack eksternal (7-12V). Mikrokontroler ATmega2560 akan mengeksekusi instruksi yang telah diprogram di dalam flash memory. Instruksi tersebut biasanya berisi logika pengolahan sinyal dari sensor (input), pengendalian aktuator seperti motor, relay, atau LED (output), dan pengaturan komunikasi data baik serial, I2C, maupun SPI.



Gambar 2. 19 Arduino Mega 2560 Pro[48]

Arduino Mega 2560 juga mendukung komunikasi dengan komputer atau perangkat lain melalui port USB berkat adanya chip ATmega16U2 yang berfungsi sebagai USB-to-Serial converter. Keunggulan utamanya adalah fleksibilitas dalam mengendalikan banyak komponen sekaligus karena jumlah pin yang lebih banyak dibandingkan board Arduino lain seperti Uno atau Nano. Aplikasi Arduino Mega 2560 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, di antaranya sistem otomasi industri berskala kecil, prototipe IoT, sistem pengendali robot, monitoring lingkungan, hingga kendali perangkat listrik berbasis waktu dan sensor. Berkat open-source hardware dan software, penggunaannya sangat fleksibel dan bisa diintegrasikan dengan berbagai modul seperti sensor suhu, kelembaban, kamera, modul komunikasi GSM, WiFi, hingga GPS.

Tabel 2. 3 Spesifikasi Arduino Mega 2560

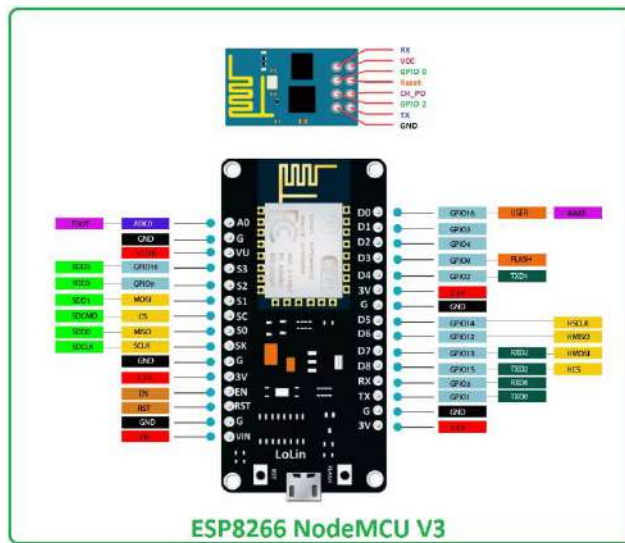
Kategori	Spesifikasi
Mikrokontroler	ATmega2560
Arsitektur	8-bit AVR RISC
Clock Speed	16 MHz
Memori Flash	256 KB (8 KB digunakan untuk bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input (disarankan)	7 – 12 V
Tegangan Input (batas)	6 – 20 V
Arus tiap pin I/O	20 mA
Arus maksimum pin 3.3 V	50 mA
Arus maksimum pin 5 V	±800 mA (tergantung regulator dan suplai)
Total Pin Digital I/O	54
Pin PWM	15 (pin 2–13, 44–46)
Pin Input Analog	16 (10-bit ADC, resolusi 0–1023, referensi default 5 V)
UART/Serial	4 port hardware (Serial0: 0(RX),1(TX); Serial1: 19(RX),18(TX); Serial2: 17(RX),16(TX); Serial3: 15(RX),14(TX))
SPI	1 (MISO pin 50, MOSI pin 51, SCK pin 52, SS pin 53)
I2C (TWI)	1 (SDA pin 20, SCL pin 21)
Pin Interrupt Eksternal	6 (pin 2, 3, 18, 19, 20, 21)
Pin Output Compare	15 (PWM timer-based)
Pin AREF	1 (pin AREF, untuk referensi tegangan ADC eksternal)
Crystal Oscillator	16 MHz

Kategori	Spesifikasi
Konektivitas USB	USB Type-B, dengan ATmega16U2 sebagai USB-to-Serial converter
Header ICSP	Ya
Tombol Reset	Ya
Dimensi	Panjang: 101.5 mm, Lebar: 53.3 mm
Berat	± 37 g
Kompatibilitas Shield	Sebagian kompatibel dengan shield Arduino Uno, plus baris pin tambahan
Lingkungan Operasi	Suhu 0°C – 70°C (operasional standar)

2.15 ESP8266

ESP8266 adalah modul mikrokontroler berkemampuan WiFi yang dikembangkan oleh perusahaan asal Tiongkok, yaitu Espressif Systems. Produk ini pertama kali diperkenalkan ke pasar global pada tahun 2014. Peluncuran ESP8266 menjadi salah satu tonggak penting dalam dunia embedded system dan *Internet of Things* (IoT), karena menawarkan integrasi antara mikrokontroler 32-bit berbasis Xtensa LX106 core dengan WiFi 802.11 b/g/n dalam satu chip, dengan harga sangat terjangkau dibandingkan solusi sejenis pada saat itu.

Awalnya, ESP8266 dirilis sebagai modul pendukung komunikasi WiFi bagi mikrokontroler lain seperti Arduino, tetapi seiring waktu komunitas pengembang menemukan bahwa chip ini mampu berdiri sendiri sebagai pengendali utama dalam sistem embedded. Prinsip Kerja ESP8266 Prinsip kerja ESP8266 didasarkan pada arsitektur SoC (System-on-Chip), yang mengintegrasikan prosesor, memori, dan modul WiFi dalam satu chip tunggal.



Gambar 2. 20 NodeMCU ESP8266[49]

Chip ini mampu melakukan pemrosesan data sekaligus mengelola koneksi jaringan nirkabel tanpa memerlukan mikrokontroler eksternal. Saat diberi catu daya (3.3V DC), ESP8266 akan mengeksekusi firmware yang telah ditanamkan sebelumnya, baik itu AT Command Firmware untuk berkomunikasi dengan perangkat lain via serial, atau firmware hasil pemrograman langsung seperti Arduino IDE, MicroPython, maupun NodeMCU Lua. Ketika beroperasi dalam mode WiFi, ESP8266 dapat bertindak sebagai Station (STA) untuk terhubung ke router, sebagai Access Point (AP) untuk menyediakan jaringan lokal, atau keduanya sekaligus (STA+AP). Selain komunikasi WiFi, ESP8266 juga menyediakan antarmuka digital seperti GPIO, PWM, I2C, UART, dan SPI, yang memungkinkan pengendalian perangkat keras seperti relay, motor, sensor, LED, maupun komunikasi dengan perangkat lain dalam sistem IoT.

Tabel 2. 4 Spesifikasi NodeMCU ESP8266

Spesifikasi	Keterangan
Nama Board	NodeMCU ESP8266 (umumnya Lolin V3 / Amica)
Chip Utama	ESP8266EX (Wi-Fi SoC dari Espressif)

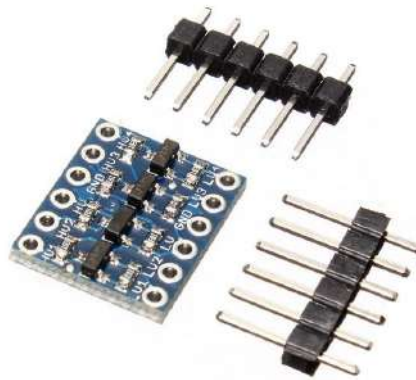
Spesifikasi	Keterangan
Arsitektur CPU	Tensilica Xtensa LX106 (32-bit RISC)
Clock Speed	80 MHz (dapat di-overclock hingga 160 MHz)
Flash Memory	4 MB (umumnya, bervariasi 512 KB – 16 MB tergantung versi)
SRAM	64 KB instruction RAM, 96 KB data RAM
Tegangan Operasi	3.0 – 3.6 V (board sudah ada regulator dari 5V → 3.3V)
Tegangan Input (USB/Vin)	4.5 – 10 V (via pin Vin atau microUSB)
Level I/O Pin	3.3V logic (tidak 5V tolerant!)
Wi-Fi Standard	IEEE 802.11 b/g/n (2.4 GHz)
Mode Wi-Fi	Station / SoftAP / Station+AP
GPIO Pin	±11 pin dapat digunakan (tergantung versi)
Pin ADC	1 channel, 10-bit, range 0 – 1 V (kadang board ada pembagi tegangan sehingga bisa 0 – 3.3 V)
UART	2 (UART0 full, UART1 TX-only)
PWM	Hingga 10 bit, tersedia pada hampir semua GPIO
I ² C / SPI	Didukung via software (bit-banging)
Arus Operasi	±70 mA rata-rata, bisa hingga 200 mA saat transmit Wi-Fi
Deep Sleep Current	~20 μ A
Dimensi Board	± 58 mm × 31 mm

Chip ini juga mendukung pengaturan daya dinamis untuk efisiensi konsumsi energi, terutama ketika digunakan dalam perangkat yang bergantung pada baterai. Aplikasi ESP8266 Karena ukurannya yang kecil, konsumsi daya yang relatif rendah, serta harga yang sangat ekonomis, ESP8266 telah menjadi solusi populer dalam berbagai aplikasi, di antaranya: sistem smart home, sensor monitoring berbasis *cloud*, pengendali perangkat via internet, otomasi industri berskala ringan, sistem pengawasan lingkungan, dan pengembangan prototipe IoT di laboratorium

riset. Platform ini juga banyak digunakan dalam pengembangan sistem SCADA sederhana, pemantauan energi listrik berbasis web, hingga sebagai node dalam sistem wireless sensor network (WSN).

2.16 Level Shifter Module

Level shifter module atau logic level converter merupakan rangkaian penting yang berfungsi untuk menyesuaikan perbedaan level tegangan logika antara dua perangkat elektronik yang bekerja pada tegangan berbeda. Dalam sistem mikrokontroler, hal ini sangat dibutuhkan karena tidak semua perangkat menggunakan tegangan logika yang sama, misalnya Arduino Mega yang beroperasi pada 5V dan ESP8266 yang hanya mendukung 3.3V. Tanpa penyesuaian ini, sinyal dari perangkat 5V dapat merusak pin input perangkat 3.3V akibat tegangan yang terlalu tinggi. Level shifter bekerja dengan cara menurunkan (step down) atau menaikkan (step up) level tegangan agar komunikasi antarperangkat tetap aman dan dapat terbaca dengan benar.



Gambar 2. 21 Level Shifter Module[50]

Terdapat dua jenis utama level shifter, yaitu unidirectional dan bidirectional. Jenis unidirectional digunakan untuk komunikasi satu arah, biasanya memanfaatkan pembagi tegangan dengan dua resistor, sedangkan bidirectional digunakan untuk komunikasi dua arah seperti protokol I²C atau UART, yang umumnya menggunakan transistor MOSFET seperti BSS138. Modul level shifter komersial biasanya memiliki pin HV (tegangan tinggi), LV (tegangan rendah),

GND, serta kanal HVx dan LVx yang berpasangan untuk setiap jalur sinyal. Dalam penggunaannya, HV dihubungkan ke 5V, LV ke 3.3V, dan GND kedua perangkat disatukan agar referensi tegangannya sama. Level shifter memastikan sinyal dari Arduino 5V dapat dibaca dengan aman oleh ESP8266 tanpa merusak komponen, dan sebaliknya, sinyal 3.3V dari ESP8266 tetap dapat dikenali oleh Arduino. Modul ini juga digunakan untuk berbagai aplikasi lain seperti komunikasi antara Arduino dengan sensor 3.3V (misalnya MPU6050) atau antara Raspberry Pi dengan modul TTL 5V. Dengan demikian, level shifter menjadi komponen penting dalam memastikan integrasi antarperangkat yang berbeda tegangan berjalan dengan aman, stabil, dan efisien.

2.17 Komunikasi Data

Komunikasi data adalah proses pertukaran informasi digital antara dua atau lebih perangkat elektronik melalui suatu media transmisi, baik secara kabel maupun nirkabel. Dalam sistem mikrokontroler dan mini komputer, komunikasi data menjadi elemen penting agar perangkat dapat saling bertukar informasi seperti sensor, aktuator, maupun modul eksternal. Tujuan utama komunikasi data adalah untuk mentransfer bit-bit data secara efisien, akurat, dan sinkron sesuai protokol tertentu.

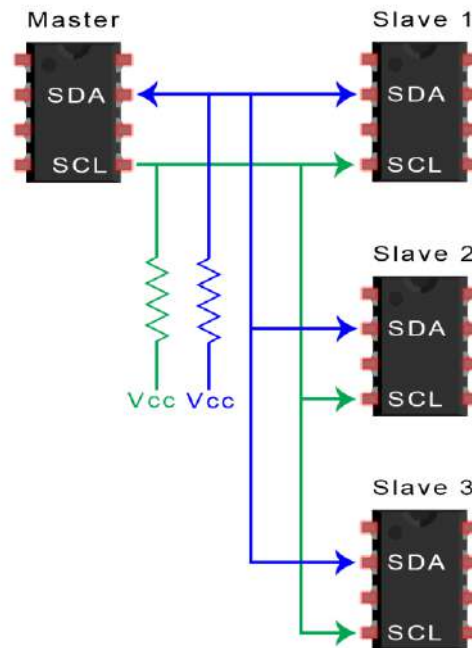
Berdasarkan cara pengiriman datanya, komunikasi data terbagi menjadi dua jenis utama yaitu komunikasi paralel dan komunikasi serial. Komunikasi paralel mengirim beberapa bit sekaligus melalui banyak jalur data (cepat, tetapi boros pin), sedangkan komunikasi serial mengirim data bit demi bit melalui satu atau beberapa jalur saja (lebih lambat, namun efisien dan umum digunakan). Dalam praktik modern, hampir semua sistem mikrokontroler menggunakan komunikasi serial karena efisiensi pin dan kemudahan integrasi antar modul.

2.17.1 I2C (Inter Integrated Circuit)

Komunikasi data I²C (Inter-Integrated Circuit) adalah salah satu jenis protokol komunikasi serial sinkron yang memungkinkan pertukaran data antara beberapa perangkat elektronik hanya dengan menggunakan dua jalur utama, yaitu *Serial Data Line* (SDA) untuk mengirimkan data dan *Serial Clock Line* (SCL)

untuk sinkronisasi waktu. Protokol ini dikembangkan oleh Philips Semiconductors (sekarang NXP) dan dirancang khusus untuk menghubungkan komponen-komponen digital seperti mikrokontroler, sensor, EEPROM, dan modul RTC dalam satu sistem yang sama.

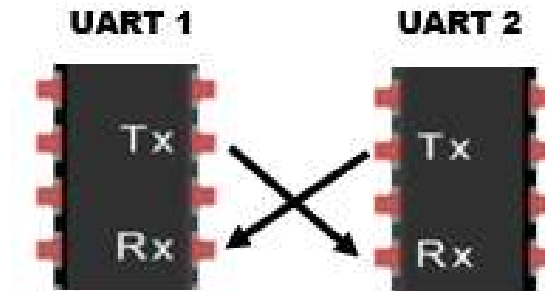
Secara prinsip, komunikasi I²C bekerja dengan sistem *master-slave*, di mana satu perangkat berperan sebagai master yang mengatur sinyal clock dan mengendalikan proses pengiriman data, sedangkan satu atau lebih perangkat lain berperan sebagai slave yang menerima atau mengirim data berdasarkan perintah dari master. Setiap perangkat slave memiliki alamat unik (umumnya 7-bit atau 10-bit) sehingga beberapa perangkat dapat terhubung pada satu jalur tanpa saling mengganggu. Proses komunikasi I²C dimulai dengan kondisi start bit yang menandai awal transmisi, diikuti oleh pengiriman alamat slave dan bit kontrol baca/tulis (R/W), kemudian dilanjutkan dengan pertukaran data yang disertai sinyal ACK/NACK (*Acknowledge/Not Acknowledge*) sebagai tanda keberhasilan komunikasi, dan diakhiri dengan stop bit sebagai penutup transmisi. Keunggulan utama protokol I²C adalah kemudahannya dalam menghemat jumlah pin I/O pada mikrokontroler, fleksibilitas dalam menambah perangkat baru tanpa konfigurasi rumit, serta kompatibilitas tinggi antarperangkat dari berbagai produsen. Oleh karena itu, I²C banyak digunakan dalam sistem berbasis mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, dan Raspberry Pi untuk menghubungkan sensor suhu (DHT11), modul waktu nyata (RTC DS1307/DS3231), layar LCD I2C, maupun berbagai sensor digital lainnya dalam sistem otomasi dan *Internet of Things* (IoT).



Gambar 2. 22 Komunikasi data I²C[51]

2.17.2 UART

Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) merupakan salah satu jenis komunikasi data serial yang paling umum digunakan dalam sistem mikrokontroler. Berbeda dengan SPI dan I2C yang bersifat sinkron, UART bekerja secara asinkron, artinya tidak menggunakan sinyal clock bersama antara pengirim dan penerima. Komunikasi ini hanya memerlukan dua jalur utama, yaitu TX (*Transmit*) untuk mengirim data dan RX (*Receive*) untuk menerima data, sehingga implementasinya sederhana dan efisien. UART bekerja dengan cara mengubah data paralel dari mikrokontroler menjadi data serial saat pengiriman, serta mengubah data serial kembali menjadi data paralel saat penerimaan.



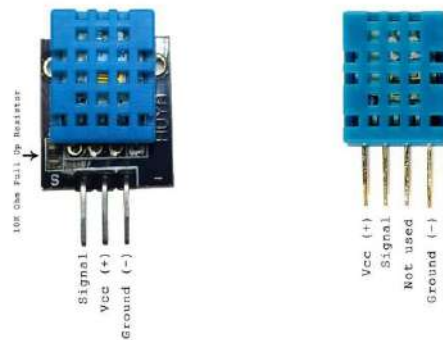
Gambar 2. 23 *Universal Asynchronous Receiver Transmitter*[52]

Dalam proses transmisi, UART menggunakan format bit yang terdiri dari start bit, data bit, parity bit (opsional), dan stop bit. Start bit menandai awal pengiriman data, sedangkan stop bit menandakan akhir dari satu frame data. Kecepatan komunikasi diatur menggunakan parameter baud rate, misalnya 9600 bps, 115200 bps, dan sebagainya, yang harus sama antara perangkat pengirim dan penerima agar data dapat diterima dengan benar. Kelebihan utama UART adalah kesederhanaan dan kompatibilitas luas, karena hampir semua mikrokontroler, komputer, dan modul komunikasi (seperti Bluetooth, GSM, dan GPS) mendukungnya. Namun, kekurangannya adalah UART hanya memungkinkan komunikasi point-to-point (antara dua perangkat) dan memiliki batas jarak transmisi yang relatif pendek tanpa bantuan konverter sinyal. Dalam sistem kendali dan monitoring, UART sering digunakan untuk komunikasi antara mikrokontroler dan modul eksternal seperti ESP8266, modul GSM, atau sensor serial lainnya.

2.18 Sensor

2.18.1 DHT 11

Digital Humidity and Temperature 11 (DHT 11) Sensor ini dirancang dan diproduksi oleh Aosong Electronics Co., Ltd., sebuah perusahaan yang berbasis di Guangzhou, Tiongkok, dengan merek dagang "ASAIR" sensor DHT11 melibatkan dua elemen utama, yaitu sensor kelembaban kapasitif dan thermistor NTC (Negative Temperature Coefficient). Untuk mengukur kelembaban, DHT11 menggunakan dua elektroda yang dipisahkan oleh substrat penyerap kelembaban.



Gambar 2. 24 DHT 11[53]

Format data ini terdiri dari lima bagian, yaitu 8 bit untuk nilai kelembaban dalam bilangan bulat, 8 bit untuk kelembaban dalam bentuk desimal, 8 bit untuk suhu bilangan bulat, 8 bit untuk suhu desimal, dan 8 bit terakhir sebagai checksum untuk memastikan validitas data yang diterima.

Tabel 2. 5 Spesifikasi DHT 11

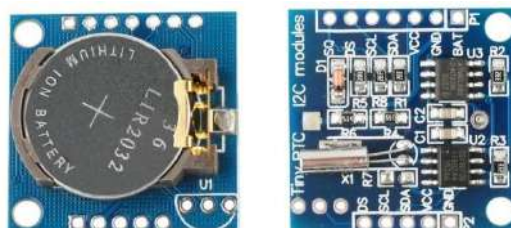
Spesifikasi	DHT11
Tegangan Operasi	3.0 – 5.5 V
Arus Operasi	0.5 – 2.5 mA
Interface	Single-wire digital
Rentang Suhu	0 – 50 °C
Akurasi Suhu	±2 °C
Resolusi Suhu	1 °C
Rentang Kelembapan	20 – 90 % RH
Akurasi Kelembapan	±5 % RH
Resolusi Kelembapan	1 % RH
Waktu Sampling	1 Hz (1 data/detik)

Ketika kelembaban udara berubah, kapasitansi antara kedua elektroda juga ikut berubah. Perubahan kapasitansi ini kemudian diubah menjadi sinyal digital oleh mikrokontroler internal yang terdapat dalam

modul sensor. Sementara itu, untuk mengukur suhu, DHT11 memanfaatkan thermistor NTC, yaitu sebuah resistor yang nilai resistansinya akan menurun ketika suhu meningkat. Perubahan resistansi ini digunakan untuk menentukan suhu lingkungan. Sensor DHT11 berkomunikasi dengan mikrokontroler menggunakan protokol satu kawat (*single-wire*), di mana data dikirim dalam satu rangkaian format 40-bit.

2.18.2 Real Time Clock (RTC)

Real-time Clock (RTC) adalah perangkat elektronik, umumnya dalam bentuk sirkuit terintegrasi (IC), yang dirancang untuk menjaga waktu secara akurat dan kontinu, bahkan saat sistem utama dimatikan atau kehilangan daya. RTC pertama kali diperkenalkan dalam komputer IBM PC/AT pada tahun 1984, menggunakan chip Motorola MC146818. Sejak itu, berbagai produsen seperti Dallas Semiconductor, Epson, dan Maxim Integrated telah mengembangkan berbagai varian RTC untuk Prinsip Kerja RTC, RTC bekerja dengan menggunakan osilator kristal kuarsa, biasanya berfrekuensi 32.768 kHz, yang menghasilkan sinyal stabil untuk menghitung waktu. Frekuensi ini dipilih karena merupakan 2^{15} Hz, memudahkan perhitungan waktu dalam sistem digital. RTC dilengkapi dengan sumber daya cadangan, seperti baterai lithium atau superkapasitor, yang memungkinkan perangkat ini terus beroperasi.



Gambar 2. 25 Modul RTC[54]

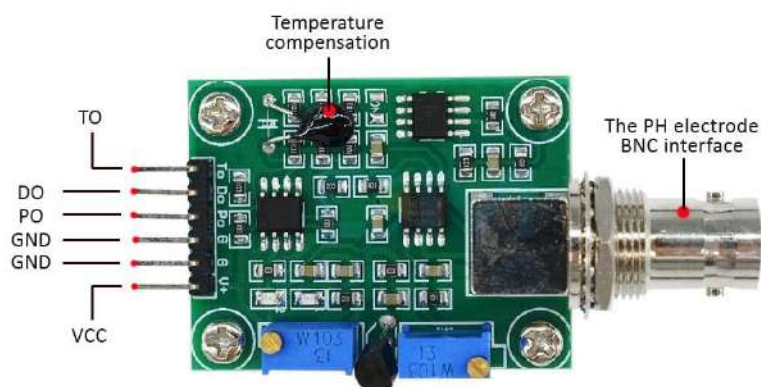
Tabel 2. 6 Spesifikasi Modul RTC 1307

Spesifikasi	Keterangan
Nama Modul	RTC DS1307 (Real Time Clock)
Jenis Komunikasi	I2C (SDA, SCL)
Alamat I2C Default	0x68
Tegangan Operasi	4.5V – 5.5V (umumnya 5V)
Konsumsi Daya	< 500 nA (dengan baterai cadangan)
Frekuensi Osilator	32.768 kHz Quartz Crystal
Format Waktu	24 jam / 12 jam dengan AM/PM
Data yang Disimpan	Detik, Menit, Jam, Hari, Tanggal, Bulan, Tahun
Range Tahun	2000 – 2099
Memori Tambahan	56 byte NV RAM (non-volatile)
Baterai Backup	CR2032 Lithium Cell (3V) → menjaga waktu tetap berjalan saat power mati
Fitur Khusus	• Kalender otomatis hingga 2100 • Deteksi tahun kabisat • Tahan data meski tanpa listrik
Kelebihan	Murah, mudah dipakai, komunikasi I2C sederhana
Kekurangan	Akurasi rendah (± 2 menit/bulan), lebih baik gunakan DS3231 jika butuh presisi tinggi

2.18.3 pH sensor PC4502

Sensor pH digunakan untuk mengukur derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan, yang diindikasikan oleh konsentrasi ion hidrogen

(H^+). Konsep pH pertama kali diperkenalkan oleh kimiawan Denmark, Søren Peder Lauritz Sørensen, pada tahun 1909. Namun, pengembangan elektroda pH pertama dilakukan oleh Fritz Haber dan Zygmunt Klemensiewicz pada tahun 1909 dengan prinsip perbedaan konsentrasi ion H^+ pada kedua sisi membran kaca tipis, menghasilkan beda. Pada tahun 1934, Arnold Orville Beckman mengembangkan pH meter elektronik pertama yang sukses secara komersial, yang dikenal dengan sebutan "acidimeter". Inovasi ini dimulai ketika Beckman diminta oleh California Fruit Growers Exchange untuk menciptakan metode cepat dan akurat, dalam Prinsip Kerja Sensor pH, Sensor pH modern umumnya menggunakan elektroda kaca sebagai komponen utama. Elektroda ini terdiri dari membran kaca tipis yang sensitif terhadap ion H^+ . Ketika elektroda ini dimasukkan ke dalam larutan, perbedaan konsentrasi ion H^+ antara larutan dan bagian dalam elektroda menghasilkan beda potensial listrik. Beda potensial ini diukur dan dikonversi menjadi nilai pH melalui kalibrasi.



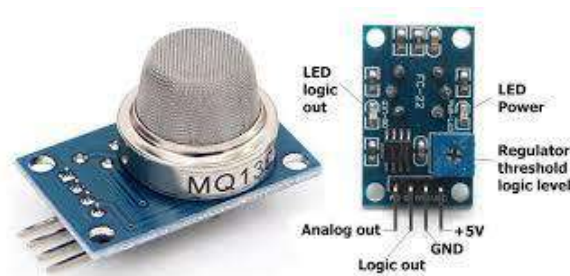
Gambar 2. 26 Sensor PH PC4502[55]

Tabel 2. 7 Spesifikasi Sensor PH PC4502

Spesifikasi	Keterangan
Nama Modul	pH Sensor Module (dengan probe elektrode gelas)
Jenis Komunikasi	Analog (tegangan keluaran 0 – 5 V) → dapat diubah ke digital dengan IC PCF8591 (ADC, I ² C)
Rentang Pengukuran pH	0 – 14 pH
Akurasi	±0.1 – 1.2 pH (tergantung kualitas probe)
Resolusi	~0.01 pH (jika ADC 10-bit, 5V → 1024 step)
Tegangan Operasi Modul	5V DC
Arus Operasi	5 – 10 mA
Sinyal Keluaran	0 – 5 V analog (berbanding dengan nilai pH)
Probe Sensor	Elektroda pH berbahan gelas dengan cairan elektrolit internal
Waktu Respons	< 1 menit
Suhu Operasi Ideal	0 – 60 °C
Kalibrasi	Manual (biasanya dengan trimpot pada board, menggunakan larutan buffer pH 4.0, 7.0, dan 10.0)
Fitur Tambahan (PC4502)	<ul style="list-style-type: none"> • Konversi analog ke digital via I²C • Memungkinkan pembacaan langsung dengan Arduino/ESP • Dapat digunakan untuk multi-channel (hingga 4 input analog)

2.18.4 *MQ135 Air Quality Sensor*

Sensor MQ135 adalah alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi suatu zat, khususnya gas, dalam satuan *parts per million* (ppm), yang mengindikasikan jumlah bagian zat per satu juta bagian total campuran. Satuan ini umum digunakan untuk mendeteksi gas-gas seperti karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), dan gas berbahaya lainnya dalam lingkungan industri maupun sistem pemantauan kualitas udara.



Gambar 2. 27 Bentuk Fisik dari Modul Sensor Gas MQ135 [56]

Prinsip kerja sensor PPM sangat bergantung pada jenis gas yang ingin dideteksi, dan secara umum terbagi ke dalam tiga kategori utama. Pertama, sensor gas elektrokimia bekerja dengan memanfaatkan reaksi elektrokimia antara gas target dengan elektrode yang menghasilkan arus listrik; besarnya arus ini sebanding dengan konsentrasi gas yang terdeteksi. Kedua, sensor gas inframerah (IR) mendeteksi gas berdasarkan kemampuannya menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang tertentu.

Ketika cahaya inframerah dilewatkan melalui sampel udara, sebagian akan diserap oleh gas target, dan sensor mengukur penurunan intensitas cahaya tersebut untuk menentukan kadar gas. Ketiga, sensor gas semikonduktor bekerja dengan mengamati perubahan resistansi dari material semikonduktor yang telah dilapisi bahan sensitif terhadap gas tertentu; perubahan resistansi ini kemudian diolah menjadi nilai konsentrasi gas. Berkat berbagai teknologi ini, sensor PPM menjadi komponen penting dalam berbagai aplikasi keselamatan, industri, dan pemantauan lingkungan.

Tabel 2. 8 Datasheet dari Modul Sensor MQ135

Spesifikasi	Keterangan
Nama Sensor	MQ-135 Gas Sensor
Jenis Sensor	Metal Oxide Semiconductor (SnO_2)
Tegangan Operasi	5 V DC
Arus Operasi	± 150 mA (pemanas)
Resistansi Beban (RL)	10 k Ω (umumnya)
Output	Analog (tegangan proporsional dengan konsentrasi gas) + Digital (melalui comparator pada modul)
Gas yang Terdeteksi	Amonia (NH_3), NOx, Benzene, Alkohol, Asap, Karbon Dioksida (CO_2), Uap organik
Konsentrasi Terdeteksi	10 – 1000 ppm (tergantung jenis gas)
Waktu Pemanasan Awal	24 jam (untuk kalibrasi awal)
Waktu Respons	< 30 detik
Suhu Operasi	-10 – 45 °C
Kelembapan Operasi	30 – 80 % RH
Umur Sensor	± 2 tahun (pemakaian normal)

2.18.5 Water Level

Sensor ketinggian air adalah alat yang berfungsi untuk mengukur tinggi permukaan air dalam suatu wadah, tangki, atau badan air seperti sungai dan danau. Sejak zaman dahulu, manusia telah memanfaatkan metode sederhana seperti tongkat ukur atau pelampung untuk memantau ketinggian air, terutama dalam pengelolaan irigasi dan pencegahan banjir.

Namun, dengan kemajuan teknologi, sensor ketinggian air kini telah berkembang menjadi perangkat elektronik yang jauh lebih presisi dan andal, serta digunakan dalam berbagai bidang seperti pengelolaan air bersih, sistem pengendalian banjir, pertanian pintar, hingga industri otomasi.

Sensor ultrasonik bekerja dengan memancarkan gelombang suara ke permukaan air, lalu menghitung waktu pantulan gelombang tersebut untuk menentukan jarak ke permukaan, yang kemudian dikonversi menjadi nilai ketinggian. Selain itu, ada juga sensor tekanan hidrostatik yang dipasang di dasar wadah dan mengukur tekanan air dari kolom air di atasnya; semakin tinggi permukaan air, semakin besar tekanan yang terukur, dan ini digunakan sebagai dasar penghitungan tinggi air. Dengan variasi teknologi ini, sensor ketinggian air dapat dipilih sesuai kebutuhan spesifik aplikasi di lapangan.



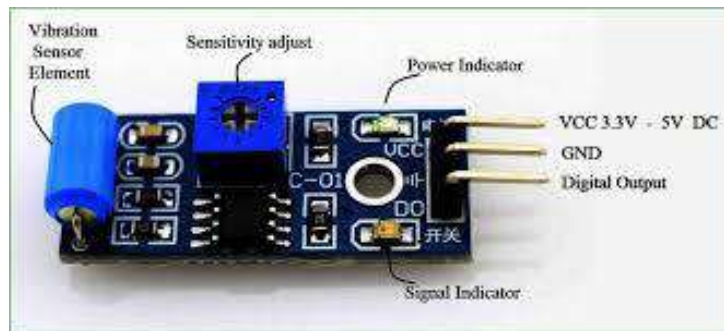
Gambar 2. 28 Sensor Ultrasonic JST SRN04T[57]

Tabel 2. 9 Sensor Ultrasonic JST SRN04T

Parameter	Spesifikasi
Tegangan kerja (Vcc)	5 V DC
Arus kerja	8–15 mA
Frekuensi ultrasonik	40 kHz
Jarak pengukuran	20 cm – 600 cm
Akurasi	±1 cm
Sudut deteksi	$\leq 15^\circ$
Waktu respons	< 100 ms
Jenis konektor	JST 4-pin
Output sinyal	Pulse (TTL 5V)
Waktu timeout echo	38 ms (maks.)
Suhu operasional	-15°C hingga +70°C
Tingkat perlindungan	IP65 (tahan air)
Dimensi transduser	±25 mm × 35 mm
Berat	±40 gram
Tipe sensor	Ultrasonik tahan air
Rumus jarak	Jarak (cm) = (Durasi Echo × 0.0343) / 2

2.18.6 Sensor Getaran

Sensor getaran adalah alat yang dirancang untuk mendeteksi dan mengukur getaran atau percepatan mekanis pada suatu objek, dengan cara mengubah energi mekanis yang dihasilkan oleh getaran menjadi sinyal listrik yang dapat dianalisis lebih lanjut. Perangkat ini memiliki peran penting dalam berbagai bidang, seperti pemantauan kondisi mesin industri, deteksi gempa bumi, sistem keamanan, serta perangkat elektronik konsumen. Sejarah penggunaan sensor getaran dapat ditelusuri sejak abad ke-19, yang diawali dengan penggunaan geofon untuk mendeteksi getaran tanah.



Gambar 2. 29 Bentuk Fisik dari Modul Sensor Getar[58]

Seiring kemajuan teknologi, sensor getaran telah berevolusi menjadi perangkat elektronik yang jauh lebih presisi dan sensitif, seperti akselerometer dan sensor piezoelektrik, yang kini banyak digunakan dalam sistem pemantauan modern. Prinsip kerja sensor getaran bergantung pada teknologi yang digunakan. Sensor piezoelektrik, misalnya, memanfaatkan material piezoelektrik yang menghasilkan muatan listrik ketika mengalami tekanan atau deformasi akibat getaran; muatan ini kemudian diubah menjadi sinyal listrik. Sementara itu, sensor akselerometer bekerja dengan mengukur percepatan yang dialami oleh objek tempat sensor tersebut terpasang, biasanya dalam tiga sumbu (x, y, dan z), sehingga dapat mendeteksi getaran dari berbagai arah. Ada pula sensor induktif, yang memanfaatkan perubahan induktansi yang terjadi akibat pergerakan komponen feromagnetik yang berinteraksi dengan medan magnet di dalam sensor. Beragamnya jenis dan prinsip kerja sensor getaran ini memungkinkan pemilihan alat yang sesuai dengan kebutuhan spesifik dalam pengukuran atau pemantauan getaran di berbagai lingkungan dan aplikasi teknis.

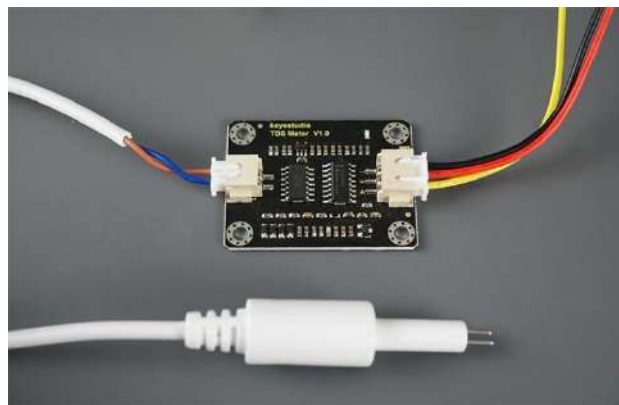
Tabel 2. 10 Datasheet Modul Sensor Getar SW-420

Spesifikasi	Keterangan
Nama Modul	SW-420 Vibration Sensor Module
Sensor Utama	SW-420 Vibration Sensor (saklar getar)
Tegangan Operasi	3.3 V – 5 V DC
Konsumsi Arus	< 15 mA
Keluaran	Digital (DO, HIGH/LOW)
Output Level	HIGH = tidak ada getaran, LOW = getaran terdeteksi (tergantung setting)
Komponen Utama	• SW-420 (vibration sensor) • LM393 (komparator) • Potensiometer (adjust sensitivitas) • LED indikator (Power & Signal)
Sensitivitas	Dapat diatur dengan potensiometer (blue trimpot)
Jarak / Area Deteksi	Deteksi langsung getaran fisik (bukan jarak jauh)
Suhu Operasi	-10 °C – 50 °C

2.18.7 (*Total Dissolve Solid*)TDS Sensor

Sejarah penggunaan sensor TDS berawal dari prinsip dasar konduktivitas listrik pada cairan. Konsep ini telah dikenal sejak abad ke-19, ketika ilmuwan menemukan bahwa air murni memiliki resistansi listrik yang sangat tinggi, sementara air dengan kandungan mineral tinggi lebih mudah menghantarkan listrik. Dari sinilah muncul gagasan untuk mengukur kadar zat terlarut berdasarkan tingkat konduktivitasnya. Seiring perkembangan teknologi sensor dan mikrokontroler, sistem pengukuran TDS kini dapat dilakukan secara digital dan *real-time*, baik dalam aplikasi laboratorium, sistem pengolahan air, maupun pada proyek berbasis *Internet of Things* (IoT) seperti hidroponik dan akuaponik.

Prinsip kerja sensor TDS berbasis AC (arus bolak-balik) adalah dengan memberikan sinyal listrik AC ke dalam larutan melalui elektroda pengukuran. Tegangan AC digunakan agar elektroda tidak mengalami polarisasi atau penumpukan ion pada permukaan logam, yang dapat menyebabkan pembacaan tidak akurat. Ketika arus bolak-balik melewati air, partikel-partikel terlarut (ion positif dan negatif) akan menghantarkan arus, dan besarnya konduktivitas ini diubah menjadi nilai tegangan yang proporsional dengan jumlah zat terlarut. Sensor kemudian mengirimkan sinyal analog ke mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 untuk diolah menjadi nilai TDS dalam ppm melalui rumus kalibrasi tertentu.



Gambar 2. 30 TDS Sensor[41]

Dalam beberapa versi sensor, terutama modul Gravity Analog TDS, terdapat rangkaian pengkondisi sinyal (*signal conditioning circuit*) yang menstabilkan tegangan dan melindungi sensor dari gangguan noise listrik. Selain itu, sistem catu daya sensor biasanya menggunakan tegangan DC 3.3V atau 5V, sedangkan proses pengukuran internalnya tetap berbasis sinyal AC rendah untuk menjaga keakuratan dan memperpanjang umur elektroda. Sensor TDS banyak digunakan untuk memantau kualitas air minum, sistem hidroponik, kolam ikan, serta pengolahan limbah, karena memberikan gambaran cepat tentang tingkat kemurnian atau kontaminasi air.

Tabel 2. 11 Datsheet Modul TDS

Parameter	Spesifikasi
Nama Sensor	Gravity Analog TDS Sensor / Meter for Arduino
Fungsi Utama	Mengukur jumlah padatan terlarut (Total Dissolved Solids) dalam air
Prinsip Kerja	Mengukur konduktivitas listrik air untuk memperkirakan konsentrasi TDS (mg/L atau ppm)
Tegangan Kerja (VCC)	3.3V – 5.5V DC
Arus Operasi	3 – 6 mA
Tegangan Keluaran (Output)	0 – 2.3V analog
Rentang Pengukuran TDS	0 – 1000 ppm (umumnya disarankan < 1000 ppm untuk akurasi tinggi)
Akurasi Pengukuran	±10% (pada suhu 25°C)
Suhu Operasional	0°C – 40°C
Tipe Antarmuka	Analog (AO)
Sensor Probe	Waterproof (tahan air)
Panjang Kabel Probe	±1 meter
Bahan Probe	Stainless steel
Dimensi Modul	42 mm x 32 mm
Kompensasi Suhu	Dapat diaktifkan melalui sensor suhu eksternal (misal: DS18B20)
Kalibrasi	Manual, menggunakan larutan standar TDS (misal 342 ppm NaCl)
Hubungan dengan Mikrokontroler	AO → pin analog (A0) Arduino / ESP32
Konversi Tegangan ke Nilai TDS	Menggunakan rumus empiris: $TDS (ppm) = (V_{out} \times faktor) \times 1000$ (biasanya faktor = 0.5, disesuaikan setelah kalibrasi)

2.20 Tranduser

2.20.1 LCD I2C LCD 20x4

LCD 20x4 dengan Modul I2C LCD 20x4 adalah layar kristal cair yang dapat menampilkan 32 karakter, terdiri dari 4 baris dan masing-masing 20 karakter per baris. Layar ini menggunakan teknologi kristal cair yang mengatur cahaya yang ada, bukan menghasilkan cahaya sendiri.



Gambar 2. 31 LCD I2C 20x4[59]

Modul *Inter-Integrated Circuit* (I2C) adalah antarmuka komunikasi serial dua kawat yang memungkinkan pengendalian LCD dengan hanya dua pin data, yaitu SDA dan SCL. Penggunaan modul I2C pada LCD 20x4 mengurangi jumlah pin yang diperlukan, sehingga memudahkan koneksi dan pengendalian.

Tabel 2. 12 Datasheet LCD I2C 20x4

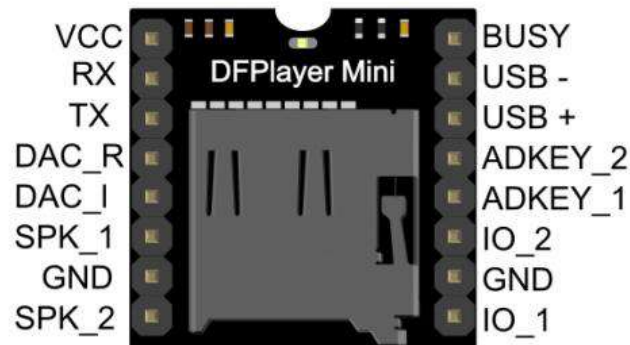
Parameter	Spesifikasi
Model Umum	LCD 2004 dengan backpack I2C (chip PCF8574/PCF8574A)

Parameter	Spesifikasi
Tampilan	20 kolom \times 4 baris karakter (total 80 karakter terlihat, 128 karakter buffer)
Karakter per sel	5 \times 8 dot matrix (atau 5 \times 10 untuk mode khusus)
Driver	HD44780 atau kompatibel
Interface	I2C (SDA, SCL)
Alamat I2C Default	0x27 atau 0x3F (tergantung chip backpack)
Tegangan Operasi	5V DC (beberapa versi juga kompatibel 3.3V pada jalur logika)
Tegangan Logika I2C	3.3V – 5V TTL tolerant
Arus konsumsi	~1 – 2 mA (tanpa backlight), ~20 mA (dengan backlight aktif)
Backlight	LED warna biru/hijau (tergantung modul) dengan kontras diatur via potensiometer
Dimensi Modul	\pm 98 mm \times 60 mm \times 12 mm
Ukuran Area Tampilan	\pm 76 mm \times 25 mm
Jarak Pin Header I2C	2.54 mm (standard header)
Suhu Operasional	-20 °C hingga +70 °C
Library Umum	LiquidCrystal_I2C.h, Wire.h
Fitur Tambahan	- Kontras dapat diatur potensiometer- Hemat pin (cukup 2 pin: SDA, SCL)

2.20.2 Mp3 Player

MP3 player adalah perangkat elektronik portabel yang dirancang untuk memutar file audio digital, khususnya yang berformat MPEG-1 Audio Layer III (MP3), meskipun banyak juga yang mendukung format audio lainnya. Perangkat

ini menyimpan file musik dalam media penyimpanan internal seperti memori flash, hard disk, atau kartu memori, dan menggunakan *Digital-to-Analog Converter* (DAC) untuk mengubah sinyal digital menjadi sinyal analog agar dapat didengar melalui headphone atau speaker.



Gambar 2. 32 Modul DF Player Mini MP3[60]

Sejarah MP3 player dimulai pada tahun 1992 ketika Fraunhofer Institute bersama Thomson Multimedia merampungkan spesifikasi awal format MP3, yang memungkinkan kompresi ukuran file audio hingga sepersepuluh dari ukuran aslinya tanpa mengorbankan kualitas suara secara signifikan. Inovasi ini membuka jalan bagi lahirnya perangkat MP3 player pertama yang berbasis memori flash, yakni MPMan F10 buatan Saehan Information Systems pada tahun 1997, yang kemudian dipasarkan oleh Eiger Labs.

Tabel 2. 13 Datasheet Modul DF Player Mini MP3

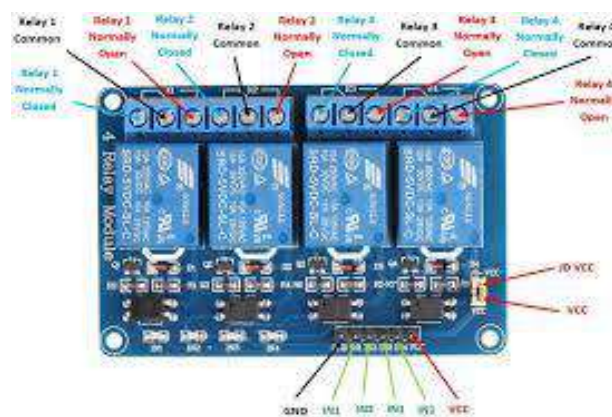
Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Kerja	3.2V – 5V DC
Arus Kerja	~20 mA (standby), hingga 30 mA saat playback
Media Penyimpanan	MicroSD/TF card ($\leq 32\text{GB}$, FAT16/FAT32)
Format Audio	MP3, WAV, WMA
Bit Rate	8 kbps – 320 kbps

Spesifikasi	Keterangan
Sampling Rate	8 kHz – 48 kHz
Jumlah File	Hingga 100 folder, setiap folder maksimal 255 file
Antarmuka Kontrol	Serial UART (TX, RX), perintah AT atau library Arduino
Mode Kontrol	Serial, tombol (AD Key), atau kombinasi
Output Audio	- DAC Out (speaker langsung, 8 Ω /3W max) - Line Out (ke amplifier eksternal)
Speaker yang Didukung	8 Ω 1W – 3W
Fitur Tambahan	Repeat, random play, volume control (0–30 level), EQ preset
Dimensi Modul	$\pm 21 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$

Terobosan besar terjadi pada tahun 2001 saat Apple merilis iPod generasi pertama dengan hard disk 5 GB, yang merevolusi cara masyarakat mendengarkan musik secara portabel. Sejak saat itu, banyak produsen seperti Sony, Creative, dan Samsung turut mengembangkan MP3 player dengan berbagai fitur tambahan, termasuk layar warna, radio FM, perekam suara, hingga kemampuan memutar video. Prinsip kerja MP3 player mencakup beberapa tahapan utama, dimulai dari penyimpanan file audio pada media internal. Ketika pengguna memilih lagu, CPU atau mikrokontroler internal akan mengakses chip decoder MP3 untuk membaca dan mengekstrak data audio dari file terkompresi. Selanjutnya, data digital yang telah didekode diteruskan ke DAC untuk dikonversi menjadi sinyal analog. Sinyal ini kemudian diperkuat oleh amplifier internal dan dialirkan ke jack headphone atau speaker bawaan. Agar pengguna dapat mengoperasikan perangkat dengan mudah, MP3 player juga dilengkapi dengan antarmuka berupa tombol fisik (seperti play, pause, next, previous, dan pengatur volume) serta layar LCD atau LED untuk menampilkan menu, daftar lagu, dan informasi trek yang sedang diputar.

2.20.3 Relay 4 Channel

Modul relay 4 channel adalah sebuah papan sirkuit elektronik yang dirancang untuk mengontrol hingga delapan perangkat listrik secara terpisah melalui delapan buah relay elektromagnetik. Modul ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti otomasi rumah, sistem kendali jarak jauh, dan pengendalian perangkat listrik bertegangan tinggi menggunakan sinyal kontrol bertegangan rendah dari mikrokontroler, seperti Arduino maupun Raspberry Pi. Sejarah perkembangan relay dimulai pada tahun 1835 ketika Joseph Henry menemukan relay elektromagnetik pertama, yang kemudian digunakan secara luas dalam sistem telekomunikasi dan kontrol industri.



Gambar 2. 33 Bentuk Fisik dan Pinout dari Modul Relay 4 Channel[61]

Dengan perkembangan teknologi, relay modern kini hadir dalam bentuk modul multisaluran yang lebih praktis dan efisien, dilengkapi dengan fitur tambahan seperti optocoupler untuk isolasi listrik antara sirkuit kontrol dan sirkuit daya, serta transistor sebagai penguat sinyal kontrol. Prinsip kerja modul relay 4 channel dimulai saat mikrokontroler mengirimkan sinyal kontrol logika (biasanya logika rendah) ke salah satu input modul. Sinyal ini diteruskan melalui optocoupler yang memberikan isolasi antara sirkuit rendah dan tinggi, lalu mengaktifkan transistor driver yang bertugas menyediakan arus yang cukup untuk menggerakkan kumparan relay.

Saat kumparan aktif, kontak dalam relay akan berpindah posisi sehingga mengalirkan arus listrik ke perangkat yang terhubung. Setiap saluran pada modul juga dilengkapi LED indikator yang menyala ketika relay dalam keadaan aktif, sehingga memudahkan pemantauan status. Modul ini umumnya mampu mengendalikan perangkat AC hingga 250V dan arus maksimal 10A, serta perangkat DC hingga 30V dengan arus yang sama, bergantung pada spesifikasi teknis relay yang digunakan.

Tabel 2. 14 Datasheet Modul Relay 4 Channel

Parameter	Spesifikasi
Jenis Relay	SRD-05VDC-SL-C (umumnya)
Jumlah Channel	4 Channel
Tegangan Input (VCC)	5V DC (beberapa versi mendukung 3.3V dengan jumper)
Tegangan Trigger (INx)	3.3V – 5V DC (sesuai logika mikrokontroler)
Arus Input per Channel	~15 – 20 mA
Kapasitas Kontak Relay	10A @ 250VAC / 10A @ 30VDC
Isolasi	Optocoupler (pada beberapa versi)
Mode Trigger	LOW Trigger (umumnya), ada versi HIGH Trigger
Pin Input	IN1, IN2, IN3, IN4 (masing-masing untuk mengontrol relay)
Pin Output (Terminal)	COM (Common), NO (Normally Open), NC (Normally Closed) per channel
Indikator	LED per channel aktif saat relay ON
Dimensi	± 75mm x 55mm x 19mm (bervariasi)

Parameter	Spesifikasi
Fitur Tambahan	- Isolasi optocoupler untuk proteksi- Bisa dikendalikan langsung dari Arduino, ESP8266, ESP32- Terdapat jumper VCC–JD-VCC untuk memilih sumber daya relay coil

2.20.4 Lampu AC

Lampu AC adalah jenis lampu yang dirancang khusus untuk beroperasi menggunakan sumber daya listrik arus bolak-balik (AC), seperti yang disuplai dari jaringan listrik rumah tangga atau sistem kelistrikan umum. Dalam penerapannya, lampu AC modern umumnya menggunakan teknologi *Light Emitting Diode* (LED) yang telah dilengkapi dengan driver internal untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC), karena LED sendiri hanya dapat bekerja pada arus searah. Teknologi ini memungkinkan lampu LED AC beroperasi secara efisien dengan konsumsi daya rendah, tingkat pencahayaan tinggi, serta umur pakai yang panjang dibandingkan dengan lampu pijar konvensional.



Gambar 2. 34 Lampu LED AC[62]

Prinsip kerja lampu AC berbasis LED dimulai ketika tegangan arus bolak-balik 220V dari jaringan listrik masuk ke dalam driver internal. Driver ini berfungsi mengubah arus AC menjadi DC yang stabil, kemudian menyalurkan arus tersebut ke chip LED. Ketika arus mengalir melalui material semikonduktor di dalam LED, elektron dan hole bertemu dan menghasilkan foton (cahaya) melalui proses elektroluminesensi. Pada beberapa jenis lampu AC, driver juga dilengkapi dengan

sistem penyearah (rectifier), filter, dan pengatur arus (*constant current regulator*) untuk menjaga kestabilan tegangan serta mencegah kerusakan akibat lonjakan daya. Cahaya yang dihasilkan kemudian dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan penerangan, mulai dari lampu rumah tangga, kantor, hingga penerangan jalan umum yang terhubung langsung ke sumber listrik AC.

2.20.5 Pompa Air

Pompa air merupakan perangkat mekanik yang berfungsi untuk memindahkan air dari satu lokasi ke lokasi lain dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi aliran fluida. Penggunaan pompa air sangat luas dan penting dalam berbagai bidang, termasuk penyediaan air bersih, sistem irigasi pertanian, pengolahan limbah, hingga sistem pendingin industri.



Gambar 2. 35 Pompa Air untuk Tanaman Hidroponik[63]

Prinsip kerja pompa air pada dasarnya adalah mentransfer volume air dari sisi isap (suction) ke sisi keluar (discharge) dengan bantuan energi mekanik, yang umumnya berasal dari motor listrik. Motor ini menggerakkan komponen utama pompa, seperti impeler atau piston, yang memberikan dorongan kinetik pada air. Saat impeler berputar, energi kinetik tersebut meningkatkan tekanan dan kecepatan aliran air, sehingga air dapat mengalir dengan lancar melalui saluran keluar menuju tempat tujuan. Proses ini memungkinkan distribusi air yang efisien untuk berbagai kebutuhan, baik dalam skala kecil seperti rumah tangga maupun dalam sistem besar seperti pengolahan air kota atau pertanian terpadu.

BAB III

METODOLOGI PERENCANAAN PERANCANGAN TANI-V1

3.1 Perancangan TANI-V1

Tahap terpenting dalam pembuatan TANI-V1 adalah perencanaan perancangan. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam perancangan TANI-V1 meliputi perancangan elektrikal yang sesuai dengan kebutuhan alat yang akan dibangun. Perancangan elektrikal didasarkan pada karakteristik perangkat penunjang, modul, sensor, pengendali, transduser, dan keluaran dari suatu alat yang akan dibangun. Pada setiap komponen atau modul dari TANI-V1 harus dibaca berdasarkan karakteristik yang tertera dalam buku panduan atau *datasheet* modul atau komponen, hal ini dapat menentukan keefisienan suatu elektrikal di TANI-V1.



Gambar 3. 1 Bentuk Fisik TANI-V1 di SMAN 12 Palembang

Perancangan perangkat lunak meliputi hal – hal yang berkenaan dengan perangkat lunak yang akan ditanamkan di TANI-V1 yang akan dirancang. Hal ini meliputi algoritma, aplikasi pemrograman, dan *flowchart*. Melalui perancangan perangkat lunak dapat melakukan pengaturan sistem yang ingin diinginkan.

Perancangan mekanik didasarkan atas visualiasi dari TANI-V1 yang ingin dituju, melalui perancangan mekanik perancang memiliki gambaran bagaimana



Gambar 3. 2 Alur Studi Perancangan TANI-V1

TANI-V1 akan dibangun. Hal ini dapat dilihat dari susunan perangkat, seperti peletakkan komponen atau modul, susunan pengkabelan yang baik, dan dimensi suatu robot. Tujuan perancangan suatu alat adalah untuk memudahkan dalam proses pembuatan alat, dan mengetahui komponen apa saja yang diperlukan dalam pembuatan alat. Terdapat 3 jenis perancangan dalam merancang alat ini, yaitu perancangan mekanik, program, dan elektrik.

Setelah perancangan selesai, dilakukan analisa data yang diperoleh dari peralatan yang sudah dirancang, mulai dari data fisik dan non fisik, data yang sudah dikumpulkan dilakukan perbandingan dan perhitungan agar mengetahui ideal atau tidaknya perancangan yang dilakukan.

3.1.1 Perancangan Mekanikal

Perancangan mekanik atau perancangan secara mekanikal adalah proses merancang bagian fisik atau sistem yang berhubungan dengan gerak, gaya, energi, dan struktur dari suatu alat atau alat agar alat tersebut dapat bekerja sesuai fungsinya.



Gambar 3. 3 Bentuk Fisik TANI-V1

3.1.1.1 Bagian Control Panel

Perancangan mekanik untuk bagian control panel difokuskan pada kestabilan struktur, keamanan perangkat elektronik, serta kemudahan akses untuk pemeliharaan. Direncanakan kontrol panel yang akan dipasang pada sebuah tiang pemancang berbahan logam kuat dan tahan terhadap korosi, seperti galvanis atau

besi hollow berlapis cat anti karat. Tiang ini memiliki empat kaki sebagai penyangga yang dirancang kokoh dengan bentuk segitiga silang di bagian bawah agar mampu menopang beban box panel dan solar panel di atasnya. Ketinggian tiang disesuaikan agar solar panel mendapatkan pencahayaan maksimal tanpa terhalang bayangan sekitar. Box panel terbuat dari bahan besi tahan korosi dan panas, serta memiliki tingkat perlindungan untuk mencegah debu dan air masuk ke dalam panel elektronik. Bagian control panel atau panel kendali adalah bagian yang berisi komponen utama sistem kendali berupa mikrokontroler ESP32 dan Arduino Mega, serta komponen elektronik lainnya seperti sensor MQ135, DHT11, sensor pH, dan sensor TDS, yang seluruhnya terorganisasi dengan rapi menggunakan PCB yang sudah dibuat kan layout yang akan memudahkan melakukan interkoneksi dan perbaikan-perawatan terhadap TANI-V1. Selain itu, terdapat juga modul relay 4-channel sebagai transduser untuk mengendalikan aktuator seperti pompa dan lampu. Semua kabel diatur dengan jalur kabel terpisah dan direncanakan untuk menggunakan kabel gland pada dinding box atau duct cable untuk memastikan kabel tidak mudah lepas dan tetap terlindungi. Desain pintu panel yang dapat dibuka ke samping dengan engsel logam memungkinkan peneliti untuk dengan mudah melakukan pemeriksaan, pemrograman, dan pemeliharaan sistem.

3.1.1.2 Bagian Hidroponik

Bagian hidroponik dirancang sebagai sistem tanam vertikal berbahan pipa PVC berwarna putih yang tahan terhadap cuaca dan paparan sinar matahari. Sistem ini terdiri dari beberapa tingkat pipa horizontal yang dilubangi untuk menanam tanaman secara teratur. Direncanakan tanaman yang akan ditanam di hidroponik dengan menggunakan TANI-V1 adalah sawi dan pakcoi. Studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai topik yang diteliti, yaitu perancangan perangkat TANI-V1. Meliputi standar nilai pH dan ppm untuk rencana tanaman hidroponik yang ditanam, sehingga sesuai dengan rancangan yang akan dilakukan di tanaman hidroponik menggunakan TANI-V1.

Setiap pipa ditopang oleh rangka vertikal berbahan PVC atau aluminium ringan yang dirakit dengan sambungan siku dan tee, sehingga memudahkan dalam perakitan dan perawatan. Jarak antar lubang tanam diatur agar tanaman memiliki ruang cukup untuk tumbuh tanpa saling menutupi. Nutrisi dialirkan secara sirkulasi menggunakan pompa air kecil yang terhubung dengan tangki nutrisi di bagian bawah sistem. Saluran air masuk dan kembali diatur menggunakan pipa kecil yang mengalirkan larutan nutrisi ke masing-masing pipa tanam, lalu kembali ke tangki melalui pipa pengembalian. Sistem ini dilengkapi juga dengan filter sederhana untuk mencegah sumbatan pada saluran air. Untuk menunjang kebersihan lingkungan sistem hidroponik, di bagian depan sistem ditambahkan saluran drainase atau got air yang terbuat dari beton atau plat semen fiber, berfungsi sebagai jalur air buangan atau luapan, dan sekaligus menjaga area kerja tetap bersih serta aman dari genangan air. Kombinasi antara sistem tanam yang efisien dan sistem drainase yang tertata memungkinkan sistem hidroponik ini dapat beroperasi dalam jangka panjang dengan minim perawatan.



Gambar 3. 4 TANI-V1 dan Hidroponik DFT

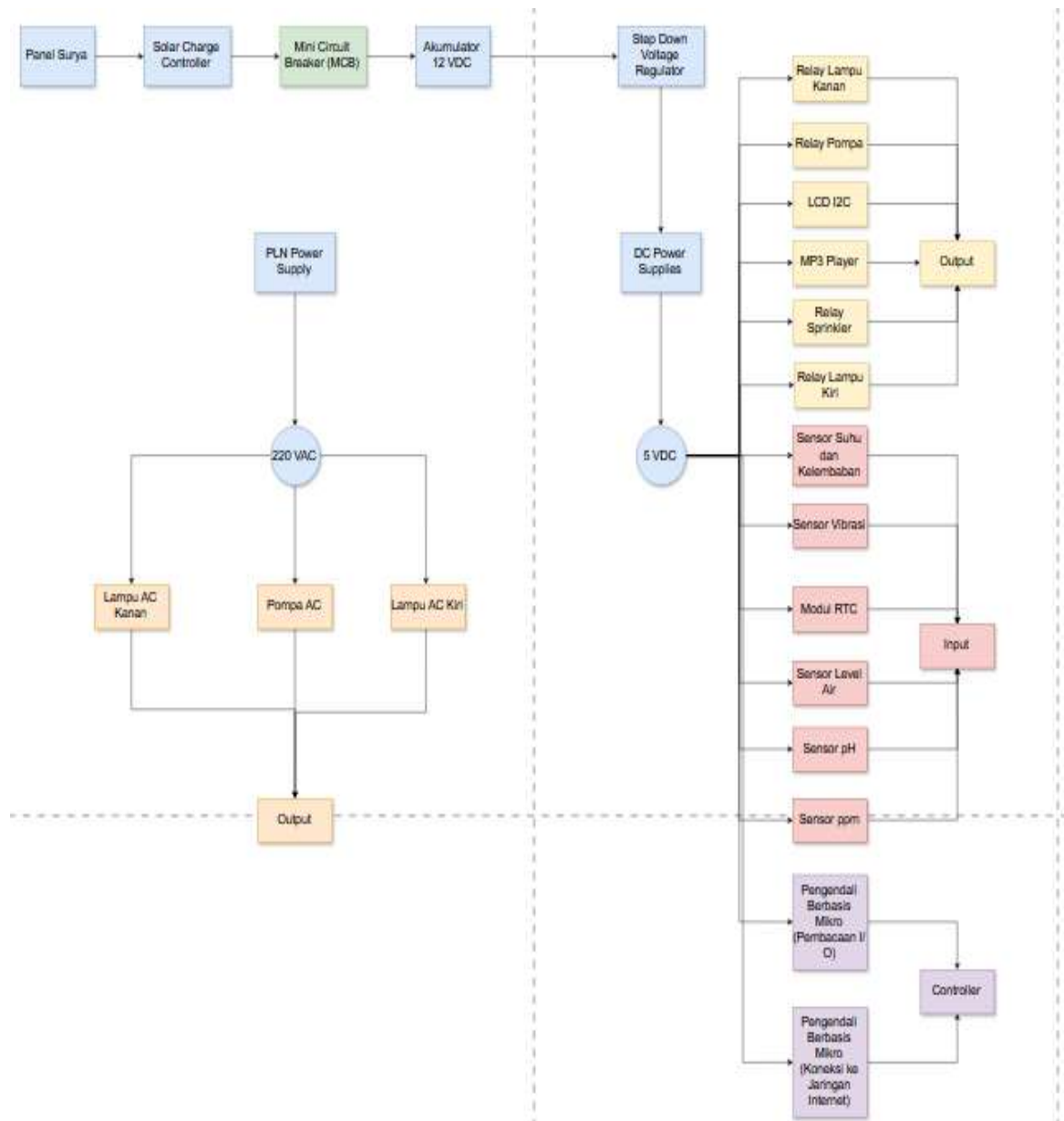
3.1.2 Perancangan Program

Perancangan perangkat lunak (software) adalah disiplin teknis yang berkaitan dengan pembuatan dan pemeliharaan produk perangkat lunak secara sistematis, termasuk pengembangan dan modifikasinya. Cara kerja suatu program atau perangkat lunak dari suatu alat dapat digambarkan melalui flowchart atau diagram alir dari awal mulai TANI-V1 diaktifkan hingga mencapai titik akhir yang diinginkan.

3.1.2.1 Diagram Blok

Diagram Blok merupakan salah satu bagian penting dalam perancangan program, Cara kerja keseluruhan alat yang akan dibuat dapat dilihat pada diagram blok sehingga keseluruhan diagram blok akan menghasilkan suatu sistem yang dapat difungsikan atau dapat bekerja. Diagram Blok dapat menjelaskan masukan, pengendali, dan keluaran di TANI-V1. Gambar di bawah ini adalah Diagram Blok dari TANI-V1.

Dalam Diagram Blok yang digunakan untuk melakukan perancangan TANI-V1 terdapat 2 bagian utama yaitu Diagram Blok pembangkit dan transmisi energi listrik dan yang kedua adalah Diagram Blok pengolahan sinyal dan data. Direncanakan TANI-V1



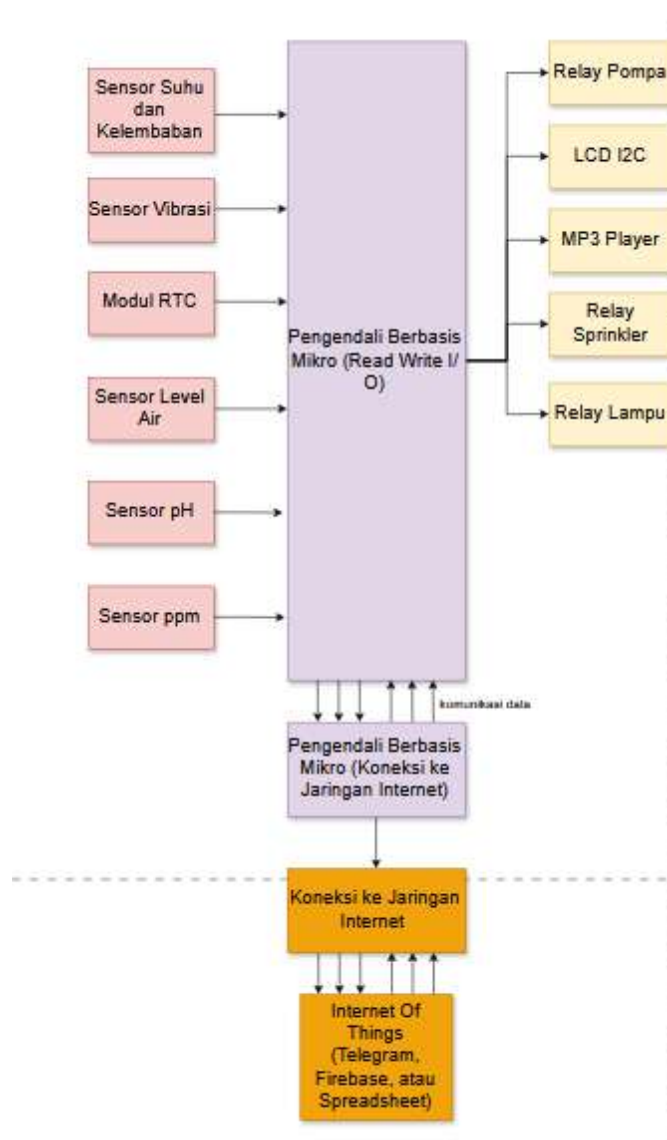
Gambar 3. 5 PLTS TANI-V1 dan Penyalurannya

Gambar di atas menjelaskan tentang bagaimana menginterkoneksi rangkaian yang dimulai dari panel surya menuju ke semua beban. Berikut adalah perincian dari transmisi energi listrik dari TANI-V1.

1. Panel Surya dihubungkan ke SCC, interkoneksi ini dihubungkan dengan melakukan koneksi antara kabel bertegangan panel surya

ke port panel surya + sebagai, lalu kabel ground panel surya ke port panel surya -, melalui interkoneksi ini akan menyebabkan SCC menjadi aktif tampilannya.

2. SCC dihubungkan ke MCB DC, hal ini digunakan untuk mengamankan komponen dan modul selanjutnya sesudah terhubung ke MCB DC.
3. Bagian dari MCB DC untuk pin + dan -, dihubungkan sesuai dengan SCC di bagian battery + dan battery -, begitu MCB DC dinyalakan maka dapat melakukan charging untuk aki, sedangkan pin load+ dan load- di SCC diabaikan saja, karena tidak akan digunakan. Hal ini berlaku sama dengan port USB tipe A yang ada di SCC, diabaikan karena tidak akan dibebankan secara langsung dengan modul apapun.
4. Baterai aki, diinterkoneksi secara paralel menuju ke beberapa beban, dan modul stepdown untuk menurunkan tegangannya dari 12Vdc ke 5Vdc agar kompatibel dengan kebutuhan beban mikrokontroler, sensor dan transduser.



Gambar 3. 6 Diagram Blok Pengolahan Sinyal dan Data TANI-V1

Gambar di atas adalah bagaimana melakukan pengelolaan sinyal dan data, pengelolaan data seperti pembacaan sensor sebagai masukan, terdapat beberapa cara pembacaan sensor, penulisan untuk transduser dan pengiriman data secara serial dengan menggunakan komunikasi data. Berikut adalah penjelasan secara rinci dari pengolahan sinyal dan data untuk perencanaan TANI-V1 di SMAN 12 PALEMBANG

1. Pembacaan sinyal masukan (*input element*)

Pembacaan sinyal secara digital, pembacaan sinyal ini hanya terdapat dua kondisi yaitu kondisi yang bernilai 1 dan 0, dalam studi perancangan TANI-V1 direncanakan akan menggunakan sensor dht 11 atau dht 22 untuk membaca nilai kelembaban dan suhu di sekitar hidroponik. Sedangkan sensor vibrasi dapat membaca sinyal 1 atau 0, pada saat terdapat getaran yang kemungkinan disebabkan oleh tabrakan atau impaksi akan diasumsikan bernilai 1, sedangkan saat tidak ada getaran maka akan dianggap 0 oleh mikrokontroler, getaran di hidroponik mampu dibaca oleh sensor ini.

Lalu pembacaan berdasarkan sinyal analog, pembacaan sensor ini tidak hanya bernilai 1 dan 0, dimana terdapat nilai analog diantara 1 dan 0, pada dasarnya tergantung kemampuan mikrokontroler yang digunakan, untuk seri board Arduino sendiri, misal Uno, Mega, dan lainnya hanya mampu membaca nilai sebesar 10 bit, pembacaan ini cukup akurat dimana di antara 0 dan 1 akan diasumsikan 0 sebagai 0 dan 1 sebagai nilai tertinggi 1023, sehingga pembacaan bernilai 0-1023. Dalam studi perancangan TANI-V1, sensor yang digunakan untuk pembacaan analog adalah sensor, ph, ppm, level air.

Terakhir adalah pembacaan sensor atau input element berdasarkan komunikasi yang digunakan, terdapat beberapa sensor yang harus diinterkoneksi dengan menggunakan beberapa protokol komunikasi, diantaranya adalah protokol komunikasi i2c, spi, uart, atau usb hub. Dalam studi perancangan TANI-V1 sensor yang memiliki komunikasi adalah modul real time clock (RTC) dimana sensor ini digunakan untuk mengambil data

waktu dari perangkat misal laptop atau komputer saat ini, menyimpannya dalam memori dan mempertahankan data waktu yang disimpan dengan menggunakan baterai, sehingga pada saat terjadi pemutusan tegangan sumber, RTC tidak perlu dilakukan pengunggahan kembali program jam saat ini oleh komputer atau laptop melainkan tetap melanjutkan penghitungan waktu, dengan catatan baterai tidak habis dan tidak dilepas dari RTC.

2. Komunikasi Data (UART)

Data dari mikrokontroler pembaca sinyal perlu dikirimkan ke mikrokontroler yang dapat diintegrasikan secara IoT. Untuk mengkomunikasikan data ini menggunakan protokol UART, dimana terdapat RX sebagai penerima dan TX sebagai pemancar, data yang dipancarkan atau dikirimkan oleh mikrokontroler pembaca sinyal masukan diterima oleh penerima, dalam perancangan TANI-V1 adalah menggunakan esp8266 untuk menerima data yang dibaca, lalu mengirimkan data yang terbaca sebagai bahan untuk analisis dan perbandingan dari pembacaan sensor dan pembacaan alat ukur yang kompherensif, data ini direncanakan akan disimpan ke Google Spreadsheet, atau database mysql untuk dilakukan analisis.

Dalam studi kasus perencanaan TANI-V1, direncanakan TANI-V1 akan diintegrasikan dengan fitur notifikasi, fitur ini akan menggunakan akun email atau Telegram yang dikhususkan untuk menotifikasi pengguna TANI-V1 mengenai kondisi hidroponik secara langsung (realtime). Contohnya adalah saat terjadi kekurangan nutrisi, bak air habis, kekurangan ppm atau terjadi impaksi di hidroponik. TANI-V1 akan menotifikasi pengguna mengenai tingkah laku dari hidroponik secara langsung

3. Penulisan Sinyal Keluaran (*output element*)

Sama halnya dengan pembacaan sinyal, terdapat penulisan sinyal berdasarkan digital, analog, dan protokol komunikasi. Untuk penulisan sensor secara digital akan digunakan di relay pompa air, dan relay pompa lampu AC. Ketika sinyal ditulis 1 atau HIGH, maka transduser menyala, kebalikannya saat

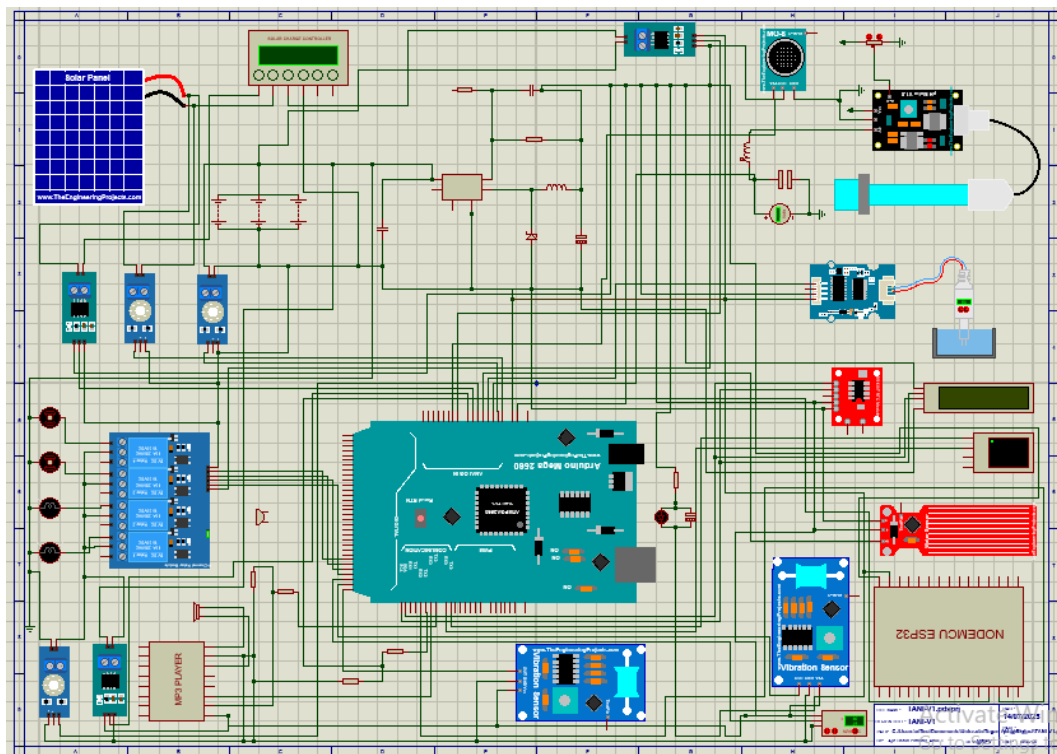
sinyal ditulis 0, maka akan menonaktifkan transduser.

Sedangkan untuk lcd i2c yang akan digunakan adalah lcd i2c dengan jumlah karakter 16 kolom dan 2 baris (16x2) atau 20 kolom dan 4 baris (20x4), akan disesuaikan kebutuhan, lcd i2c ini menggunakan komunikasi i2c sama seperti RTC, akan menggunakan pin serial data (SDA) dan Serial Clock (SCL), dalam studi perancangan TANI-V1 penggunaan lcd i2c ini dikhususkan memonitor data secara langsung di tempat, untuk pembacaan sensor akan ditampilkan di lcd i2c ini. Penggunaan i2c pada modul lcd membuat penggunaan I/O di mikrokontroler menjadi lebih sedikit pengkabelannya dibandingkan tanpa menggunakan modul I2C.

Terakhir untuk modul mp3 player, modul ini direncanakan digunakan untuk memberikan peringatan di sekitar hidroponik, saat terjadi impaksi atau kasus lainnya, maka modul ini akan aktif untuk memberikan peringatan bagi orang-orang di sekitar hidroponik mengenai kondisi hidroponik saat ini. Modul ini menggunakan protokol komunikasi UART, sama seperti komunikasi data, data lagu atau peringatan yang disimpan di dalam modul MP3 Player ini akan dikirimkan ke mikrokontroler dan diterima.

3.1.2.2 Diagram Alir

Diagram alir adalah bagaimana tahapan atau proses dari TANI-V1 berjalan, dimulai dari inisiasi, sensor, mikrokontroler, dan transduser, isiasi dengan jaringan WiFi, serta parameter-parameter tertentu yang akan menyebabkan Read-Write dalam mikrokontroler. Diagram Alir dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 3. 8 Elektrikal Keseluruhan TANI-V1

3.1.3.1 Interkoneksi Modul Sensor

Interkoneksi modul sensor adalah segenap cara yang dilakukan untuk melakukan akses terhadap pembacaan sensor dengan menggunakan Arduino Mega 2560, pada dasarnya setiap modul sensor yang digunakan tidak dapat langsung membaca nilai satuan yang dimengerti dalam bahasa manusia, namun mikrokontroler hanya dapat mengerti satuan dalam voltase, program yang ditanamkan pada mikrokontroler dapat mengubah dan mengkonversi nilai tegangan yang dibaca oleh Arduino Mega 2560 menjadi satuan yang dapat dimengerti manusia.

Sebagian sensor yang digunakan terdapat library yang memiliki sifat yang compact sehingga hanya dengan menggunakan library pada modul tertentu sudah dapat data pembacaan, dalam kasus ini salah satu sensor yang memiliki library yang compact adalah sensor dht11, lalu Sebagian sensor lainnya seperti PH sensor PCF, TDS sensor module, dan Gas sensor memerlukan kalibrasi dan perbandingan

dengan alat ukur yang semestinya karena sensor-sensor tersebut tidak memiliki library yang sifatnya compact dan perlu diatur dan kalibrasi secara konvensional dengan mengubah kode yang ditanamkan di Arduino Mega 2560 ESP8266 WiFi module dengan sebaik mungkin sehingga nilai pembacaan sensor mendekati dengan alat ukur yang semestinya.

3.1.3.1.1 DHT 11

```
#include "DHT.h"

// Definisikan pin dan tipe sensor
#define DHTPIN 7           // Pin data DHT11 terhubung ke pin 7
#define DHTTYPE DHT11     // Tipe sensor

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
  Serial.println("Mulai membaca sensor DHT11...");
}

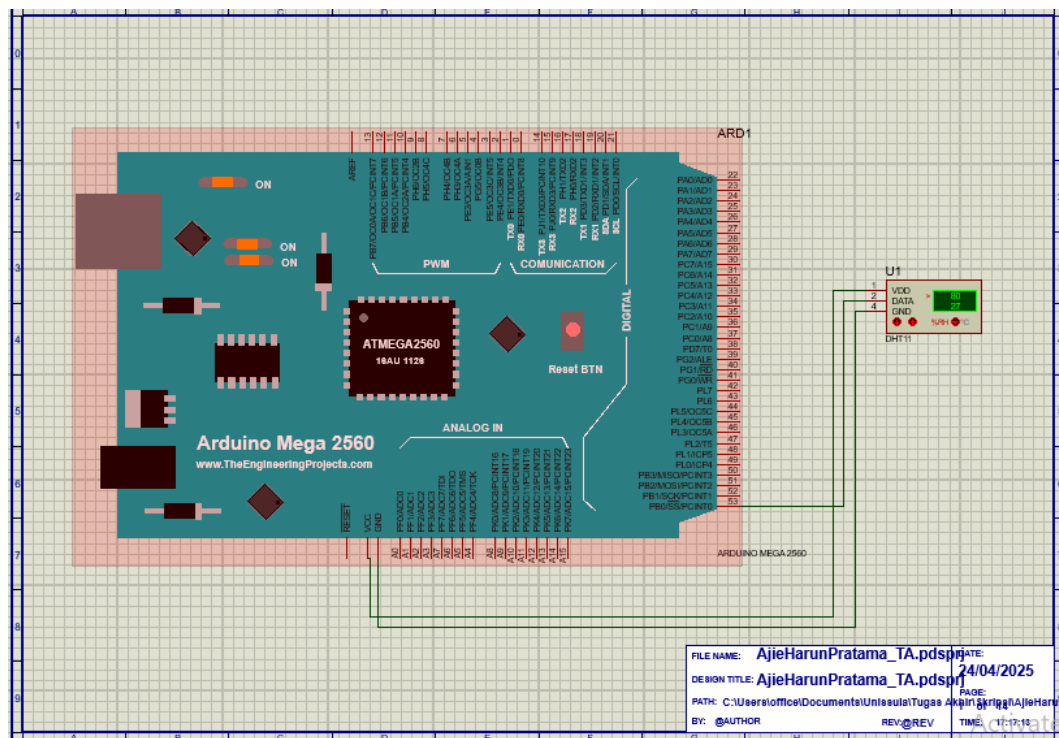
void loop() {
  // Tunggu pembacaan sensor
  delay(2000); // DHT11 memiliki interval pembacaan sekitar 2 detik

  float suhu = dht.readTemperature();    // Celsius
  float kelembaban = dht.readHumidity(); // %

  // Cek apakah pembacaan berhasil
  if (isnan(suhu) || isnan(kelembaban)) {
    Serial.println("Gagal membaca dari sensor DHT11!");
    return;
  }
  Serial.print("Suhu: ");
  Serial.print(suhu);
  Serial.print(" °C\t");

  Serial.print("Kelembaban: ");
  Serial.print(kelembaban);
  Serial.println(" %");
}
```

Kode 3. 1 Kode untuk Akses DHT 11



Gambar 3. 9 Interkoneksi DHT 11 Terhadap Arduino Mega 2560

3.1.3.1.2 RTC

```
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
RTC_DS1307 rtc;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("RTC tidak ditemukan. Periksa koneksi!");
    while (1);
  }
  if (!rtc.isrunning()) {
    Serial.println("RTC tidak berjalan. Set waktu sekarang!");
    // Set waktu manual jika RTC belum disetel (hanya perlu sekali)
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    // Atau set manual:
    // rtc.adjust(DateTime(2025, 7, 31, 1, 0, 0)); // (YYYY, MM, DD,
    HH, MM, SS)
  }
  Serial.println("RTC DS1307 Siap!");
}

void loop() {
```

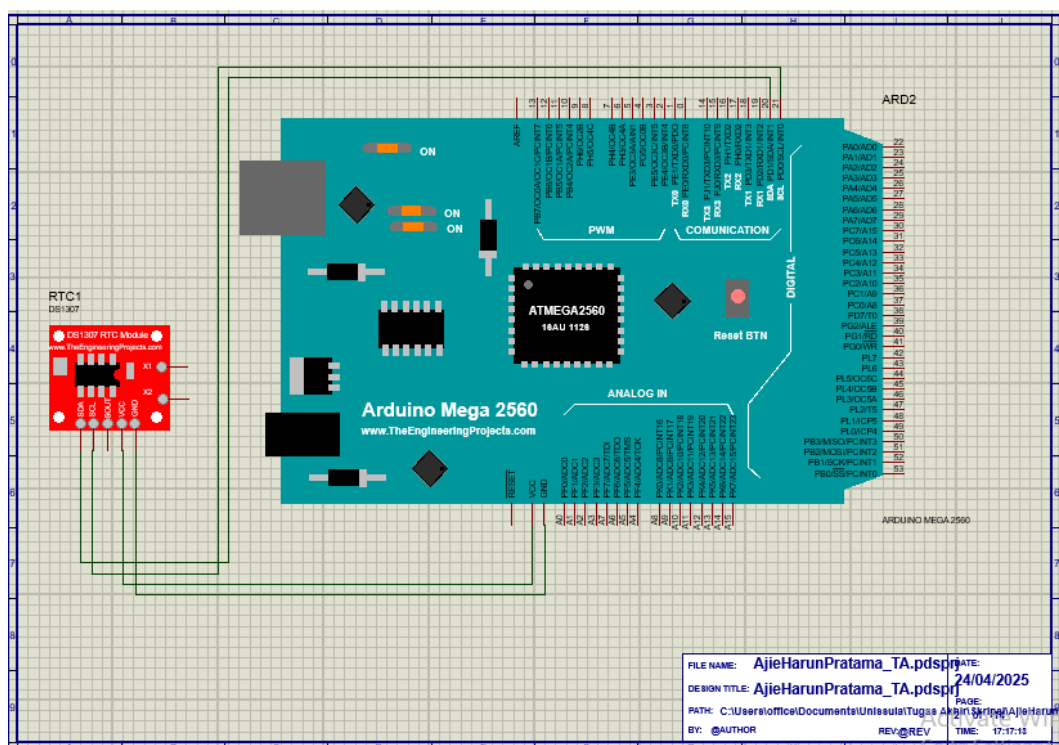
```

DateTime now = rtc.now();

Serial.print("Tanggal: ");
Serial.print(now.day());
Serial.print("/");
Serial.print(now.month());
Serial.print("/");
Serial.print(now.year());
Serial.print("  Waktu: ");
Serial.print(now.hour());
Serial.print(":");
Serial.print(now.minute());
Serial.print(":");
Serial.println(now.second());
delay(1000);
}

```

Kode 3. 2 Kode Akses RTC 1307



Gambar 3. 10 Interkoneksi RTC 1307 Terhadap Arduino Mega 2560

3.1.3.1.3 pH

```

#include <Wire.h>
#define PCF8591_ADDR 0x48 // Alamat default PCF8591

```



```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin(); // SDA (pin 20), SCL (pin 21) untuk Arduino Mega
  delay(100);
}

int readADC(int channel) {
  Wire.beginTransaction(PCF8591_ADDR);
  Wire.write(0x40 | channel); // aktifkan mode analog input channel
  (AIN0..AIN3)
  Wire.endTransmission();
  Wire.requestFrom(PCF8591_ADDR, 2);

  Wire.read(); // Baca dummy byte (diperlukan hanya pada pembacaan
  pertama)
  int value = Wire.read(); // Baca nilai ADC sebenarnya
  return value;
}

void loop() {
  int adcValue = readADC(0); // Membaca dari channel AIN0

  // Konversi ke tegangan (ADC 8-bit: 0-255 → 0-5V)
  float voltage = adcValue * (5.0 / 255.0);

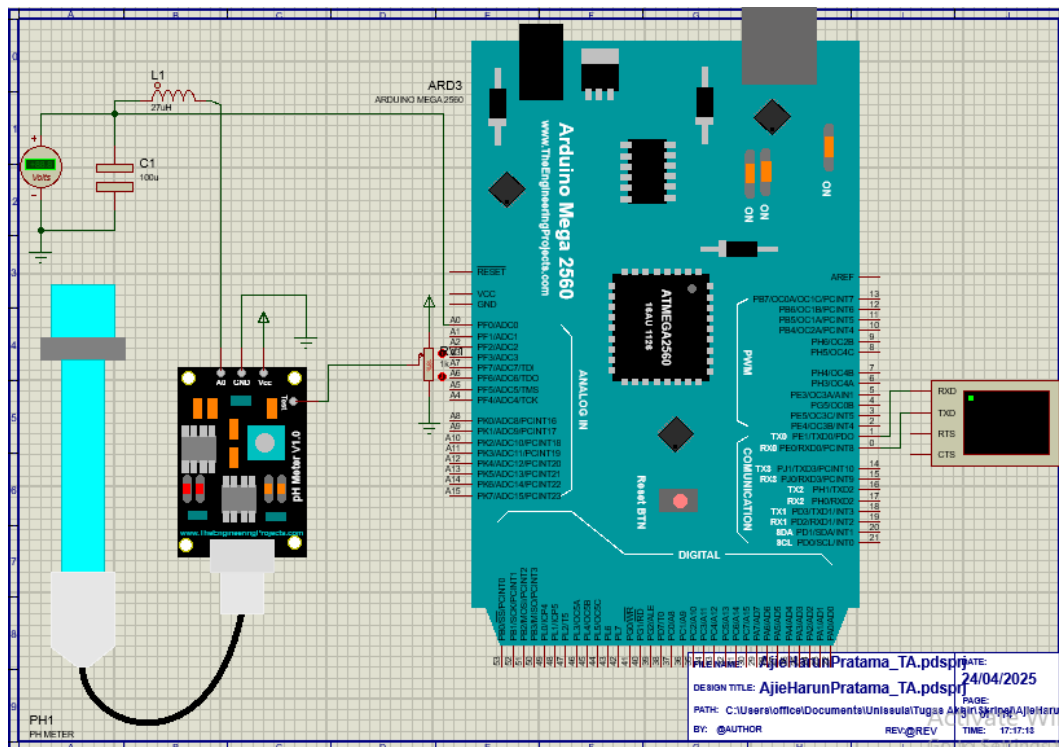
  // Konversi tegangan ke pH (biasanya tergantung kalibrasi sensor
  pH)
  // Misal: 0V = pH 0, 2.5V = pH 7, 5V = pH 14
  float ph = (voltage * 14.0) / 5.0;

  Serial.print("ADC Value: ");
  Serial.print(adcValue);
  Serial.print("\tTegangan: ");
  Serial.print(voltage, 2);
  Serial.print(" V\tpH: ");
  Serial.println(ph, 2);

  delay(1000);
}

```

Kode 3. 3 Kode Akses PH-4502C



Gambar 3. 11 Interkoneksi PH-PC4502 Terhadap Arduino Mega 2560

3.1.3.1.4 TDS Sensor PPM

```
#define TDS_PIN A0 // Gunakan pin analog A0
float voltage, tdsValue;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(TDS_PIN, INPUT);
}

void loop() {
    int analogValue = analogRead(TDS_PIN);
    voltage = analogValue * (5.0 / 1024.0); // Konversi ke tegangan

    // Rumus konversi dari datasheet DFRobot
    tdsValue = (133.42 * pow(voltage, 3)) - (255.86 * pow(voltage, 2))
    + (857.39 * voltage);

    Serial.print("Tegangan: ");
    Serial.print(voltage, 2);
    Serial.print(" V\t");
}
```

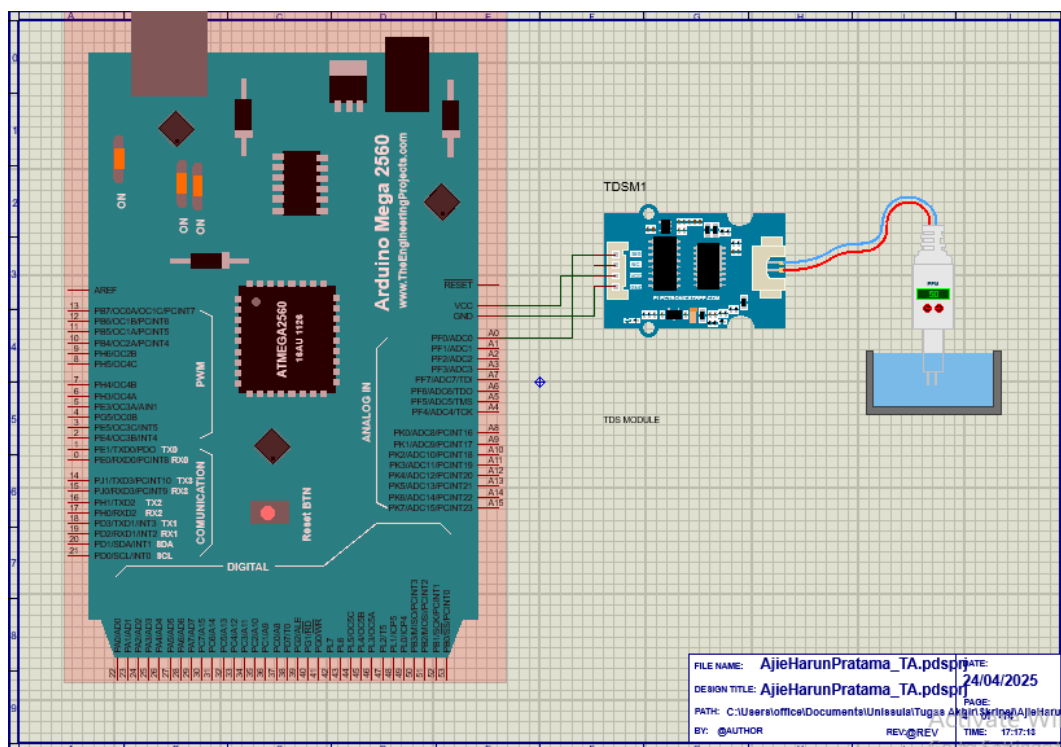
```

Serial.print("TDS: ");
Serial.print(tdsValue, 2);
Serial.println(" ppm");

delay(1000);
}

```

Kode 3. 4 Kode Akses Sensor TDS



Kode 3. 5 Interkoneksi Sensor TDS Terhadap Arduino Mega 2560

3.1.3.1.5 Water Level

```

#define WATER_SENSOR_PIN A1

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(WATER_SENSOR_PIN, INPUT);
}

void loop() {
  int analogValue = analogRead(WATER_SENSOR_PIN);

  // Konversi ke persentase (0 = kering, 1023 = penuh basah)

```

```

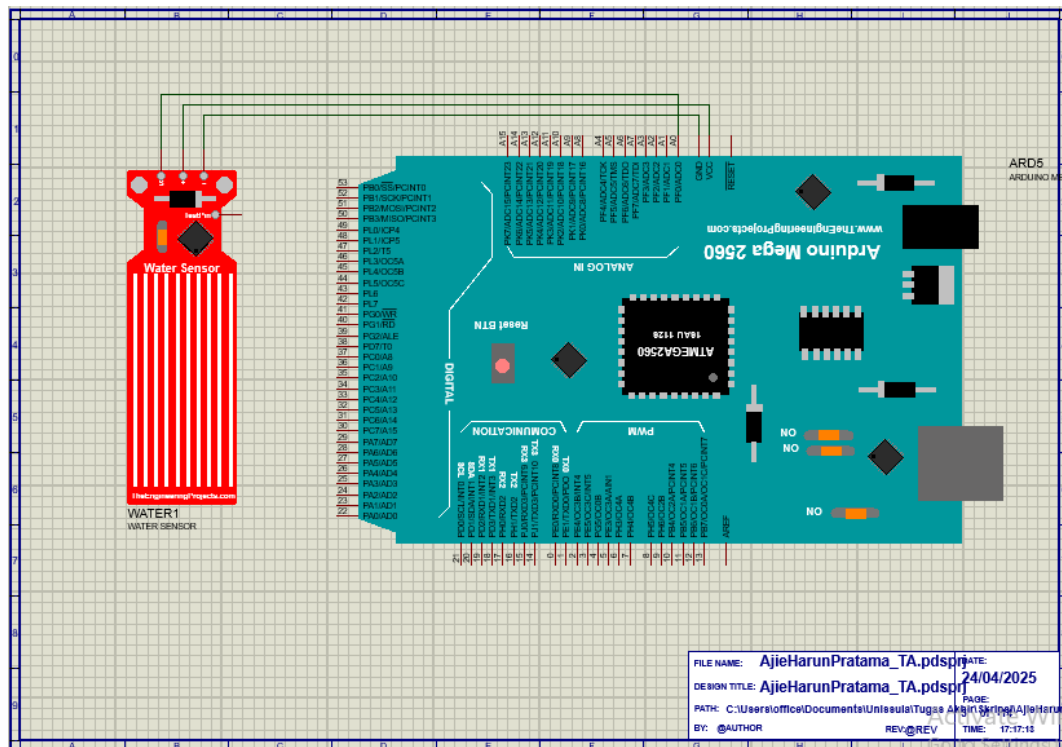
float level = map(analogValue, 0, 1023, 0, 100);

Serial.print("Nilai Analog: ");
Serial.print(analogValue);
Serial.print("\tLevel Air: ");
Serial.print(level);
Serial.println(" %");

delay(1000);
}

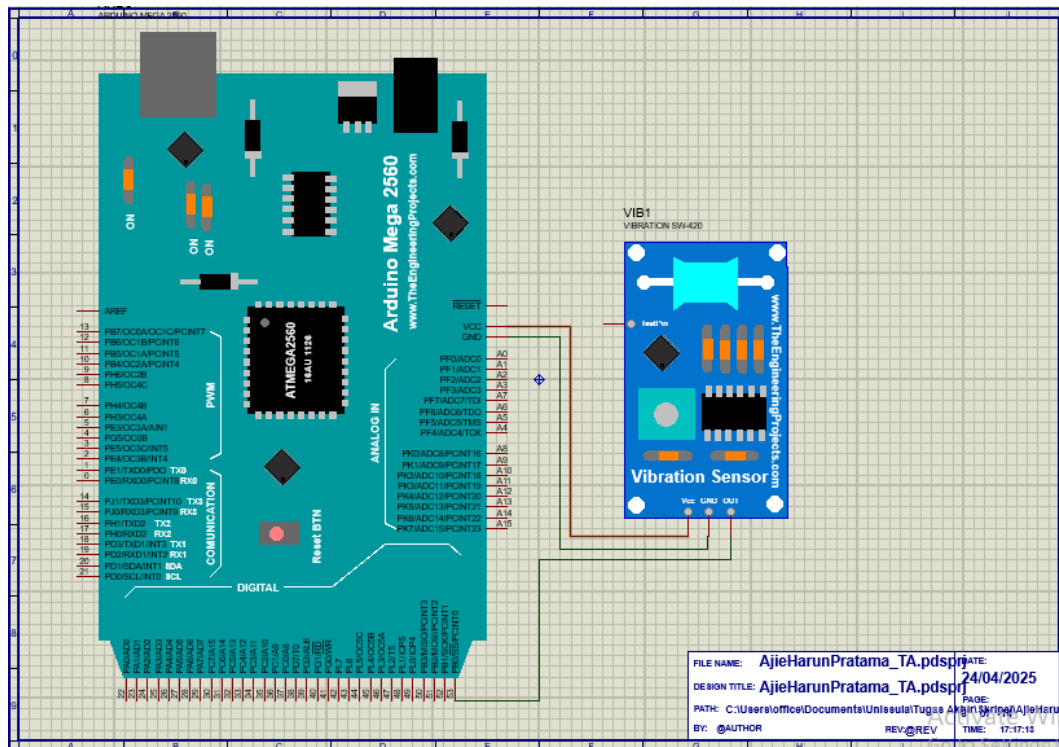
```

Kode 3. 6 Kode Akses Sensor Water Level



Gambar 3. 12 Interkoneksi Sensor Water Level Terhadap Arduino Mega 2560

3.1.3.1.6 Vibrasi



Gambar 3. 13 Interkoneksi Sensor Vibrasi Terhadap Arduino Mega 2560

```
#define VIBRATION_PIN 8

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(VIBRATION_PIN, INPUT);
    Serial.println("Sensor Getaran SW-420 Siap!");
}

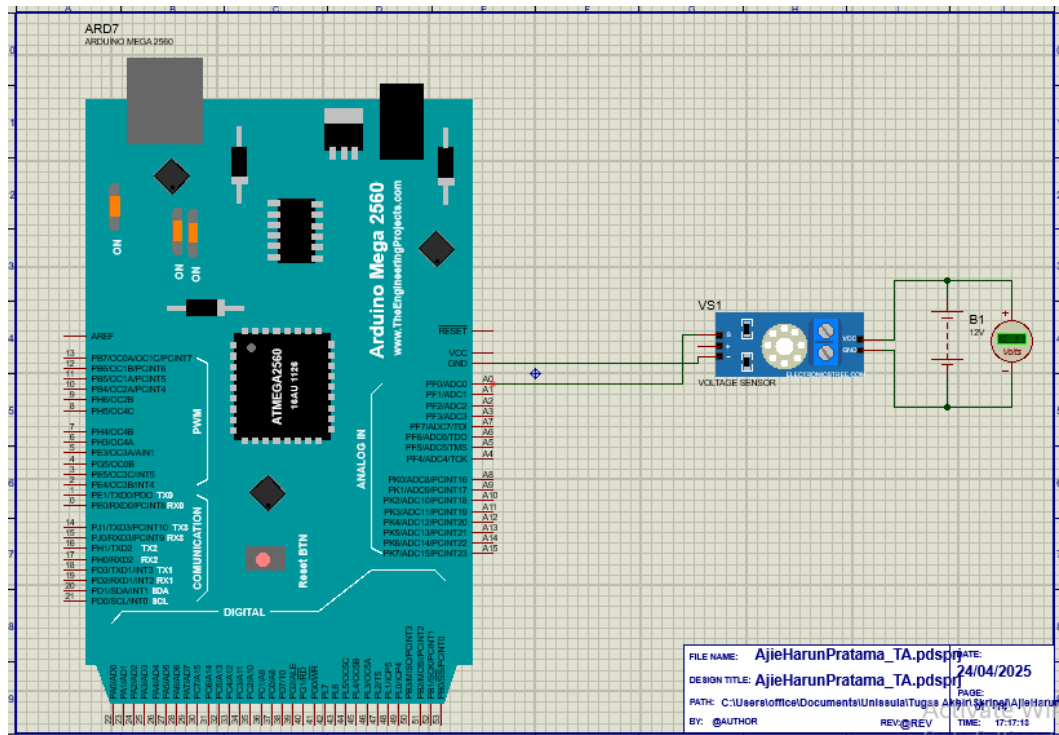
void loop() {
    int status = digitalRead(VIBRATION_PIN);

    if (status == LOW) {
        Serial.println("✳ Getaran Terdeteksi!");
    } else {
        Serial.println("✓ Tidak Ada Getaran");
    }

    delay(500);
}
```

Kode 3. 7 Kode Akses Sensor Vibrasi

3.1.3.1.7 Voltage



Gambar 3. 14 Interkoneksi Sensor Tegangan Terhadap Arduino Mega 2560

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
Adafruit_INA219 ina219;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) { delay(1); }
  if (!ina219.begin()) {
    Serial.println("Sensor INA219 tidak terdeteksi!");
    while (1);
  }
  Serial.println("INA219 Siap. Membaca tegangan...");
}

void loop() {
  float busVoltage = ina219.getBusVoltage_V(); // Tegangan beban (V)
  float shuntVoltage = ina219.getShuntVoltage_mV(); // Tegangan shunt (mV)
```

```

float current_mA = ina219.getCurrent_mA();           // Arus (mA)
float power_mW = ina219.getPower_mW();               // Daya (mW)

Serial.print("Tegangan Beban: ");
Serial.print(busVoltage);
Serial.println(" V");

Serial.print("Arus: ");
Serial.print(current_mA);
Serial.println(" mA");

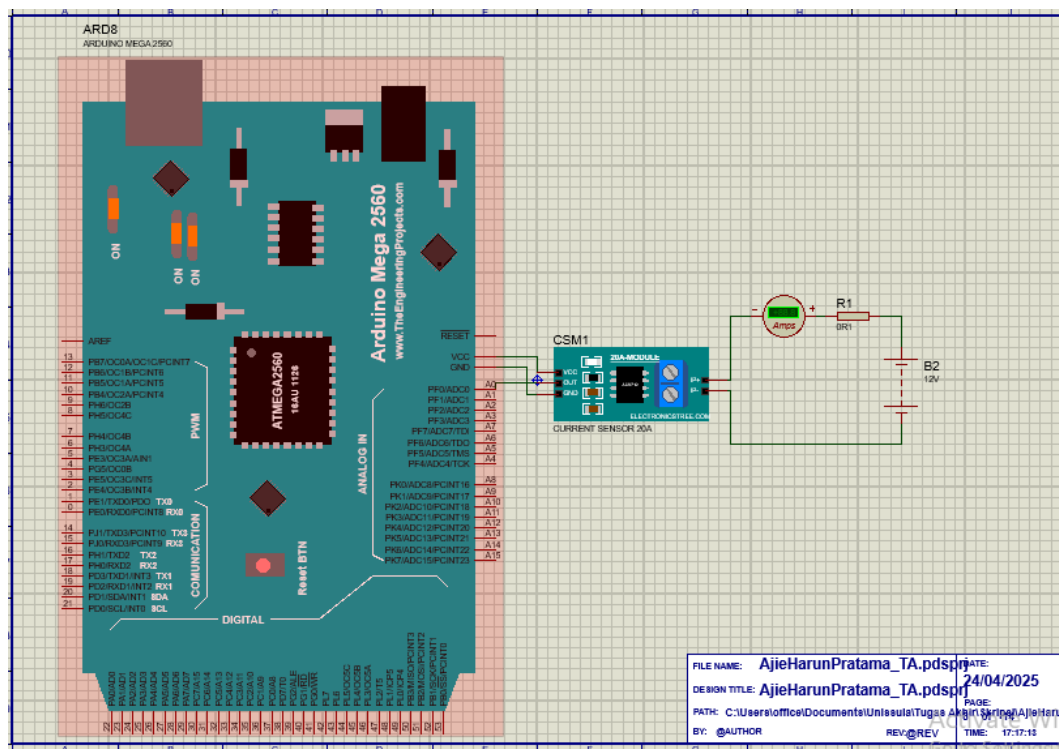
Serial.print("Daya: ");
Serial.print(power_mW);
Serial.println(" mW");

Serial.println("-----");
delay(1000);
}

```

Kode 3. 8 Kode Akses Sensor Tegangan

3.1.3.1.8 Current



Gambar 3. 15 Interkoneksi Sensor Arus Terhadap Arduino Mega 2560

```

#define CURRENT_SENSOR_PIN A0

float offsetVoltage = 2.5;    // Tegangan saat arus = 0 A (2.5V)
float sensitivity = 0.04;    // Sensitivitas (volt per ampere)

void setup() {
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    int adcValue = analogRead(CURRENT_SENSOR_PIN);
    float voltage = adcValue * (5.0 / 1023.0); // konversi ke tegangan

    float current = (voltage - offsetVoltage) / sensitivity;

    Serial.print("Tegangan Output: ");
    Serial.print(voltage, 3);
    Serial.print(" V\tArus: ");
    Serial.print(current, 3);
    Serial.println(" A");

    delay(1000);
}

```

Kode 3. 9 Kode Akses Sensor Arus ACS712

3.1.3.1.8 MQ135

```

#define MQ135_PIN A0 // Pin analog yang digunakan

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Sensor MQ135 Siap...");
}

void loop() {
    int gasValue = analogRead(MQ135_PIN);

    // Konversi ke tegangan jika ingin
    float voltage = gasValue * (5.0 / 1023.0);

    Serial.print("Nilai Analog: ");
    Serial.print(gasValue);
}

```



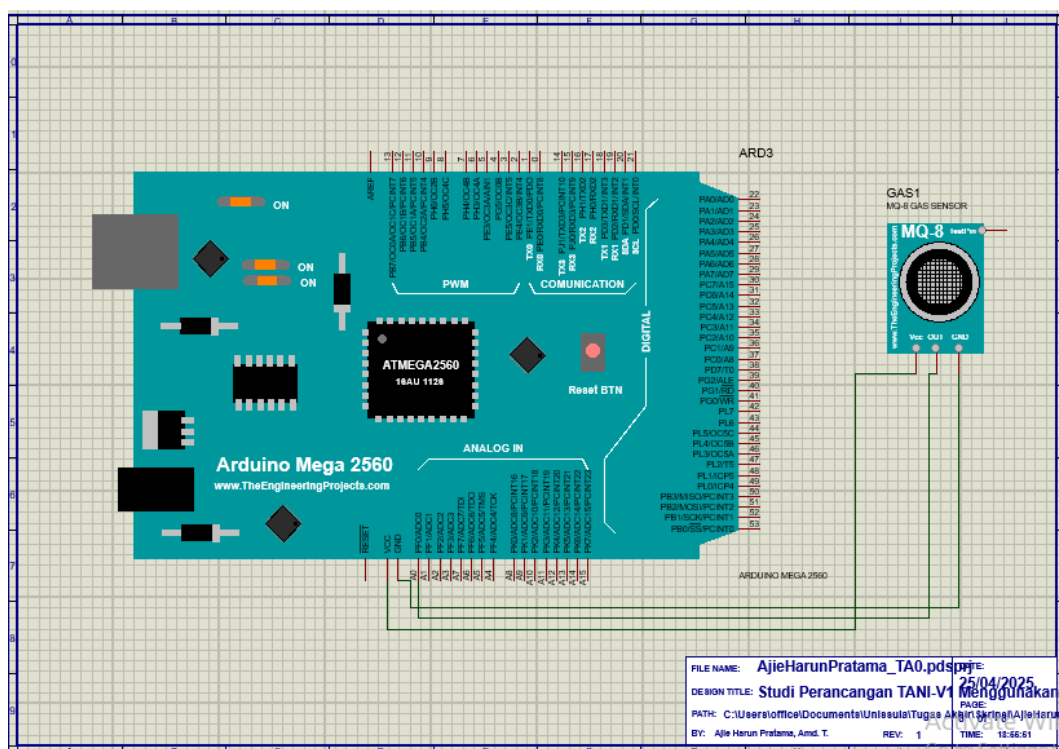
```

Serial.print("\tTegangan: ");
Serial.print(voltage, 2);
Serial.println(" V");

delay(1000);
}

```

Kode 3. 10 Kode Akses Sensor MQ135



Gambar 3. 16 Interkoneksi Sensor MQ135 Terhadap Arduino Mega 2560

3.1.3.2 Interkoneksi Modul Transduser

3.1.3.2.1 LCD I2C

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Ganti alamat I2C sesuai modul (umumnya 0x27 atau 0x3F)
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

void setup() {

```

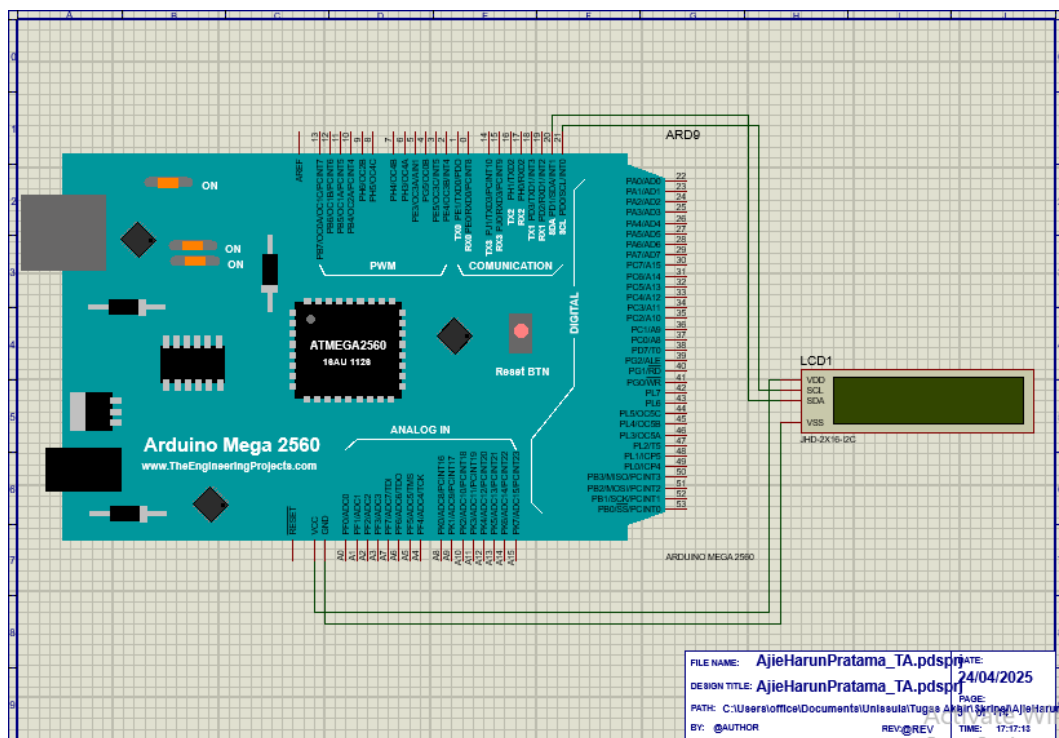
```

lcd.init();           // Inisialisasi LCD
lcd.backlight();      // Nyalakan lampu latar

// Contoh tulisan di setiap baris
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Hello, Arduino!");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("LCD I2C 20x4 Test");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Baris ke-3");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("Baris ke-4");
}
void loop() {
  // Tidak ada aksi berulang di sini
}

```

Kode 3. 11 Kode Akses LCD I2C 20x4



Gambar 3. 17 Interkoneksi Transduser LCD 20x4 I2C Terhadap Arduino Mega

2560

3.1.3.2.2 Mp3 Player

```
#include <DFRobotDFPlayerMini.h>

DFRobotDFPlayerMini mp3;

void setup() {
  Serial.begin(9600);    // Debug
  Serial1.begin(9600);   // Komunikasi ke DFPlayer Mini

  Serial.println("Inisialisasi DFPlayer...");

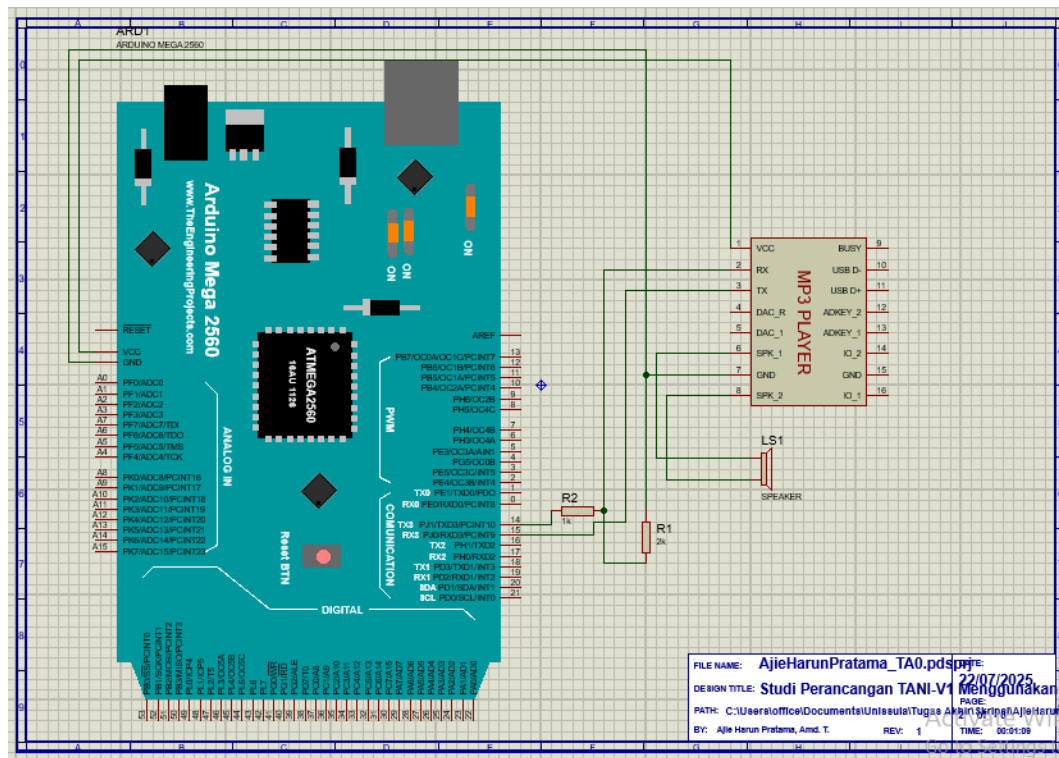
  if (!mp3.begin(Serial1)) { // Gunakan Serial1 di Arduino Mega
    Serial.println("Gagal mendeteksi DFPlayer Mini!");
    while (true);
  }

  Serial.println("DFPlayer Mini Terdeteksi.");
  mp3.volume(20); // Set volume (0-30)
  mp3.play(1);    // Mainkan file 001.mp3
}

void loop() {
  // Contoh: ganti lagu setiap 5 detik
  static unsigned long lastTime = 0;
  static int track = 1;

  if (millis() - lastTime > 5000) {
    track++;
    if (track > 5) track = 1; // Misal hanya 5 lagu
    mp3.play(track);
    Serial.print("Memainkan lagu ke-");
    Serial.println(track);
    lastTime = millis();
  }
}
```

Kode 3. 12 Kode Akses DF MP3 Player



Gambar 3. 18 Interkoneksi Tranduser DF MP3 Player Terhadap Arduino Mega 2560

3.1.3.2.3 Relay 8 Channel, Lampu DC dan Pompa Air

```
// Pin relay
#define RELAY1 7
#define RELAY2 6
#define RELAY3 5
#define RELAY4 4

void setup() {
    // Set semua pin relay sebagai output
    pinMode(RELAY1, OUTPUT);
    pinMode(RELAY2, OUTPUT);
    pinMode(RELAY3, OUTPUT);
    pinMode(RELAY4, OUTPUT);
    // Matikan semua relay saat awal
    digitalWrite(RELAY1, HIGH);
    digitalWrite(RELAY2, HIGH);
    digitalWrite(RELAY3, HIGH);
    digitalWrite(RELAY4, HIGH);
}

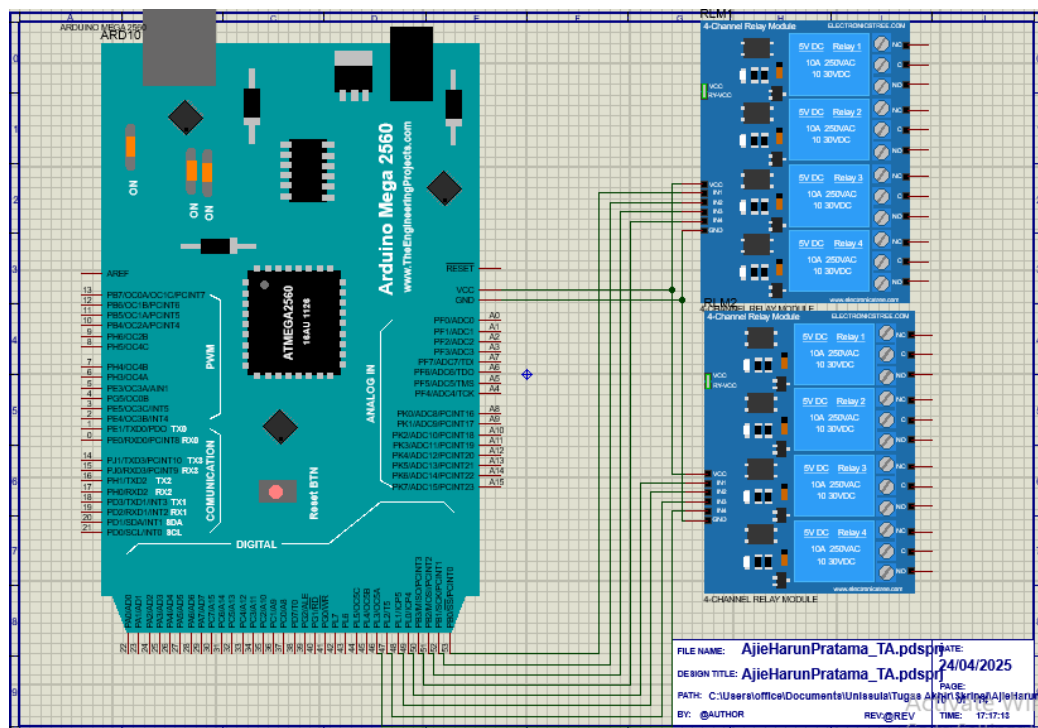
void loop() {
```

```

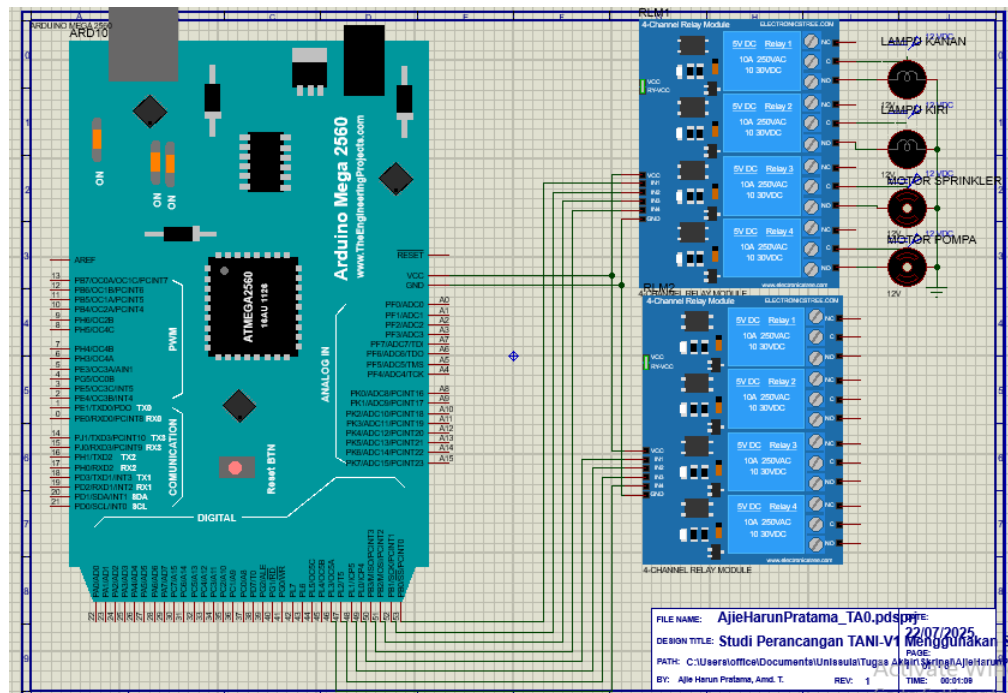
// Nyalakan relay 1
digitalWrite(RELAY1, LOW); // aktif
delay(1000);
digitalWrite(RELAY1, HIGH); // mati
// Nyalakan relay 2
digitalWrite(RELAY2, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(RELAY2, HIGH);
// Nyalakan relay 3
digitalWrite(RELAY3, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(RELAY3, HIGH);
// Nyalakan relay 4
digitalWrite(RELAY4, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(RELAY4, HIGH);
}

```

Kode 3. 13 Kode Akses Relay 4 Channel



Gambar 3. 19 Interkoneksi Transduser Relay 4 Channel Terhadap Arduino Mega 2560



Gambar 3. 20 Interkoneksi Tranduser Relay 4 Channel Terhadap Arduino Mega 2560

3.1.3.3 Interkoneksi Modul Mikrokontroler

Kode untuk melakukan akses dan komunikasi data antara Arduino Mega 2560 dan ESP8266 adalah sebagai berikut, kode pertama adalah untuk melakukan akses komunikasi data di chip AVR 2560, sedangkan kode kedua adalah untuk chip di ESP8266

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);          // Untuk Serial Monitor
    Serial3.begin(115200);      // Komunikasi dengan ESP8266 (baud default
                                // biasanya 115200)

    Serial.println("Tes komunikasi Arduino Mega ↔ ESP8266");
}

void loop() {
    // Kirim data ke ESP8266
    Serial3.println("Hello from Mega");
}
```

```

// Cek apakah ada data dari ESP8266
if (Serial3.available()) {
    String dataFromESP = Serial3.readStringUntil('\n');
    Serial.print("Data dari ESP8266: ");
    Serial.println(dataFromESP);
}

delay(2000);
}

```

Kode 3. 14 Kode Komunikasi Data Dari Sisi Arduino Mega 2560

```

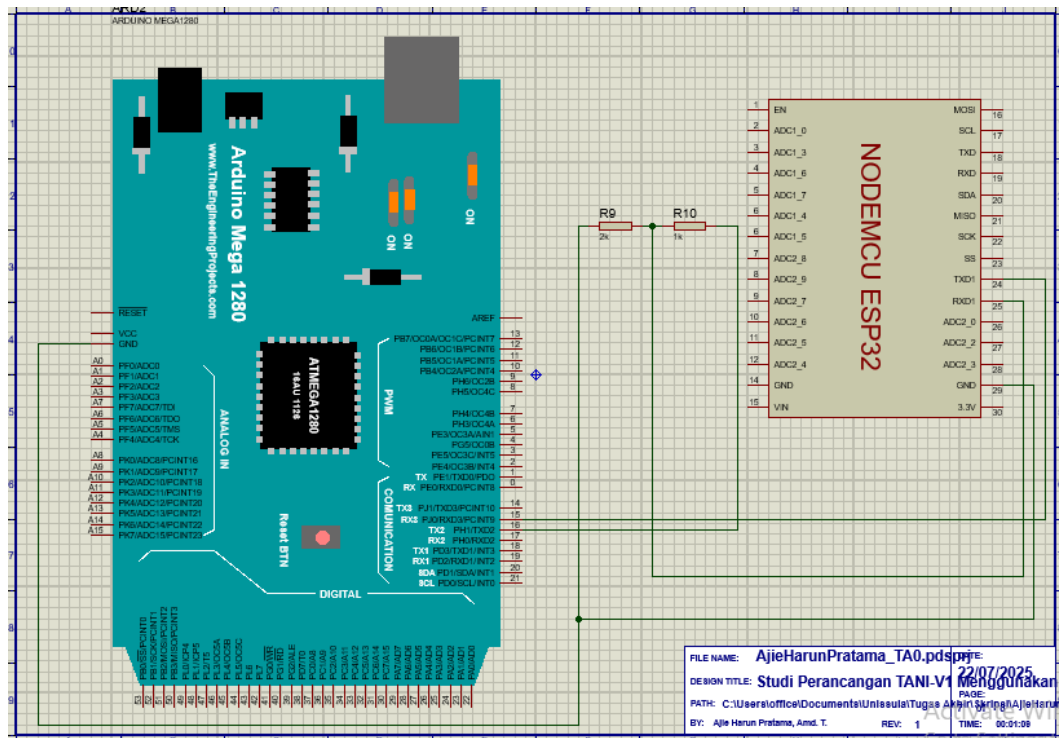
void setup() {
    Serial.begin(115200); // Komunikasi ke Mega
}

void loop() {
    if (Serial.available()) {
        String dataFromMega = Serial.readStringUntil('\n');
        Serial.print("ESP8266 terima: ");
        Serial.println(dataFromMega);

        // Balas ke Mega
        Serial.println("Hello from ESP8266");
    }
}

```

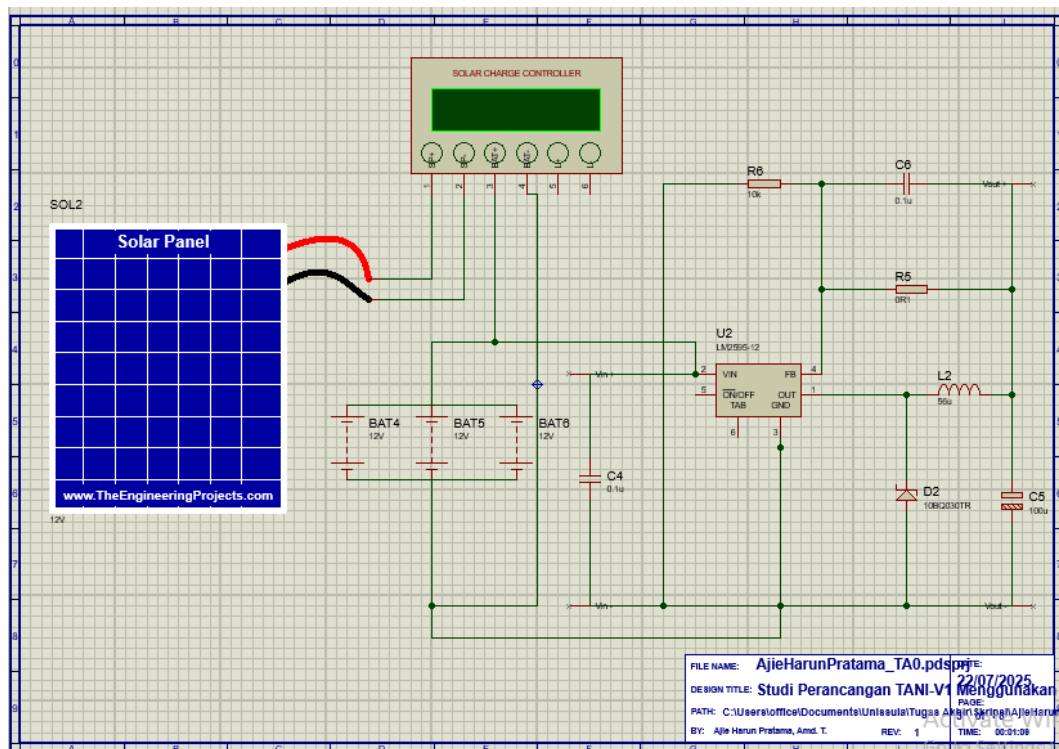
Kode 3. 15 Kode Komunikasi Data Dari Sisi ESP8266 NodeMCU



Gambar 3. 21 Interkoneksi Komunikasi Data Antara NodeMCU ESP8266 Terhadap Arduino Mega 2560

3.1.3.4 Interkoneksi Modul Ketenagalistrikan

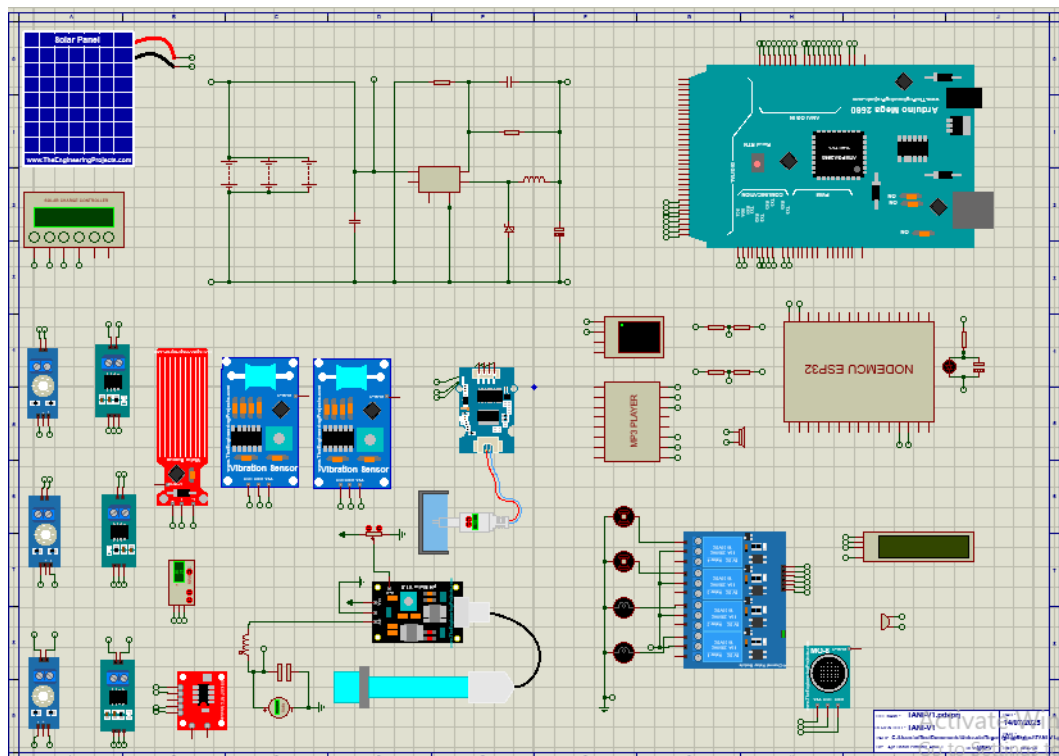
Interkoneksi ketenagalistrikan yang akan digunakan di TANI-V1 direncanakan bersifat semi-off grid, semua system yang digunakan meliputi input element, mikrokontroler, dan output element, akan dibebankan dengan menggunakan akumulator dengan estimasi pembebanan berdasarkan perhitungan sekitar .



Gambar 3. 22 Interkoneksi Ketenagalistrikan PLTS

3.1.3.5 Elektrikal Keseluruhan

Elektrikal keseluruhan adalah keseluruhan rangkaian yang dilakukan perancangan dan perakitan, dimulai dengan menggunakan panel surya, keluaran panel surya menjadi sumber energi Listrik DC yang diatur regulasinya dengan menggunakan Solar Charge Controller, perancangan elektrikal pada TANI-V1 cukup kompleks, semua perancangan dan perakitan pada dasarnya dimulai dengan menggunakan panel surya dengan berkekuatan 100WP saat puncak tertinggi, lalu energi tersebut diatur oleh modul Solar Charge Controller yang digunakan untuk melakukan pengaturan dan pengendalian sumber energi. Dengan menggunakan estimasi perhitungan ketenagalistrikan diperoleh bahwa dengan menggunakan panel surya bertenaga 100WP minimal SCC yang digunakan adalah 15A, namun SCC yang digunakan adalah SCC PWM dengan Arus SCC 40A, hal ini didasari atas proteksi dan kemungkinan melakukan ekspansi tambahan tenaga Listrik solar panel lagi dengan range tambahan dari 100WP menjadi 150-300WP.



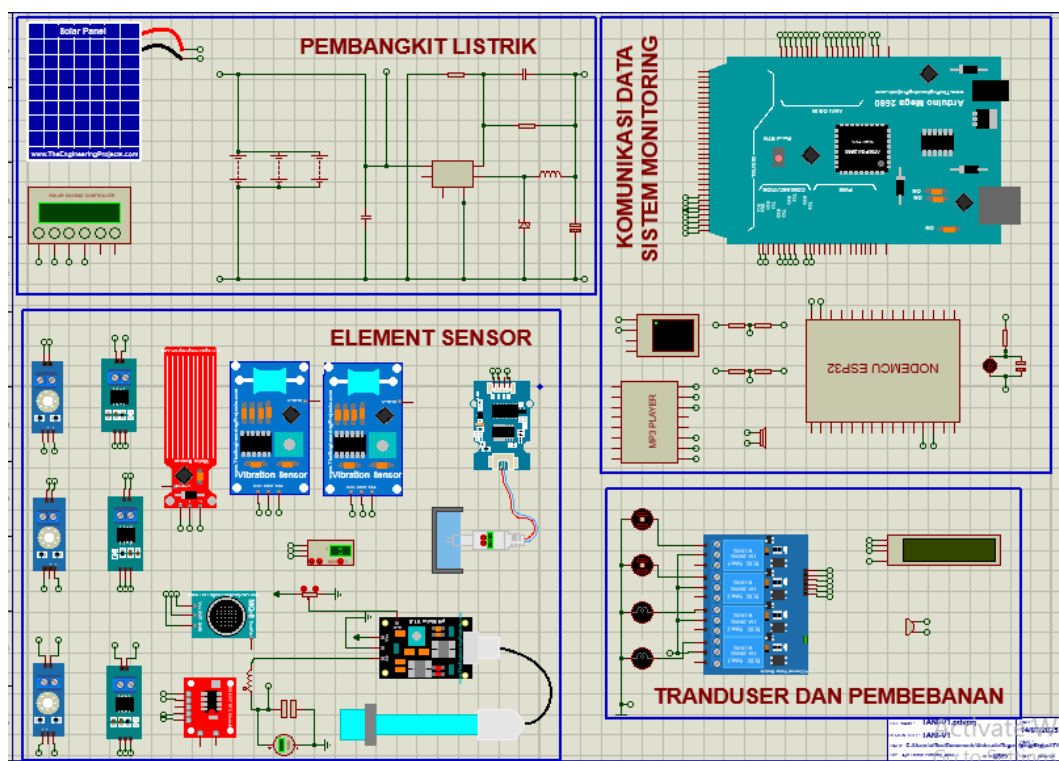
Gambar 3. 23 Interkoneksi Keseluruhan

Listrik DC yang akan dilakukan charging ke akumulator dengan nilai 12Vdc dengan kapasitas 12 AH, system dari TANI-V1 ini bersifat semi-off grid karena sistem ini berdiri sendiri namun untuk pembebanan motor AC menggunakan sumber energi Listrik dari PLN, sedangkan untuk melakukan aktivasi pada modul-modul lain seperti sensor, mikrokontroler dan tranduser semua bebannya dibebankan langsung oleh akumulator. Lalu akumulator dilakukan penurunan tegangan dengan menggunakan stepdown module. Dengan melakukan penurunan tegangan dari 12 Vdc ke 5 Vdc agar tegangan yang digunakan kompatibel untuk modul-modul sensor, mikrokontroler dan tranduser, umumnya suplai yang digunakan ditenagai dengan nilai tegangan 5 Vdc, sehingga memang perlu dilakukan penurunan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan,

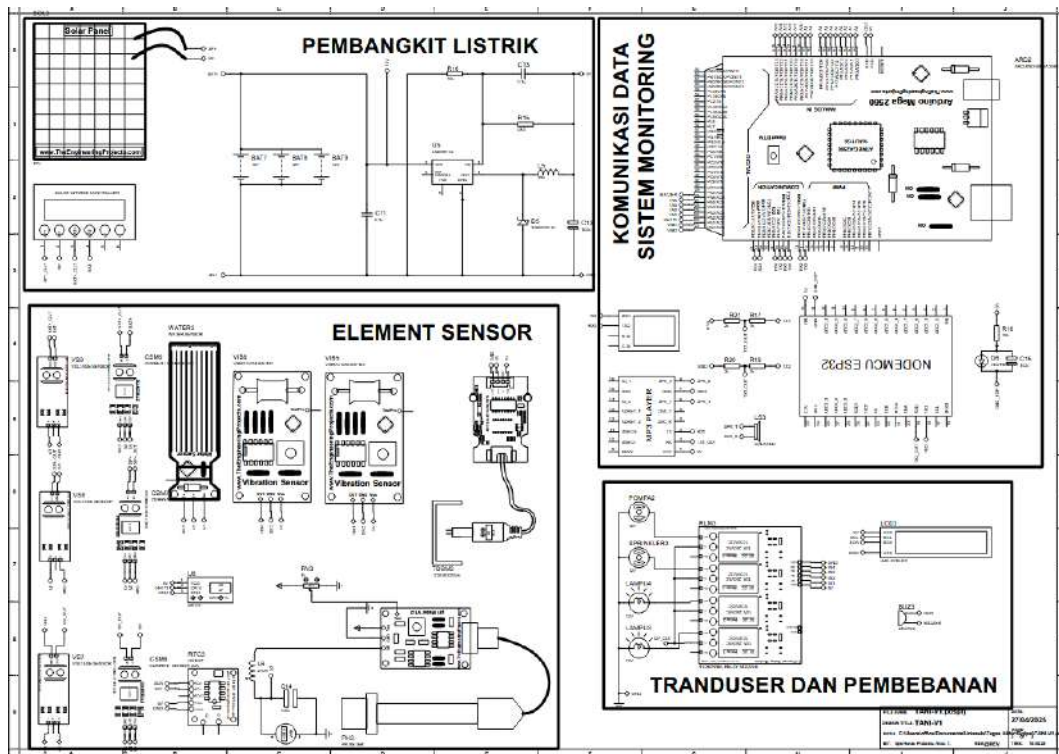
Berdasarkan perencanaan perancangan modul stepdown yang digunakan adalah modul stepdown LM2956, modul ini memiliki tegangan keluaran yang dapat diatur dari 12 Vdc menjadi 5 Vdc, dengan mengatur potensiometer sekrup yang terdapat di modul dapat mengubah nilai tegangan input yang bernilai 12 Vdc dari

akumulator menjadi 5 Vdc dengan arus keluaran 2 A, berdasarkan perhitungan pembebanan, operational current pada semua modul tidak boleh lebih dari 2 A karena akan menjadikan sistem reset.

Sensor-sensor seperti level air, sensor getaran, sensor TDS, sensor PH, sensor tegangan, sensor arus, sensor DHT 11 dan modul RTC semuanya disuplai dengan tegangan 5Vdc, lalu pin sinyal dari sensor-sensor tersebut dikirimkan ke Arduino Mega 2560, baik itu sensor dengan pembacaan digital, analog. Atau sensor dengan pembacaan berdasarkan protocol I2C. Hal yang sama juga berlaku untuk transduser, modul relay, modul mp3 player, LCD i2x 20x4, juga diaktifkan dengan menggunakan tegangan suplai 5 Vdc yang berasal dari stepdown module, transduser-transduser tersebut akan dilakukan penulisan data oleh mikrokontroler, contohnya adalah logika HIGH/LOW dari modul relay 4 channel.



Gambar 3. 24 Interkoneksi Keseluruhan



Gambar 3. 25 Interkoneksi Keseluruhan

BAB IV

DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data TANI-V1

Sistem TANI-V1 merupakan sebuah solusi pertanian modern yang mengintegrasikan teknologi Hidroponik, *Internet of Things* (IoT), dan Energi Terbarukan. Sistem ini dirancang untuk mengotomasi proses budidaya tanaman hidroponik secara menyeluruh, sekaligus memungkinkan pemantauan jarak jauh secara *real-time*. Hal yang membedakan sistem ini adalah sumber dayanya yang mandiri, yaitu menggunakan panel surya sebagai catu daya utama untuk seluruh komponen elektronik, termasuk mikrokontroler, sensor, dan aktuator (seperti pompa air dan lampu). Dengan demikian, TANI-V1 tidak hanya meningkatkan efisiensi pertanian tetapi juga menjadikannya lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Tabel 4. 1 Tabel Sensor dan Output Ukur

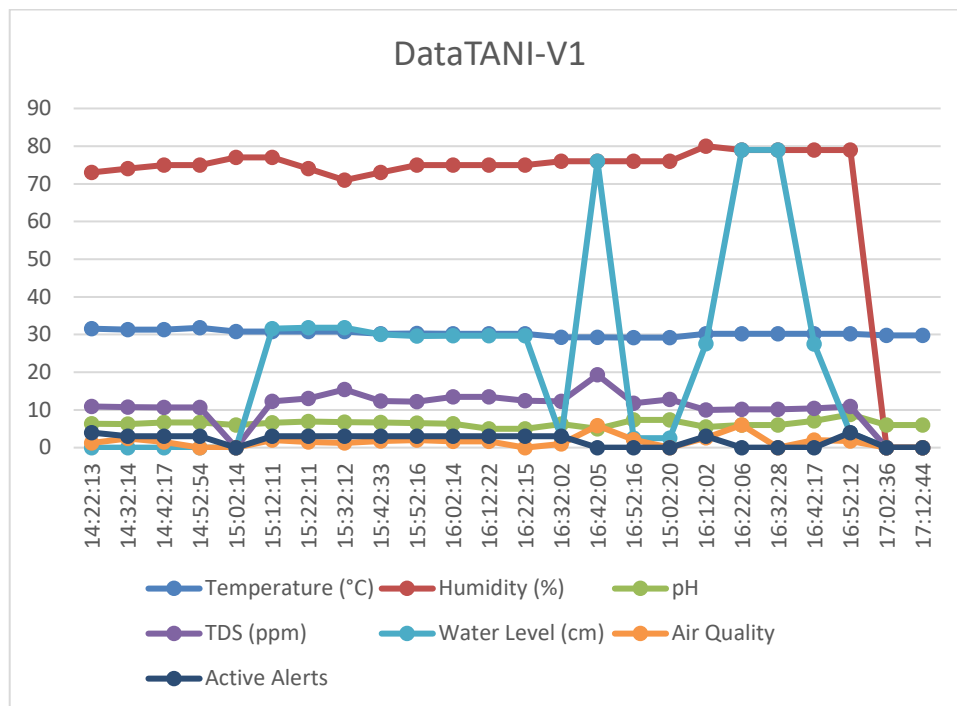
Parameter	Sensor	Fungsi	Output
Suhu (Temperature)	DHT11	Mengukur suhu udara di area tanam	°C
Kelembapan (Humidity)	DHT11	Mengukur kelembapan udara	%
pH	Sensor pH analog	Mengukur keasaman air nutrisi	pH
TDS	TDS Meter	Mengukur kadar nutrisi larutan hidroponik	ppm
Water Level	Ultrasonic / float sensor	Mengukur tinggi air di tandon	cm
Air Quality	MQ-135 / MQ-3	Mendeteksi kualitas udara (gas, amonia, alkohol, dll.)	Skala relatif (ppm)

4.1.1 Pengukuran Parameter Berdasarkan Sensor dan Fitur IoT

Sistem ini mengandalkan sejumlah sensor yang bertugas sebagai input yang dapat melakukan monitor di lapangan. Data dari semua sensor ini dikumpulkan dan diproses oleh mikrokontroler. Arduino Mega 2560. Pemantauan Kondisi Lingkungan (DHT11), Sensor DHT11 berfungsi ganda untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Data ini sangat krusial karena fluktuasi suhu yang ekstrem dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Data kelembapan membantu dalam memahami tingkat penguapan air dan stres pada tanaman.

Timestamp	Temperature (°C)	Humidity (%)	pH	TDS (ppm)	Water Level (cm)	Air Quality	Pump Status	Light 1 Status	Light 2 Status	Relay 4 Status	Active Alerts	Free RAM (bytes)
14:22:13	31.6	73	6.36	10.91	0	1.24	ON	OFF	OFF	OFF	4	6056
14:32:14	31.3	74	6.28	10.78	0	2.42	OFF	OFF	OFF	OFF	3	6050
14:42:17	31.3	75	6.64	10.68	0	1.53	OFF	OFF	OFF	OFF	3	5744
14:52:54	31.8	75	6.64	10.68	0	0	0	OFF	OFF	OFF	3	0
15:02:14	30.8	77	6	0	0	0	0	OFF	OFF	OFF	0	0
15:12:11	30.8	77	6.63	12.28	31.6	1.99	OFF	OFF	OFF	OFF	3	6049
15:22:11	30.8	74	6.96	13.07	31.8	1.49	OFF	OFF	OFF	OFF	3	6049
15:32:12	30.8	71	6.8	15.43	31.8	1.26	OFF	OFF	OFF	OFF	3	6049
15:42:33	30.2	73	6.65	12.34	30	1.74	0	OFF	OFF	OFF	3	6049
15:52:16	30.3	75	6.52	12.21	29.6	2.04	OFF	OFF	OFF	OFF	3	5742
16:02:14	30.2	75	6.35	13.43	29.7	1.7	ON	OFF	OFF	OFF	3	6055
16:12:22	30.2	75	5	13.43	29.7	1.7	0	OFF	OFF	OFF	3	6055
16:22:15	30.2	75	5	12.43	29.7	0	0	OFF	OFF	OFF	3	0
16:32:02	29.3	76	6.23	12.3	2.8	1.02	ON	OFF	OFF	OFF	3	6052
16:42:05	29.3	76	5	19.3	76	5.86	-14.95	-15.34	-15.00	OFF	0	0
16:52:16	29.2	76	7.32	11.78	2.5	2.08	0	0	0	0	0	0
15:02:20	29.2	76	7.32	12.78	2.5	0	0	OFF	OFF	OFF	0	0
16:12:02	30.2	80	5.49	10.03	27.6	2.59	ON	OFF	OFF	OFF	3	6051
16:22:06	30.2	79	6	10.2	79	6.02	-13.43	-14.75	-13.24	OFF	0	0
16:32:28	30.2	79	6	10.2	79	0	0	OFF	OFF	OFF	0	0
16:42:17	30.2	79	7.06	10.42	27.5	2.01	0	0	0	0	0	0
16:52:12	30.2	79	8.8	10.89	3.9	1.78	OFF	OFF	OFF	OFF	4	5744
17:02:36	29.8	0	6	0	0	0	0	OFF	OFF	OFF	0	0
17:12:44	29.8	0	6	0	0	0	0	OFF	OFF	OFF	0	0

Gambar 4. 1 Tabel di Google Spreadsheet



Gambar 4. 2 Grafik Sensor TANI-V1

Pengelolaan Larutan Nutrisi (Sensor pH & TDS Meter), Dua sensor ini adalah kunci kesuburan dalam hidroponik. Sensor pH mengukur tingkat keasaman air nutrisi. Jika pH tidak dalam rentang yang ideal (biasanya 5.5 - 6.5), tanaman tidak dapat menyerap nutrisi dengan baik, meskipun nutrisinya melimpah. Sensor pH saat dilakukan pendataan oleh spreadsheet memiliki nilai yang fluktuatif sangat sering dimana pH tertinggi adalah 8, sedangkan terendah adalah 3, data ini tidaklah sesuai dengan pengukuran, karena dengan menggunakan pH meter pH hidroponik stagnan di angka 6,4 – 6,7. Sehingga perlu dilakukan adjustment pada potentiometer dan melakukan pengolahan sinyal pada data, mengingat di program yang tertanam tidak ada variabel suhu yang dikalkulasikan, hanya konversi nilai tegangan ke bit, lalu bit ke satuan pH, karena secara teori pH dipengaruhi oleh suhu. Lalu ada nilai 0 dimana ini sangat tidak mungkin terjadi, hal ini terjadi karena adanya momentary error yang terdapat pada pembacaan sensor pH oleh arduino mega 2560, begitupun dengan beberapa sensor lainnya.

Sensor TDS (Total Dissolved Solids) mengukur konsentrasi nutrisi (pupuk) dalam air dalam satuan parts per million (ppm). Kombinasi data dari kedua sensor

ini memastikan tanaman selalu mendapatkan "makanan" yang tepat kuantitas dan kualitasnya. Saat dilakukan uji coba dengan google spreadsheet tidak ada penggunaan pupuk terlarut sama sekali, sehingga nilai TDS stagnan di bawah 80, namun terkadang mengalami fluktuatif tinggi di beberapa titik.

Pengawasan Ketersediaan Air dan Kualitas Udara, Sensor Ketinggian Air modul sensor ultrasonic memantau volume air di bak air. Sistem dapat memberikan peringatan dini jika persediaan air menipis. Sementara itu, Sensor Kualitas Udara (MQ-135) bertindak sebagai pendeteksi dini terhadap kontaminan udara seperti amonia dari dekomposisi atau polutan lain yang berpotensi mengganggu kesehatan tanaman dan lingkungan sekitarnya.

Seluruh data yang dikumpulkan oleh berbagai sensor tersebut tidak hanya digunakan untuk otomasi lokal (seperti menyalakan pompa), tetapi juga dikirimkan secara nirkabel ke sebuah spreadsheet *online* (GoogleSheets). Integrasi ini memungkinkan pemantauan jarak jauh secara *real-time* dari mana saja dan kapan saja. Pengguna dapat melihat grafik historis suhu, tren kadar nutrisi, dan level air secara langsung di ponsel atau komputer mereka. Fungsi pencatatan data ini juga sangat berharga untuk analisis jangka panjang, membantu pengambilan keputusan yang lebih data-driven dalam mengoptimalkan pertumbuhan tanaman dan efisiensi sistem secara total.

4.1.2 Pengukuran Secara Konvensional

Pengukuran secara konvensional didasarkan atas pengukuran dengan menggunakan alat ukur secara fisik, dimana data TANI-V1 diukur dengan alat ukur yang sesuai dengan kebutuhannya, dikarenakan keterbatasan alat ukur dan pengukuran, pengukuran secara konvensional menggunakan penggaris atau meteran, pH meter dan TDS meter, sesuai dengan parameter yang diukur, demikian dengan jumlah datanya karena masalah waktu hanya diambil sebanyak 8 sampel data untuk masing – masing sensornya.

Tabel 4. 2 Pengukuran Menggunakan Alat Ukur Konvensional

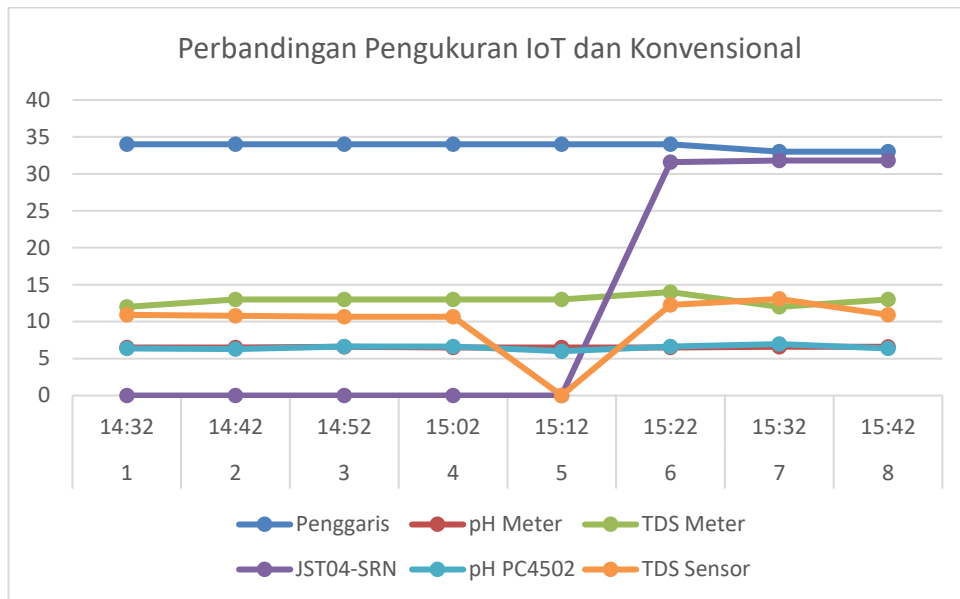
Data ke	Waktu Pengambilan Data	Alat Ukur		
		Penggaris (cm)	pH Meter	TDS Meter
1.	14:32	34	6.5	12
2.	14:42	34	6.5	13
3.	14:52	34	6.6	13
4.	15:02	34	6.5	13
5.	15:12	34	6.5	13
6.	15:22	34	6.5	14
7.	15:32	33	6.6	12
8.	15:42	33	6.6	13

Data yang dapat diukur adalah level air dalam satuan cm, zat terlarut dalam satuan ppm, dan konsentrasi asam-basa air dengan menggunakan satuan pH. Pencatatan dilakukan secara manual dengan menggunakan buku dan alat tulis, lalu data yang diperoleh dipindahkan ke dalam tabel, berikut adalah hasil pengukuran dengan menggunakan alat ukur konvensional.

4.1.3 Analisa Perbandingan Pengukuran IoT dan Konvensional

Data yang diperoleh untuk kedua pengukuran berdasarkan sensor - fitur IoT dan konvensional dilakukan perbandingan untuk memperoleh nilai eror yang dimiliki oleh TANI-V1, dengan menggunakan persamaan dibawah ini sehingga didapat,

$$\%Error = \frac{|Data\ Sensor\ IoT - Data\ Sensor\ Konvensional|}{Data\ Sensor\ Konvensional} . 100\%$$



Gambar 4. 3 Perbandingan Sensor dan Alat Ukur

Sebagai contoh adalah data ke-8 sensor JST Ultrasonik SRN04T, gunakan data sensor IoT lalu dibagi dengan data terukur secara konvensional lalu dikali 100% sehingga didapat,

$$\%Error = \frac{|31.8 - 33|}{33} \cdot 100\%$$

$$\%Error = \frac{1,2}{33,8} \cdot 100\% = 3.64\%$$

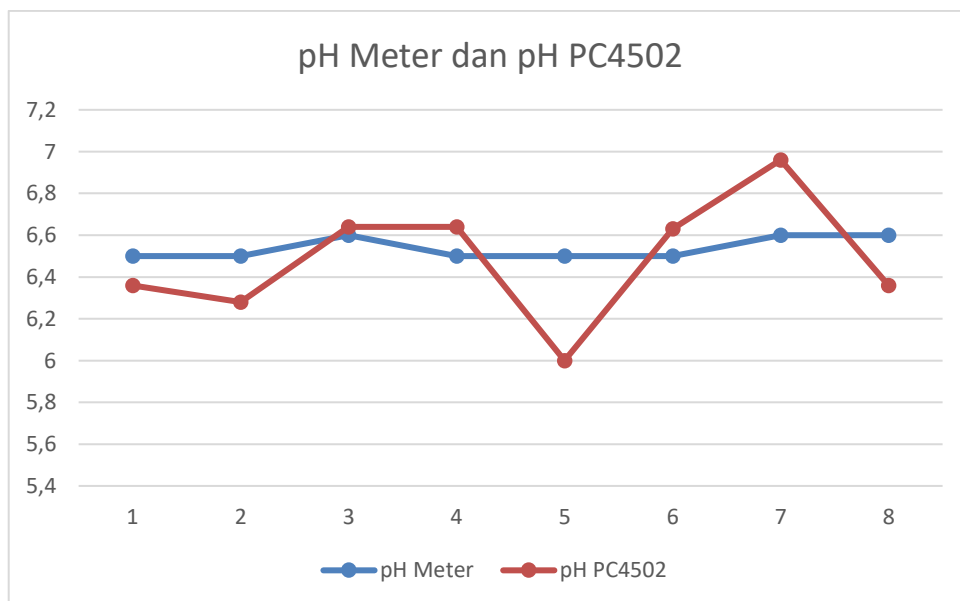
Lalu dilakukan rata-rata untuk mengetahui nilai eror dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\%Error = \frac{Data\ Error}{Total\ Data} \cdot 100\%$$

Tabel 4. 3 Data Perolehan dan Perbandingan

Data ke	Waktu Pengambilan Data	Alat Ukur			Pengukurang Berdasarkan IoT		
		Penggaris (cm)	pH Meter	TDS Meter	JST04-SRN	pH PC4502	TDS Sensor
1.	14:32	34	6.5	12	0	6,36	10,91
2.	14:42	34	6.5	13	0	6,28	10,78
3.	14:52	34	6.6	13	0	6,64	10,68
4.	15:02	34	6.5	13	0	6,64	10,68
5.	15:12	34	6.5	13	0	6	0
6.	15:22	34	6.5	14	31.6	6,63	12,28
7.	15:32	33	6.6	12	31.8	6,96	13,07
8.	15:42	33	6.6	13	31.8	6,36	10,91

Berikut adalah grafik dan persentase eror dari sensor pH jika dibandingkan dengan pH meter, dengan menggunakan persamaan di atas diperoleh sebesar 3.63% eror dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4. 4 Perbandingan pH Meter dan pH PC4502 Sensor

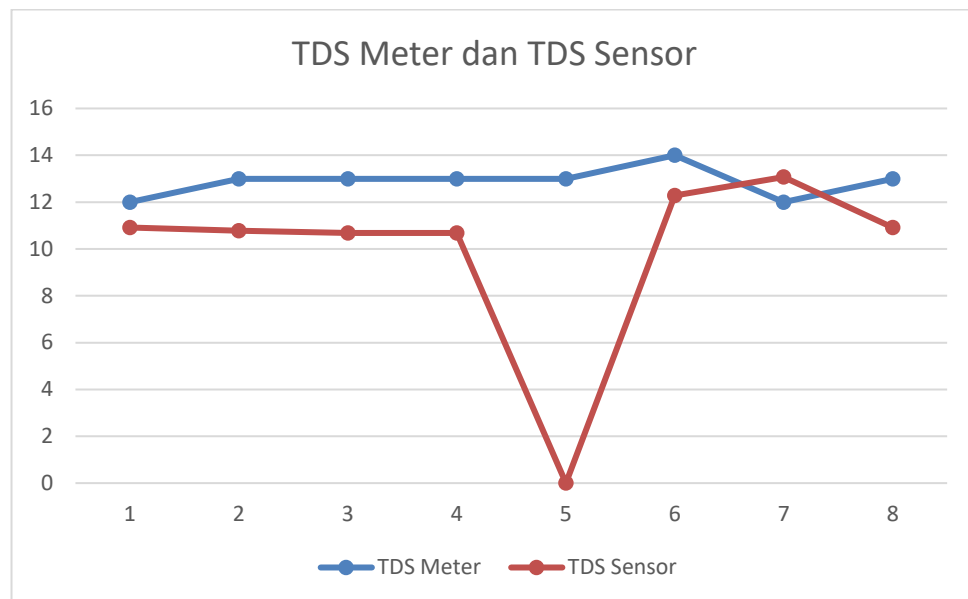
Tabel 4. 4 Tabel Error Sensor PH-PC4502

Data ke	pH Meter	pH PC4502	Selisih	Error (%)
1	6.5	6,36	0.14	2.15%
2	6.5	6,28	0.22	3.38%
3	6.6	6,64	0.04	0.61%
4	6.5	6,64	0.14	2.15%
5	6.5	6	0.50	7.69%
6	6.5	6,63	0.13	2.00%
7	6.6	6,96	0.36	5.45%
8	6.6	6,36	0.24	3.64%

$$\%ErrorpH = \frac{Data\ Error}{Total\ Data} \cdot 100\%$$

$$\%ErrorpH = \frac{2.15 + 3.38 + 0.61 + 2.15 + 7.69 + 2.00 + 5.45 + 3.64}{8} \cdot 100\% = 3.63\%$$

Berikut adalah grafik dan persentase error dari sensor TDS jika dibandingkan dengan TDS meter, dengan menggunakan persamaan di atas diperoleh sebesar 14.16% error. Abaikan data ke 5 pada pengukuran IoT karena terdapat momentary error sehingga diperoleh.



Gambar 4. 5 Perbandingan TDS Meter dan TDS Sensor

$$\%ErrorTDS = \frac{Data\ Error}{Total\ Data} \cdot 100\%$$

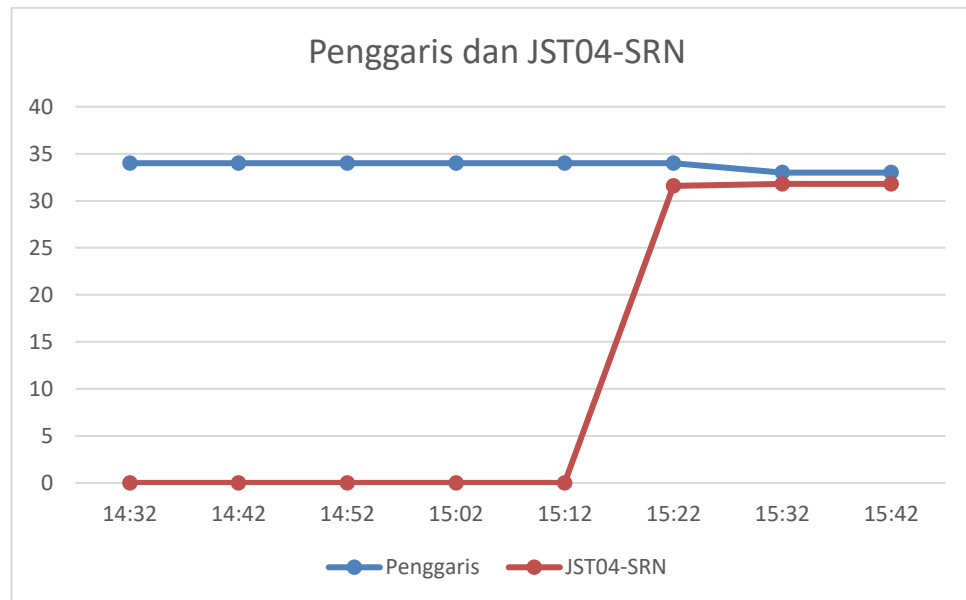
$$\%ErrorTDS = \frac{9.08 + 17.08 + 17.85 + 17.85 + 12.29 + 8.92 + 16.08}{7} \cdot 100\% = 14.16\%$$

Tabel 4. 5 Tabel Error Sensor TDS

Data ke	TDS Meter	TDS Sensor	Selisih	Error (%)
1	12	10,91	1.09	9.08%
2	13	10,78	2.22	17.08%
3	13	10,68	2.32	17.85%
4	13	10,68	2.32	17.85%
5	13	0	13.00	100.00%
6	14	12,28	1.72	12.29%
7	12	13,07	1.07	8.92%
8	13	10,91	2.09	16.08%

Berikut adalah grafik dan persentase error dari sensor Water Level JST-04 SRN jika dibandingkan dengan penggaris, abaikan nilai 0 karena itu adalah

momentary error, gunakan sesnor dengan tabel yang ada nilainya saja, maka abaikan data ke 1-5 dengan menggunakan persamaan di atas diperoleh sebesar 4.78% eror dengan perhitungan sebagai berikut,



Gambar 4. 6 Perbandingan Penggaris dan JST04-SRN Ultrasonic Module

$$\%Error_{JST} = \frac{Data\ Error}{Total\ Data} \cdot 100\%$$

$$\%Error_{JST} = \frac{7.06 + 14.16 + 3.64}{3} \cdot 100\% = 4.78\%$$

Tabel 4. 6 Tabel Eror Sensor JST04 SRN

Data ke	Penggaris	JST04-SRN	Selisih	Error (%)
1–5	34	0	34	100
6	34	31.6	2.4	7.06
7	33	31.8	1.2	3.64
8	33	31.8	1.2	3.64

Berdasarkan data yang diperoleh terdapat banyak data yang bersifat anomali, ini adalah hal yang cukup wajar mengingat ketika sistem baru dilakukan

aktifasi masih banyak terjadi beberapa momen eror sesaat, selain daripada itu terdapat momentary error yang menyebabkan sensor membaca data dan diterima oleh Arduino Mega 2560 lalu dikirim ke NodeMCU ESP8266 bersifat eror sementara, namun kembali normal. Hal ini dapat dilihat dari fluktuasi pada sensor, berdasarkan analisis ini perlu dilakukan kalibrasi dan pengolahan sinyal kembali pada program sehingga bisa mendapatkan hasil yang sesuai dengan alat ukur konvensional. Sehingga dari total 3 data sensor yang digunakan terdapat 3 buah sensor sehingga didapat hasil sebesar 7,52%. Berikut adalah kesimpulan dari analisis dalam bentuk persamaan dan tabel.

$$\%ErrorTotal = \frac{Data\ Error}{Total\ Data} \cdot 100\%$$

$$\%ErrorTotal = \frac{\%ErrorpH + \%ErrorTDS + \%ErrorJST}{3} \cdot 100\%$$

$$\%ErrorTotal = \frac{3.63 + 14.16 + 4.78}{3} \cdot 100\% = 7.52\%$$

Tabel 4. 7 Kesimpulan Perbandingan

Parameter	Rata-rata Error (%)	Keterangan
Jarak (JST04-SRN)	4.78	Momentary error saat data ke 1-5 namun sensor mulai stabil di akhir data
pH (PC4502)	3.63	Sudah cukup normal namun perlu kalibrasi ulang ringan serta tambahkan sensor suhu DB1820 sebagai parameter untuk kalkulasi sensor pH
TDS Sensor	14.16	Nilai Kalibrasi faktor yang sesuai adalah x10 di mana awal melakukan akses terdapat eror yang membuat nilai sensor memiliki nilai error yang sangat besar

4.1.4 Analisa Keberhasilan Komunikasi Data Terhadap Spreadsheet

Data yang dikirimkan dari Arduino Mega 2560 ke NodeMCU ESP8266 tidak selalu terkirim dengan sempurna, hal ini dikarenakan berbagai faktor. Mulai dari yang paling dasar yakni penggunaan RAM pada ESP8266 yang terlalu berlebihan, mendekati 95%, lalu penggunaan variabel global yang memakan 80% penyimpanan data ESP8266, masalah interkoneksi komunikasi data antara Arduino Mega 2560 dan NodeMCU ESP8266 yang kemungkinan disebabkan oleh kabel yang goyang atau lepas, hingga koneksi internet yang tidak stabil.

```
. Variables and constants in RAM (global, static), used 33192 / 80192 bytes (41%)
|| SEGMENT BYTES DESCRIPTION
||-----|-----|
|| DATA 1520 initialized variables
|| RODATA 4728 constants
|| BSS 26944 zeroed variables
. Instruction RAM (IRAM_ATTR, ICACHE_RAM_ATTR), used 62359 / 65536 bytes (95%)
|| SEGMENT BYTES DESCRIPTION
||-----|-----|
|| ICACHE 32768 reserved space for flash instruction cache
|| IROM 29591 code in IROM
. Code in flash (default, ICACHE_FLASH_ATTR), used 397584 / 1048576 bytes (37%)
|| SEGMENT BYTES DESCRIPTION
||-----|-----|
|| IROM 397584 code in flash
Using library ESP8266WiFi at version 1.0 in folder: C:\Users\ajieh\AppData\Local\Ardui
Using library UniversalTelegramBot at version 1.3.0 in folder: C:\Users\ajieh\OneDrive
Using library ArduinoJson at version 7.4.2 in folder: C:\Users\ajieh\OneDrive\Dokumen\
Using library EspSoftwareSerial at version 8.0.1 in folder: C:\Users\ajieh\AppData\Loc
Using library ESP8266HttpClient at version 1.2 in folder: C:\Users\ajieh\AppData\Local
```

Gambar 4. 7 Hasil Compile Upload NodeMCU ESP8266

Sehingga beberapa data tidak dapat dikirimkan. Data yang tidak terkirim bisa berupa String atau karakter, angka atau nilai dari variabel yang dilakukan deklarasi di program yang tertanam di kedua board mikrokontroler, atau terjadi eror, dimana data yang harusnya diisi oleh String diisi oleh data yang bersifat numerik atau angka, begitu juga sebaliknya, gambar di bawah ini adalah gambar dari data Google Spreadsheet yang sudah didownload dan di buka di Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Timestamp	Temperature (°C)	Humidity (%)	pH	TDS (ppm)	Water Level (cm)	Air Quality	Pump Status	Light 1 Status	Light 2 Status	Relay 4 Status	Active Alerts	Free RAM (bytes)
2	14:22:13	31.6	73	6.36	10.91	0	1.24	ON	OFF	OFF		4	8056
3	14:32:14	31.3	74	6.28	10.78	0	2.42	OFF	OFF	OFF	OFF	3	8050
4	14:42:17	31.3	75	6.64	10.68	0	1.53	OFF	OFF	OFF	OFF	3	5744
5	14:52:54	31.8	75	6.64	10.68	0	0		OFF	OFF	OFF	3	0
6	15:02:14	30.8	77	6	0	0	0					0	0
7	15:12:11	30.8	77	6.63	12.28	31.6	1.99	OFF	OFF	OFF	OFF	3	8049
8	15:22:11	30.8	74	6.96	13.07	31.8	1.49	OFF	OFF	OFF	OFF	3	8049
9	15:32:12	30.8	71	6.8	15.43	31.8	1.26	OFF	OFF	OFF	OFF	3	8049
10	15:42:33	30.2	73	6.65	12.34	30	1.74					3	8049
11	15:52:16	30.3	75	6.52	12.21	29.6	2.04	OFF	OFF	OFF	OFF	3	5742
12	16:02:14	30.2	75	6.35	13.43	29.7	1.7	ON	OFF	OFF	OFF	3	8055
13	16:12:22	30.2	75	5	13.43	29.7	1.7					3	8055
14	16:22:15	30.2	75	5	12.43	29.7	0		OFF	OFF	OFF	3	0
15	16:32:02	29.3	76	6.23	12.3	2.8	1.02	ON	OFF	OFF	OFF	3	8052
16	16:42:05	29.3	76	5	19.3	76	5.86	-14.95	-15.34	-15.00	OFF	0	0
17	16:52:16	29.2	76	7.32	11.78	2.5	2.08					0	0
18	15:02:20	29.2	76	7.32	12.78	2.5	0		OFF	OFF	OFF	0	0
19	16:12:02	30.2	80	5.49	10.03	27.6	2.59	ON	OFF	OFF	OFF	3	8051
20	16:22:08	30.2	79	6	10.2	79	6.02	-13.43	-14.75	-13.24	OFF	0	0
21	16:32:28	30.2	79	6	10.2	79	0		OFF	OFF	OFF	0	0
22	16:42:17	30.2	79	7.06	10.42	27.5	2.01					0	0
23	16:52:12	30.2	79	8.8	10.89	3.9	1.78	OFF	OFF	OFF	OFF	4	5744
24	17:02:36	29.8	0	6	0	0	0		OFF	OFF	OFF	0	0
25	17:12:44	29.8	0	6	0	0	0		OFF	OFF	OFF	0	0

Gambar 4. 8 Tabel Google Spreadsheet yang Didownload

Berdasarkan total data String yang dikirimkan terdapat beberapa anomali eror data yang dikomunikasikan, data String yang dikomunikasikan beberapa ada yang tidak tampil di GoogleSpreadsheet dan beberapa data lainnya tidak sesuai dengan variabel yang ditentukan pengalamatan kolomnya, terdapat anomali data yang harusnya diisi dengan data String namun diisi dengan data dengan variabel yang bersifat numerikal seperti integer, unsigned long, float dan lain-lain. Berikut adalah data dengan sifat anomali yang dilakukan pelabelan dengan warna merah, setidaknya terdapat 33 data eror dari 96 data String untuk perilaku pompa, sedangkan sisanya benar, data yang benar terdapat 63 data yang sesuai dengan perilaku pompa hidroponik,

Berdasarkan data tersebut dapat dilakukan analisa perhitungan keberhasilan komunikasi data, dengan menggunakan persamaan berikut,

$$\%Error = \frac{Data\ Error}{Total\ Data} \cdot 100\%$$

$$\%Error = \frac{Data\ Error}{Total\ Data} = \frac{33}{96} \cdot 100\% = 34.375\%$$

$$\%True = \frac{Data\ True}{Total\ Data} = \frac{63}{96} \cdot 100\% = 65.625\%$$

4.1.5 Analisa Error Sesaat (Momentary Error) TANI-V1

Terdapat beberapa sensor dan sisa RAM yang terdapat di NodeMCU ESP8266, yakni sensor DHT 11, Ultrasonik JST, TDS Sensor, MQ135, dan pH. Lalu terdapat beberapa sisa RAM dari ESP8266 yang bernilai 0 dimana ini sudah bisa dipastikan adalah anomali eror komunikasi data, secara teori tidak mungkin

dengan penggunaan memori tanpa sisa RAM dapat mengirimkan data beberapa sensor dan tranduser, mengingat dalam satu baris yang sama terdapat keberhasilan ESP8266 dalam mengirim data sensor dan tranduser walaupun sisa RAM untuk ESP8266 bernilai 0.

Namun terdapat kerancuan untuk data sensor getar dimana terdapat data yang bernilai 0, nilai ini membuat rancu karena terdapat dua kemungkinan yang bisa terjadi, yakni memang tidak ada impaksi dalam interval waktu tersebut atau terjadi kegagalan komunikasi data yang menyebabkan penulisan nilai dari sensor getar ini bernilai 0. Berdasarkan permasalahan ini, untuk sensor impaksi di abaikan yang bernilai 0, cukup dengan menggunakan data yang memiliki nilai tidak 0 atau nilai yang mengalami fluktuasi ringan hingga sedang.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Timestamp	Temperature (°C)	Humidity (%)	pH	TDS (ppm)	Water Level (cm)	Air Quality	Pump Status	Light 1 Status	Light 2 Status	Relay 4 Status	Active Alerts	Free RAM (bytes)	
50	14:22:13	31.6	73	6.36	10.91	0	1.24	ON	OFF	OFF	OFF	4	6056	
51	14:32:14	31.3	74	6.28	10.78	0	2.42	OFF	OFF	OFF	OFF	3	6050	
52	14:42:17	31.3	75	6.64	10.88	0	1.53	OFF	OFF	OFF	OFF	3	5744	
53	14:52:54	31.8	75	6.64	10.88	0	0	OFF	OFF	OFF	OFF	3	0	
54	15:02:14	30.8	77	6	0	0	0	OFF	OFF	OFF	OFF	0	0	
55	15:12:11	30.8	77	6.03	12.28	31.8	1.99	OFF	OFF	OFF	OFF	3	6048	
56	15:22:11	30.8	74	6.96	13.07	31.8	1.49	OFF	OFF	OFF	OFF	3	6048	
57	15:32:12	30.8	71	6.8	15.43	31.8	1.26	OFF	OFF	OFF	OFF	3	6048	
58	15:42:33	30.2	73	6.65	12.34	30	1.74	OFF	OFF	OFF	OFF	3	6048	
59	15:52:16	30.3	75	6.52	12.21	29.6	2.04	OFF	OFF	OFF	OFF	3	5742	
60	16:02:14	30.2	75	6.35	13.43	29.7	1.7	ON	OFF	OFF	OFF	3	6055	
61	16:12:22	30.2	75	5	13.43	29.7	1.7	OFF	OFF	OFF	OFF	3	6055	
62	16:22:15	30.2	75	5	12.43	29.7	0	OFF	OFF	OFF	OFF	3	0	
63	16:32:02	29.3	76	6.23	12.3	2.8	1.02	ON	OFF	OFF	OFF	3	6052	
64	16:42:05	29.3	76	5	19.3	76	5.86	-14.95	-15.34	-15.00	OFF	0	0	
65	16:52:16	29.2	76	7.32	11.78	2.5	2.08	OFF	OFF	OFF	OFF	0	0	
66	16:02:20	29.2	76	7.32	12.78	2.5	0	OFF	OFF	OFF	OFF	0	0	
67	16:12:02	30.2	80	5.49	10.03	27.6	2.59	ON	OFF	OFF	OFF	3	6051	
68	16:22:06	30.2	79	6	10.2	79	6.02	-13.43	-14.75	-13.24	OFF	0	0	
69	16:32:28	30.2	79	6	10.2	79	0	OFF	OFF	OFF	OFF	0	0	
70	16:42:17	30.2	79	7.06	10.42	27.5	2.01	OFF	OFF	OFF	OFF	0	0	
71	16:52:12	30.2	79	8.8	10.89	3.0	1.78	OFF	OFF	OFF	OFF	4	5744	
72	17:02:36	29.8	0	6	0	0	0	OFF	OFF	OFF	OFF	0	0	
73	17:12:44	29.8	0	6	0	0	0	OFF	OFF	OFF	OFF	0	0	

<

>

Sheet1

DFT Data

+

Ready Accessibility: Investigate

28°

21:13

03/11/2024

Gambar 4. 10 Beberapa Data Momentary Error

Setidaknya terdapat jumlah eror yang ditandai dengan label merah sebanyak 37 data dari 192 data, lalu data yang benar adalah 146 dari 192 data dengan label berwarna hijau, dan data yang ambigu sebanyak 9 data dari 192 buah, dikurangi dengan data nilai ambigu untuk sensor pendeteksi impaksi, sehingga didapat perhitungan untuk nilai error sesaat pada TANI-V1 sebagai berikut,

$$\%Error = \frac{Error\ Data}{Total\ Data - Ambiguous\ Data} = \frac{37}{192 - 9} \cdot 100\% = 20.218\%$$

$$\%True = \frac{True\ Data}{Total\ Data - Ambiguous\ Data} = \frac{146}{192 - 9} \cdot 100\% = 79.781\%$$

Berdasarkan perhitungan tersebut eror untuk keseluruhan sensor untuk eror sesaat adalah sebesar 20%, nilai ini adalah nilai yang masih bisa diterima oleh sistem untuk melakukan monitoring, namun harus dilakukan kalibrasi atau pengolahan sinyal pembacaan sensor dengan lebih akurat, serta mengurangi variabel atau function di kode yang kurang penting sehingga dapat mengurangi nilai persentase error (%error) supaya sistem TANI-V1 lebih optimal.

4.2 Prinsip Kerja TANI-V1

Secara sederhana TANI-V1 bekerja dengan memanfaatkan panel surya monokristal dengan daya 100WP sebagai sumber daya utama dan akumulator 12V 5Ah, sistem ini adalah semi off grid, beban ringan disuplai oleh akumulator sedangkan beban berat seperti lampu AC dan Motor Pompa AC dibebankan langsung ke Listrik PLN 220 VAC, TANI-V1 dapat mendeteksi perilaku hidroponik dan melakukan control serta pemantauan dengan menggunakan fitur yang berbasis IoT.

Sistem ini menggunakan 100WP monokristal dan aki motor 12V 5Ah yang dicharging dengan menggunakan SCC, dengan menggunakan panel surya ini dan SCC dapat melakukan charging dan discharging aki 12V 5Ah secara bersamaan, Dimana kondisi discharging aki dibebankan dengan beban yang ringan, yakni sensor-sensor, mikrokontroler Arduino mega 2560 dan ESP8266 NodeMCU, serta beberapa transduser seperti relay, dan LCD. Dengan estimasi perhitungan beban sekitar 5 watt, TANI-V1 ditujukan untuk melakukan kontrol dan monitoring dengan menggunakan telegram sebagai control dan spreadsheet sebagai monitoring, berdasarkan diagram Alir dari TANI-V1 berisikan bagaimana sistem dari alat ini bekerja, dimulai dari inisiasi kedua board dalam membaca tulis Input dan Output, Arduino Mega 2560 diinisiasi untuk melakukan pembacaan input berupa sensor-sensor yang dikoneksikan, meliputi sensor PH, tds, MQ135, sensor

getar, DHT 11 temperatur dan suhu, serta ultrasonic JST04 SRN dan terakhir adalah modul RTC 1307. Lalu untuk penulisan data dan sinyal, Arduino Mega 2560 menuliskan sinyal untuk Relay 4 channel, LCD I2C 20x4 karakter untuk tampilan antar muka yang menampilkan data-data sensor dan perilaku alat. Serta sebuah modul MP3 player yang digunakan sebagai Audio alert, audio ini ditanamkan beberapa audio alert yang memuat suara saat kondisi tertentu atau TANI-V1 mengalami ketidaknormalan seperti gangguan sinyal dan data, komunikasi yang gagal antar board, serta keadaan alat yang tidak sesuai dengan setpoint yang ditentukan di program yang sudah ditanamkan.


Lalu terdapat sebuah board yang difungsikan sebagai modul untuk melakukan IoT, Ketika semua Read/Write (RW) di Arduino Mega 2560 dilakukan dan selesai, dilakukan komunikasi data melalui Software Serial UART, komunikasi data nirkabel ini memungkinkan kedua board mengirim dan menerima data satu sama lain, namun dalam komunikasi data perlu dilakukan level shifting, Arduino mega 2560 memiliki level logic 5V, sedangkan NodeMCU ESP8266 menggunakan logic level 3.3V, secara teori bisa saja menyilangkan RX dan TX kedua jalur sinyal tersebut secara langsung tanpa menggunakan level shifter, namun Tindakan ini sangat membahayakan bagi board NodeMCU ESP8266. Hal ini dikarenakan logic 5V terlalu besar saat ditransmisikan dengan cepat dalam satuan mikrodetik, sehingga nilai 5V dan 0V atau logic HIGH dan LOW dari board Arduino Mega 2560 ke NodeMCU ESP8266 dapat merusak pin dan chip ESP8266, dalam jangka pendek sistem tidak mengalami gangguan jika diaktifasi dengan waktu yang tidak lama, namun sistem ini direncanakan terus aktif selama dia terus disuplai oleh sumber daya 12Vdc yang distepdown oleh modul LM2956 supaya tegangan yang keluar menjadi 5V, tegangan ini kompatibel dengan suplai untuk semua modul sensor, mikrokontroler dan transduser yang memerlukan nilai tegangan sebesar 5Vdc.






4.2.1 Prinsip Kontrol dan Monitor Telegram

TANI-V1 dapat dikontrol secara manual dan otomatis, untuk kontrol manual dapat dengan menggunakan telegram yang sudah dikoneksikan

dengan jaringan WiFi, Platform Telegram berfungsi sebagai interface kontrol utama yang memungkinkan pengguna mengoperasikan sistem DFT Hydroponics secara remote dengan perintah-perintah terstruktur. Sistem ini membagi perintah menjadi beberapa kategori fungsional: status monitoring (/status, /quickstatus, /relays), kontrol manual relay (/pump_on, /light1_off, dll.), pengaturan mode operasi (/pump_auto, /light1_auto), data logging (/lognow), dan system utilities (/memory, /playok). Setiap perintah dieksekusi melalui rantai komunikasi yang dimulai dari user input di Telegram, diteruskan ke ESP8266 via bot, kemudian dikirim ke Arduino Mega via serial communication, dan akhirnya diimplementasikan pada hardware relay atau sensor. Sistem ini menawarkan fleksibilitas kontrol penuh dimana user dapat mengoverride operasi otomatis kapan saja dengan perintah manual, dan kemudian mengembalikan ke mode otomatis ketika diperlukan. Konfirmasi eksekusi dikirim balik ke Telegram dengan format respons yang informatif menggunakan emoji dan struktur pesan yang jelas, memberikan feedback immediate kepada user tentang status terkini sistem.

Kontrol yang dilakukan secara manual ini inputnya adalah beberapa perintah dari telegram, diantaranya adalah sebagai berikut,

Kategori	Perintah Telegram	Aksi / Output Sistem	Keterangan Tambahan
 STATUS	/status	Mega mengirim laporan lengkap (sensor, relay, power)	Data dikirim ke Telegram
	/quickstatus	Info ESP: heap, uptime, WiFi, handshake	Tidak minta data dari Mega
	/relays	Menampilkan status semua relay (state & mode)	Format tabel
	/control	Menampilkan panel kontrol perintah lengkap	Menu interaktif

Kategori	Perintah Telegram	Aksi / Output Sistem	Keterangan Tambahan
 POMPA	/pump_on	Pompa ON (mode manual)	Tetap ON sampai perintah lain
	/pump_off	Pompa OFF (mode manual)	Tetap OFF sampai perintah lain
	/pump_auto	Pompa kembali ke mode AUTO (DFT schedule)	Kembali ke jadwal otomatis
	/pump_toggle	Toggle state pompa + mode manual	Berganti state setiap perintah
 LIGHT 1	/light1_on	Light 1 ON (mode manual)	-
	/light1_off	Light 1 OFF (mode manual)	-
	/light1_auto	Light 1 kembali ke mode AUTO (RTC)	-
 LIGHT 2	/light2_on	Light 2 ON (mode manual)	-
	/light2_off	Light 2 OFF (mode manual)	-
	/light2_auto	Light 2 kembali ke mode AUTO (RTC)	-
 LOGGING	/lognow	Paksa log data ke Google Sheets tanpa harus menunggu per jam	Manual trigger
 AUDIO	/playok	Mainkan audio OK (track 16)	Efek suara

Kategori	Perintah Telegram	Aksi / Output Sistem	Keterangan Tambahan
	/playharvest	Mainkan audio panen (track 19)	Efek suara
 SYSTEM	/memory	Menampilkan info memori ESP (heap)	Debugging
	/restart	✗ Dinonaktifkan	Diblok untuk menjaga stabilitas

Tabel 4. 8 Daftar Perintah di Telegram

Berikut ini adalah kode yang ditanamkan di sisi ESP8266 agar Telegram dapat memberikan perintah untuk melakukan kontrol dan pengawasan terhadap TANI-V1, dan dilengkapi dengan gambar dari tampilan di Telegram.

```
void processCommand(String cmd) {
  cmd.toLowerCase();
  cmd.trim();

  ESP.wdtFeed();

  if (cmd == "/start" || cmd == "/help") {
    sendHelp();
  } else if (cmd == "/status") {
    if (waitingForStatus) {
      if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "⌚ Already waiting...", "");
    }
    return;
  }

  if (!megaHandshakeOk) {
    if (bot) {
      String msg = "✗ Mega not connected\n";
      msg += "ESP Uptime: " + String(millis() / 1000) + "s\n";
      msg += "Heap: " + String(ESP.getFreeHeap());
      bot->sendMessage(CHAT_ID, msg, "");
    }
  }
}
```



```

    }
    return;
}

sendToMega("status");
waitingForStatus = true;
tStatusRequest = millis();
if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "📶 Requesting status...",
    "");
    Serial.println(F("[ESP] ✓ Status requested"));
} else if (cmd == "/quickstatus") {
    String quickMsg = "⚡ ESP STATUS\n";
    quickMsg += "Heap: " + String(ESP.getFreeHeap()) + " bytes\n";
    quickMsg += "Uptime: " + String(millis() / 1000) + "s\n";
    quickMsg += "WiFi: " + String(WiFi.RSSI()) + " dBm\n";
    quickMsg += "Mega HS: " + String(megaHandshakeOk ? "✓ OK" : "X
    FAIL") + "\n";
    quickMsg += "Sheets: Ready";
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, quickMsg, "");
} else if (cmd == "/lognow") {
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "📶 Logging to Sheets
    now...", "");
    requestDataForSheets();
} else if (cmd == "/pumpaauto") {
    sendToMega("pump_auto");
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "💧 Pump → AUTO", "");
} else if (cmd == "/pumpon") {
    sendToMega("pump_on");
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "💧 Pump → ON", "");
} else if (cmd == "/pumpoff") {
    sendToMega("pump_off");
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "💧 Pump → OFF", "");
} else if (cmd == "/light1on") {
    sendToMega("light1_on");
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "💡 L1 → ON", "");
} else if (cmd == "/light1off") {
    sendToMega("light1_off");
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "💡 L1 → OFF", "");
} else if (cmd == "/light2on") {
    sendToMega("light2_on");
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "💡 L2 → ON", "");
} else if (cmd == "/light2off") {
    sendToMega("light2_off");
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "💡 L2 → OFF", "");
} else if (cmd == "/memory") {

```

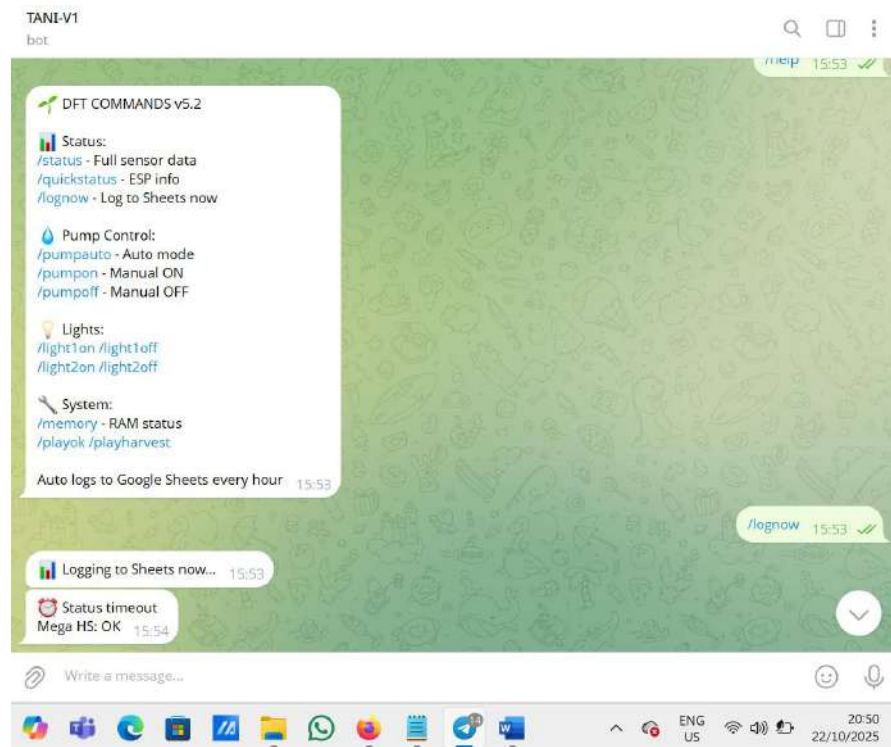
```

    String memMsg = "📊 MEMORY\n";
    memMsg += "Heap: " + String(ESP.getFreeHeap()) + " bytes\n";
    memMsg += "Uptime: " + String(millis() / 1000) + "s";
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, memMsg, "");
} else if (cmd == "/restart") {
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "❌ Restart disabled for
stability", "");
    Serial.println(F("[ESP] Restart blocked"));
} else if (cmd == "/playok") {
    sendToMega("play_16");
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "🔊 Playing OK sound", "");
} else if (cmd == "/playharvest") {
    sendToMega("play_19");
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "🔊 Playing Harvest sound",
"");
} else {
    if (bot) bot->sendMessage(CHAT_ID, "❌ Unknown command. Type
/help", "");
}

ESP.wdtFeed();
yield();
}

```

Kode 4 . 1 Kode Command Telegram



Gambar 4. 11 Tampilan Perintah di Telegram

4.2.2 Prinsip Kontrol Lampu Pencahayaan Hidroponik dan Pompa

Selain daripada itu TANI-V1 dilengkapi fitur untuk kontrol pompa dengan menggunakan RTC sebagai input dengan relay 4 channel sebagai output, ketika jam 06:00 pagi hingga 18:00 pompa relay akan aktif setiap 15 menit sekali dengan jeda 15 menit di setiap siklusnya, sedangkan pada saat malam hari dimulai dari pukul 18:00 hingga 06:00 malam, TANI-V1 akan menyalakan pompa air selama 15 menit dengan jeda waktu 45 menit di setiap siklusnya, hal ini didasari atas lingkungan pada saat malam hari yang notabenenya lembab sehingga diberi jeda tambahan dalam setiap siklusnya dari 15 menit menjadi 45 menit saat malam hari. Selain dari output tersebut, RTC secara otomatis juga melakukan kontrol terhadap perilaku relay untuk lampu AC, saat pagi hari pukul 06:00 hingga 18:00 relay akan berlogika LOW dimana ini akan mentrigger kontaktor relay supaya lampu AC menjadi putus, sehingga pada pagi hingga sore hari lampu AC akan mati, dan saat malam hari kebalikannya, dimulai dari pukul 18:00 hingga

06:00 lampu akan kembali menyala supaya TANI-V1 dan area hidroponik terdapat lampu penerangan.

Tabel 4. 9 Tabel Kontrol Relay Terhadap Output dengan RTC 1307

Komponen	Waktu / Kondisi	Aksi Otomatis	Output / Hasil
 Pompa (MAIN_PUMP)	Siang (06:00 – 18:00)• 15 menit ON• 15 menit OFF	Cycle ON/OFF berdasarkan jadwal DFT	Pompa menyala dan mati secara periodik
	Malam (18:00 – 06:00)• 15 menit ON• 45 menit OFF	Cycle ON/OFF dengan durasi berbeda	Pompa lebih jarang aktif pada malam hari
 Lampu (LIGHT 1 & 2)	Malam (18:00 – 06:00)	Lampu ON otomatis	Memberi pencahayaan untuk tanaman
	Siang (06:00 – 18:00)	Lampu OFF otomatis	Menghemat energi pada siang hari

Berikut adalah kode yang ditanamkan untuk kontrol pompa AC dan lampu AC untuk hidroponik SMAN 12 Palembang dengan menggunakan TANI-V1,

```
// ===== PUMP CONTROL =====
void managePump() {
    if (relay.manualMode) return;

    DateTime now = rtc.now();
    bool isDay = (now.hour() >= DAY_START && now.hour() <
NIGHT_START);
    unsigned long elapsed = millis() - lastPumpAction;
    unsigned long currentDuration = isDay ? (isPumpCycle ? DAY_ON_DUR
: DAY_OFF_DUR) : (isPumpCycle ? NIGHT_ON_DUR : NIGHT_OFF_DUR);
    if (elapsed >= currentDuration) {
        isPumpCycle = !isPumpCycle;
        setPump(isPumpCycle);
    }
}
```

```

lastPumpAction = millis();

Serial.print(F("[Pump] Cycle changed to: "));
Serial.println(isPumpCycle ? F("ON") : F("OFF"));
if (espReady) {
    String msg = "💧 Pump ";
    msg += isPumpCycle ? "ON" : "OFF";
    msg += " (";
    msg += isDay ? "DAY" : "NIGHT";
    msg += " mode)";

    String jsonMsg = "{\"cmd\":\""msg "\",\"txt\":\"\"";
    jsonMsg += msg;
    jsonMsg += "\"}";
    sendToESP(jsonMsg);

    Serial.print(F("[Pump] Notification sent: "));
    Serial.println(msg);
}
}
}
void setPump(bool state) {
    digitalWrite(MAIN_PUMP, state ? LOW : HIGH);
    relay.pump = state;
}
// ===== LIGHT CONTROL (FIXED RTC)
// =====
void manageLight() {
    DateTime now = rtc.now();

    // Lights ON at night (18:00-6:00), OFF during day (6:00-18:00)
    bool shouldBeOn = (now.hour() >= 18 || now.hour() < 6);

    digitalWrite(AREA_LIGHT_1, shouldBeOn ? LOW : HIGH);
    digitalWrite(AREA_LIGHT_2, shouldBeOn ? LOW : HIGH);
    relay.light1 = shouldBeOn;
    relay.light2 = shouldBeOn;

    Serial.print(F("[Light] Auto: "));
    Serial.print(shouldBeOn ? F("ON") : F("OFF"));
    Serial.print(F(" (Hour: "));
    Serial.print(now.hour());
    Serial.println(F(")"));
}
}


```

Kode 4 . 2 Kode Kontrol Pompa dan Lampu dengan RTC 1307

4.2.3 Prinsip Pembacaan Sensor dengan Interval Waktu

Fitur selanjutnya yang dimiliki TANI-V1 adalah pembacaan sensor dengan interval yang sesuai dengan karakteristik sensor berdasarkan datasheet, dan auto report setiap jam ke Google Spreadsheet dan Telegram. Sehingga memungkinkan pengumpulan data dan otomatisasi yang lebih praktis tanpa harus mendata langsung dan melihat TANI-V1 secara langsung di lokasi. Berikut adalah daftar pembacaan sensor dan pengiriman data secara otomatis beserta kode yang ditanamkan di sisi board Arduino Mega 2560,

Tabel 4. 10 Interval Waktu Pembacaan Sensor Optimal

 Sensor Pembacaan Data	Setiap 2,5 detik	Baca sensor DHT11 (suhu & kelembapan)	Update data suhu dan kelembapan
	Setiap 200 ms	Baca sensor INA219 (tegangan)	Monitoring tegangan sistem
	Setiap 150 ms	Baca sensor arus (current sensor)	Monitoring arus beban
	Setiap 2 detik	Baca sensor Ultrasonik (Water Level)	Menentukan ketinggian air nutrisi
	Setiap 3 detik	Baca sensor pH	Mengukur kualitas keasaman air
	Setiap 1,5 detik	Baca sensor TDS	Mengukur kadar nutrisi (ppm) air

```
// ===== TIMING =====
#define SENSOR_DHT_INTERVAL 2500UL
#define SENSOR_INA_INTERVAL 200UL
#define SENSOR_CURRENT_INTERVAL 150UL
#define SENSOR_ULTRASONIC_INTERVAL 200UL
#define SENSOR_VIBRATE_INTERVAL 20UL
#define SENSOR_TDS_INTERVAL 1500UL
```

```

#define SENSOR_PH_INTERVAL 3000UL
#define SENSOR_MQ135_INTERVAL 7000UL
// ===== SENSOR READING =====
void readDHT() {
    float h = dht.readHumidity();
    float t = dht.readTemperature();
    if (!isnan(h)) sensor.hum = h;
    if (!isnan(t)) sensor.temp = t;
}

void readINA219() {
    sensor.volt[0] = ina219_1.getBusVoltage_V();
    sensor.volt[1] = ina219_2.getBusVoltage_V();
    sensor.volt[2] = ina219_3.getBusVoltage_V();
}

void readCurrent() {
    sensor.curr[0] = (analogRead(CURRENT1_PIN) * 0.00488 - 2.5) / 0.1;
    sensor.curr[1] = (analogRead(CURRENT2_PIN) * 0.00488 - 2.5) / 0.1;
    sensor.curr[2] = (analogRead(CURRENT3_PIN) * 0.00488 - 2.5) / 0.1;
}

void readUltrasonic() {
    digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(TRIGGER_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW);

    long duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 30000);
    if (duration > 0) {
        float dist = duration * 0.034 / 2.0;
        sensor.waterLvl = 50.0 - (dist - 2.0);
        if (sensor.waterLvl < 0) sensor.waterLvl = 0;
        if (sensor.waterLvl > 50) sensor.waterLvl = 50;
    }
}

void readVibration() {
    sensor.vibrate = digitalRead(VIBRATE_PIN);
    if (sensor.vibrate) {
        triggerAlert(0);
    }
}

```

```

void readTDS() {
    sensor.tds = analogRead(TDS_PIN) * 0.00488;
}

void readPH() {
    sensor.ph = analogRead(PH_PIN) * (14.0 / 1023.0);
}

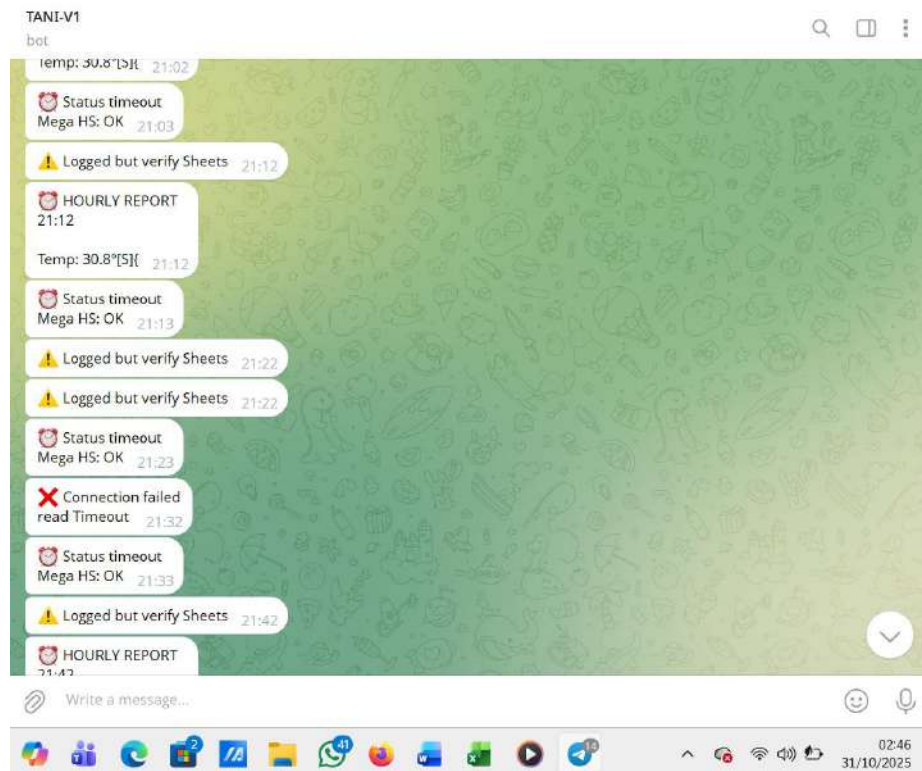
void readMQ135() {
    sensor.mq135 = analogRead(MQ135_PIN) * 0.00488;
}

```

Kode 4 . 3 Kode Pembacaan Sensor Dengan Interval Waktu

4.2.4 Prinsip Pengiriman Data Telegram dan Googlespreadsheet

Sistem DFT Hydroponics memiliki mekanisme reporting otomatis terintegrasi yang berjalan secara autonomous setiap jam. Fitur ini menjadi tulang punggung sistem monitoring dengan mengirim data sensor secara simultan ke Google Spreadsheet untuk dokumentasi jangka panjang dan Telegram untuk notifikasi *real-time*. Berbasis RTC 1307 yang akurat, sistem ini memastikan pelaporan terjadwal pada pukul 08:00, 09:00, 10:00, dan seterusnya secara 24/7 tanpa intervensi manual. Proses dimulai ketika Arduino Mega mengompilasi laporan komprehensif berisi 19 parameter sensor meliputi suhu, kelembaban, pH, TDS, level air, kualitas udara, status relay, dan memory usage.




Gambar 4. 12 Login Spreadsheet Otomatis Dalam Interval Waktu Tertentu

Data kemudian dikemas dalam format JSON dan dikirim via ESP8266 melalui dual-channel parallel - satu channel untuk Telegram dengan format pesan terstruktur menggunakan emoji dan section yang mudah dibaca, dan channel lain untuk Google Sheets via HTTP POST request ke Google Apps Script. Sistem ini dilengkapi error handling robust termasuk retry mechanism 3x percobaan, timeout protection 15 detik, dan fallback operation dimana jika satu channel gagal, channel lain tetap berfungsi. Fitur ini memberikan value analytics signifikan berupa trend analysis fluktuasi parameter harian, early warning system untuk deteksi anomaly, dan data historis untuk research and optimization, sekaligus memastikan reliability melalui data validation, connection check, buffer management, dan watchdog timer untuk auto-recovery.

Semua data yang masuk ke Google Spreadsheet dapat diunduh dalam bentuk pdf, excel atau format apapun untuk keperluan analisa data, untuk kode tertanam yang sebenarnya interval waktu untuk melakukan pendataan secara otomatis adalah sebesar 3600000000 ms atau selama setiap satu jam, namun untuk keperluan pengumpulan data yang variatif dan cepat diambil data dengan rentang waktu sebesar 90000000 ms atau 10 menit.

Tabel 4. 11 Daftar Pembacaan Data dan Pengiriman Otomatis Data

 Reporting & Logging	Setiap 1 jam	Auto report ke Telegram	Laporan status berkala
	Setiap 1 jam	Auto log ke Google Sheets	Penyimpanan data sensor otomatis

```
void sendToGoogleSheets() {
  if (!sensorCache.dataValid) {
    Serial.println(F("[Sheets] X No valid data"));
    if (bot && telegramOk) {
      bot->sendMessage(CHAT_ID, "✗ No valid sensor data", "");
    }
    return;
  }

  if (!wifiOk) {
    Serial.println(F("[Sheets] X WiFi not connected"));
    return;
  }

  Serial.println(F("[Sheets] ====="));
  Serial.println(F("[Sheets] SENDING TO GOOGLE SHEETS..."));
  Serial.println(F("[Sheets] ====="));

  HTTPClient http;
  WiFiClientSecure httpsClient;
  httpsClient.setInsecure();
  httpsClient.setTimeout(15000);

  // Pastikan semua field ada dan dalam format yang benar
  String payload = "{";
```

```

payload += "\"timestamp\": \"" + getTimestamp() + "\",";
payload += "\"temp\": " + String(sensorCache.temp, 1) + ",";
payload += "\"hum\": " + String(sensorCache.hum, 1) + ",";
payload += "\"ph\": " + String(sensorCache.ph, 2) + ",";
payload += "\"tds\": " + String(sensorCache.tds, 2) + ",";
payload += "\"waterLevel\": " + String(sensorCache.waterLevel, 1) +
",";
payload += "\"airQuality\": " + String(sensorCache.airQuality, 2) +
",";
payload += "\"volt1\": " + String(sensorCache.volt1, 1) + ",";
payload += "\"volt2\": " + String(sensorCache.volt2, 1) + ",";
payload += "\"volt3\": " + String(sensorCache.volt3, 1) + ",";
payload += "\"curr1\": " + String(sensorCache.curr1, 2) + ",";
payload += "\"curr2\": " + String(sensorCache.curr2, 2) + ",";
payload += "\"curr3\": " + String(sensorCache.curr3, 2) + ",";
payload += "\"pumpStatus\": \"" + sensorCache.pumpStatus + "\",";
payload += "\"light1Status\": \"" + sensorCache.light1Status +
 "\",";
payload += "\"light2Status\": \"" + sensorCache.light2Status +
 "\",";
payload += "\"relay4Status\": \"" + sensorCache.relay4Status +
 "\",";
payload += "\"alerts\": " + String(sensorCache.alerts) + ",";
payload += "\"freeRam\": " + String(sensorCache.freeRam);
payload += "}";

// Debug output
Serial.println(F("[Sheets] Final JSON payload:"));
Serial.println(payload);
Serial.print(F("[Sheets] Size: "));
Serial.print(payload.length());
Serial.println(F(" bytes"));

if (payload.length() < 50) {
    Serial.println(F("[Sheets] X Invalid payload"));
    return;
}

Serial.print(F("[Sheets] URL: "));
Serial.println(GOOGLE_SCRIPT_URL);

if (!http.begin(httpClient, GOOGLE_SCRIPT_URL)) {
    Serial.println(F("[Sheets] X HTTP begin failed!"));
    return;
}

```

```

http.addHeader("Content-Type", "application/json");
http.addHeader("Content-Length", String(payload.length()));

Serial.println(F("[Sheets] Sending POST..."));
ESP.wdtFeed();

unsigned long httpStart = millis();
int httpCode = http.POST(payload);
unsigned long httpTime = millis() - httpStart;

Serial.print(F("[Sheets] Response time: "));
Serial.print(httpTime);
Serial.println(F("ms"));
Serial.print(F("[Sheets] HTTP Code: "));
Serial.println(httpCode);

if (httpCode > 0) {
    String response = http.getString();
    Serial.println(F("[Sheets] Response:"));
    Serial.println(response);

    if (httpCode == 200 || httpCode == 302) {
        if (response.indexOf("\"success\":true") >= 0 ||
response.indexOf("success") >= 0) {
            Serial.println(F("[Sheets] ✓✓✓ DATA LOGGED!"));

            if (bot && telegramOk) {
                String msg = "☑ Logged to Sheets\n";
                msg += "T:" + String(sensorCache.temp, 1) + "°C ";
                msg += "pH:" + String(sensorCache.ph, 1) + "\n";
                msg += "P:" + sensorCache.pumpStatus + " ";
                msg += "A:" + String(sensorCache.alerts);
                bot->sendMessage(CHAT_ID, msg, "");
            }
        } else {
            Serial.println(F("[Sheets] ⚠ Check response"));
            if (bot && telegramOk) {
                bot->sendMessage(CHAT_ID, "⚠ Logged but verify Sheets",
"");
            }
        }
    } else {
        Serial.print(F("[Sheets] X HTTP "));
        Serial.println(httpCode);
    }
}

```

```

        if (bot && telegramOk) {
            String msg = "⚠ HTTP " + String(httpCode);
            bot->sendMessage(CHAT_ID, msg, "");
        }
    }
} else {
    Serial.print(F("[Sheets] X Error: "));
    Serial.println(http.errorToString(httpCode));

    if (bot && telegramOk) {
        String msg = "❌ Connection failed\n";
        msg += http.errorToString(httpCode);
        bot->sendMessage(CHAT_ID, msg, "");
    }
}

http.end();
Serial.println(F("[Sheets] ====="));
ESP.wdtFeed();
}

```

Kode 4 . 4 Kode Tertanam di ESP8266 NodeMCU Untuk Kirim Spreadsheet

```

// Nama sheet untuk data logging
const SHEET_NAME = "DFT_Data";

function doPost(e) {
    try {
        // Log semua yang diterima untuk debugging
        Logger.log("=== POST Request Received ===");
        Logger.log("Event object: " + JSON.stringify(e));

        // Check if postData exists
        if (!e || !e.postData) {
            Logger.log("ERROR: No postData found");
            return ContentService.createTextOutput(
                JSON.stringify({
                    success: false,
                    error: "No postData received. Make sure Content-Type is
application/json"
                })
            ).setMimeType(ContentService.MimeType.JSON);
        }

        Logger.log("PostData contents: " + e.postData.contents);
    }
}

```

```

    Logger.log("PostData type: " + e.postData.type);

    var sheet = getOrCreateSheet();

    // Parse JSON data dari ESP
    var data;
    try {
        data = JSON.parse(e.postData.contents);
        Logger.log("Parsed data: " + JSON.stringify(data));
    } catch (parseError) {
        Logger.log("ERROR: Failed to parse JSON - " + parseError);
        return ContentService.createTextOutput(
            JSON.stringify({
                success: false,
                error: "Invalid JSON: " + parseError.toString()
            })
        ).setMimeType(ContentService.MimeType.JSON);
    }

    // Validasi data - flexible validation
    if (!data.timestamp) {
        Logger.log("WARNING: No timestamp, using current time");
        data.timestamp = new Date().toLocaleString("id-ID", {timeZone:
"Asia/Jakarta"});
    }

    // Tambahkan data ke spreadsheet
    var row = [
        data.timestamp || "N/A",
        data.temp || 0,
        data.hum || 0,
        data.ph || 0,
        data.tds || 0,
        data.waterLevel || 0,
        data.airQuality || 0,
        data.volt1 || 0,
        data.volt2 || 0,
        data.volt3 || 0,
        data.curr1 || 0,
        data.curr2 || 0,
        data.curr3 || 0,
        data.pumpStatus || "N/A",
        data.light1Status || "N/A",
        data.light2Status || "N/A",
        data.relay4Status || "N/A",
    ]

```

```

        data.alerts || 0,
        data.freeRam || 0
    ];

    sheet.appendRow(row);
    Logger.log("SUCCESS: Row appended");
    autoFormatNewData();

    // Return success response
    return ContentService.createTextOutput(
        JSON.stringify({
            success: true,
            message: "Data logged successfully",
            timestamp: data.timestamp,
            rowsAdded: 1
        })
    ).setMimeType(ContentService.MimeType.JSON);

} catch (error) {
    Logger.log("FATAL ERROR: " + error.toString());
    Logger.log("Stack trace: " + error.stack);
    return ContentService.createTextOutput(
        JSON.stringify({
            success: false,
            error: error.toString(),
            stack: error.stack
        })
    ).setMimeType(ContentService.MimeType.JSON);
}
}

function doGet(e) {
    // Log GET requests untuk debugging
    Logger.log("=== GET Request Received ===");
    Logger.log("Parameters: " + JSON.stringify(e));

    return ContentService.createTextOutput(
        JSON.stringify({
            status: "DFT Logger Active v3",
            message: "Use POST method to send data",
            timestamp: new Date().toISOString(),
            note: "Make sure to send JSON with Content-Type:
application/json"
        })
    ).setMimeType(ContentService.MimeType.JSON);
}

```

```

}

// === FUNGSI UTAMA YANG TIDAK DUPLIKAT ===
function getOrCreateSheet() {
  var ss = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet();
  var sheet = ss.getSheetByName(SHEET_NAME);

  // Create sheet if it doesn't exist
  if (!sheet) {
    sheet = ss.insertSheet(SHEET_NAME);

    // Setup headers
    var headers = [
      "Timestamp",
      "Temperature (°C)",
      "Humidity (%)",
      "pH",
      "TDS (ppm)",
      "Water Level (cm)",
      "Air Quality",
      "Voltage 1 (V)",
      "Voltage 2 (V)",
      "Voltage 3 (V)",
      "Current 1 (A)",
      "Current 2 (A)",
      "Current 3 (A)",
      "Pump Status",
      "Light 1 Status",
      "Light 2 Status",
      "Relay 4 Status",
      "Active Alerts",
      "Free RAM (bytes)"
    ];

    sheet.appendRow(headers);

    // Format header
    var headerRange = sheet.getRange(1, 1, 1, headers.length);
    headerRange.setFontWeight("bold");
    headerRange.setBackground("#4285f4");
    headerRange.setFontColor("ffffff");

    // Freeze header row
    sheet.setFrozenRows(1);
  }
}

```



```

    // Auto-resize columns
    for (var i = 1; i <= headers.length; i++) {
        sheet.autoResizeColumn(i);
    }

    Logger.log("Sheet created: " + SHEET_NAME);
}

return sheet;
}

// === FUNGSI TEST & MAINTENANCE ===
function testLog() {
    var testData = {
        timestamp: new Date().toLocaleString("id-ID", {timeZone:
"Asia/Jakarta"}),
        temp: 25.5,
        hum: 65.0,
        ph: 6.8,
        tds: 1.2,
        waterLevel: 35.0,
        airQuality: 2.1,
        volt1: 12.3,
        volt2: 12.4,
        volt3: 12.2,
        curr1: 0.5,
        curr2: 0.3,
        curr3: 0.2,
        pumpStatus: "ON",
        light1Status: "OFF",
        light2Status: "OFF",
        relay4Status: "OFF",
        alerts: 0,
        freeRam: 1524
    };

    var sheet = getOrCreateSheet();
    var row = [
        testData.timestamp,
        testData.temp,
        testData.hum,
        testData.ph,
        testData.tds,
        testData.waterLevel,
        testData.airQuality,

```

```

        testData.volt1,
        testData.volt2,
        testData.volt3,
        testData.curr1,
        testData.curr2,
        testData.curr3,
        testData.pumpStatus,
        testData.light1Status,
        testData.light2Status,
        testData.relay4Status,
        testData.alerts,
        testData.freeRam
    ];

    sheet.appendRow(row);
    Logger.log("Test data logged successfully");
    Logger.log("Data: " + JSON.stringify(testData));
}

function testPostData() {
    var testPayload = JSON.stringify({
        timestamp: new Date().toLocaleString("id-ID", {timeZone:
"Asia/Jakarta"}),
        temp: 26.5,
        hum: 68.0,
        ph: 6.5,
        tds: 1.5,
        waterLevel: 38.0,
        airQuality: 1.8,
        volt1: 12.5,
        volt2: 12.6,
        volt3: 12.4,
        curr1: 0.6,
        curr2: 0.4,
        curr3: 0.3,
        pumpStatus: "OFF",
        light1Status: "ON",
        light2Status: "ON",
        relay4Status: "OFF",
        alerts: 1,
        freeRam: 1450
    });

    var mockEvent = {
        postData: {

```

```

        contents: testPayload,
        type: "application/json"
    }
};

var result = doPost(mockEvent);
Logger.log("Test result: " + result.getContent());
}

function clearAllData() {
    var ss = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet();
    var sheet = ss.getSheetByName(SHEET_NAME);

    if (sheet) {
        var lastRow = sheet.getLastRow();
        if (lastRow > 1) {
            sheet.getRange(2, 1, lastRow - 1,
sheet.getLastColumn()).clearContent();
            Logger.log("Cleared " + (lastRow - 1) + " rows of data");
        }
    }
}

function createCharts() {
    var ss = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet();
    var sheet = ss.getSheetByName(SHEET_NAME);

    if (!sheet) {
        Logger.log("Sheet not found");
        return;
    }

    // Chart 1: Temperature & Humidity
    var tempHumChart = sheet.newChart()
        .setChartType(Charts.ChartType.LINE)
        .addRange(sheet.getRange("A:A")) // Timestamp
        .addRange(sheet.getRange("B:B")) // Temperature
        .addRange(sheet.getRange("C:C")) // Humidity
        .setPosition(2, 21, 0, 0)
        .setOption("title", "Temperature & Humidity")
        .setOption("width", 600)
        .setOption("height", 400)
        .build();
    sheet.insertChart(tempHumChart);
}

```

```

// Chart 2: pH & TDS
var waterChart = sheet.newChart()
    .setChartType(Charts.ChartType.LINE)
    .addRange(sheet.getRange("A:A")) // Timestamp
    .addRange(sheet.getRange("D:D")) // pH
    .addRange(sheet.getRange("E:E")) // TDS
    .setPosition(2, 31, 0, 0)
    .setOption("title", "Water Quality (pH & TDS)")
    .setOption("width", 600)
    .setOption("height", 400)
    .build();
sheet.insertChart(waterChart);

// Chart 3: Voltage
var voltageChart = sheet.newChart()
    .setChartType(Charts.ChartType.LINE)
    .addRange(sheet.getRange("A:A")) // Timestamp
    .addRange(sheet.getRange("H:J")) // Voltage 1-3
    .setPosition(23, 21, 0, 0)
    .setOption("title", "System Voltages")
    .setOption("width", 600)
    .setOption("height", 400)
    .build();
sheet.insertChart(voltageChart);

Logger.log("Charts created successfully");
}

// Tambahkan fungsi ini untuk auto-format
function autoFormatNewData() {
    var sheet = getOrCreateSheet();
    var lastRow = sheet.getLastRow();

    if (lastRow > 1) {
        // Format numeric columns
        var numericRanges = [
            sheet.getRange(2, 2, lastRow-1, 6), // Temperature to Air
Quality
            sheet.getRange(2, 8, lastRow-1, 6), // Voltages and Currents
            sheet.getRange(2, 18, lastRow-1, 2) // Alerts and RAM
        ];

        numericRanges.forEach(function(range) {
            range.setNumberFormat("0.00");
        });
    }
}

```

```

// Format timestamp column
sheet.getRange(2, 1, lastRow-1, 1).setNumberFormat("yyyy-mm-dd
hh:mm:ss");

Logger.log("Auto-formatted " + (lastRow-1) + " rows");
}
}

```

Kode 4 . 5 Kode di Appscript GoogleSpreadsheet Menerima Data

4.2.5 Prinsip Audio Alert

Fitur selanjutnya yang dimiliki TANI-V1 adalah fitur audio alert, fitur ini memungkinkan TANI-V1 untuk melakukan notifikasi alarm jika terdapat perilaku-perilaku anomali yang tidak sesuai atau melebihi batas ambang yang sudah ditentukan di program. Interface audio system menggunakan DFPlayer Mini sebagai audio processing unit dengan kapasitas 20 track alert yang terprogram. Setiap jenis kondisi abnormal memiliki audio track khusus yang diidentifikasi dengan nomor track dan pesan verbal yang jelas, mulai dari peringatan suhu (track 2-3), kelembaban (track 4-5), kualitas air (track 6-9), hingga sistem error (track 13-15). Mekanisme cooldown yang diimplementasikan terdiri dari individual track cooldown 5 menit untuk mencegah audio spam dan global cooldown 10 detik antar semua jenis audio. Sistem prioritization memastikan alert critical seperti level air kritis dan masalah power mendapatkan prioritas playback tertinggi. Audio feedback juga berfungsi sebagai system status indicator dimana track 16 (OK sound) diputar saat startup dan tersedia untuk manual trigger via Telegram. Volume audio diatur pada level 30% untuk keseimbangan antara audibility dan noise reduction, dengan opsi manual adjustment melalui kode program ketika diperlukan.

Berikut ini adalah kode dan daftar tabel dari fitur audio alert yang ditanamkan di sisi board Arduino Mega 2560,

Tabel 4. 12 Daftar Audio Track yang disimpan di Kartu SD DF Mini Player

⚠ Alerts / Notifikasi Otomatis	Suhu > 30°C atau < 18°C	Audio alert + Telegram notif	Peringatan suhu ekstrem
	Kelembapan > 80% atau < 40%	Audio alert + Telegram notif	Peringatan kelembapan
	pH > 7.5 atau < 5.5	Audio alert + Telegram notif	Peringatan pH nutrisi
	Level air < 10 cm	Audio alert + Telegram notif	Peringatan kritis air
	Level air < 20 cm	Audio alert	Peringatan rendah air
	Air quality > 4.0	Audio alert + Telegram notif	Peringatan kualitas udara
	TDS > 4.0 atau < 0.5	Audio alert + Telegram notif	Peringatan nutrisi
	Tegangan < 11V atau > 14.5V	Audio alert + Telegram notif	Peringatan daya (over/under voltage)

```

void checkAlerts() {
    // Reset all triggered flags
    for (uint8_t i = 0; i < 15; i++) {
        alerts[i].triggered = false;
    }
    sensor.activeAlerts = 0;

    // Check conditions and mark as triggered
    if (sensor.temp > TEMP_HIGH) alerts[1].triggered = true;
    else if (sensor.temp < TEMP_LOW) alerts[2].triggered = true;

    if (sensor.hum > HUM_HIGH) alerts[3].triggered = true;
    else if (sensor.hum < HUM_LOW) alerts[4].triggered = true;

    if (sensor.ph > PH_HIGH) alerts[5].triggered = true;
    else if (sensor.ph < PH_LOW) alerts[6].triggered = true;

```

```

if (sensor.waterLvl < WATER_CRIT) alerts[8].triggered = true;
else if (sensor.waterLvl < WATER_LOW) alerts[7].triggered = true;

if (sensor.mq135 > AIR_THRESH) alerts[9].triggered = true;

if (sensor.tds > TDS_HIGH) alerts[10].triggered = true;
else if (sensor.tds < TDS_LOW) alerts[11].triggered = true;

bool voltAlert = false;
for (uint8_t i = 0; i < 3; i++) {
    if (sensor.volt[i] < VOLT_LOW || sensor.volt[i] > VOLT_HIGH) {
        voltAlert = true;
    }
}
if (voltAlert) alerts[12].triggered = true;
// Process alerts - ONLY play if triggered AND cooldown passed
for (uint8_t i = 0; i < 15; i++) {
    if (alerts[i].triggered) {
        alerts[i].active = true;
        sensor.activeAlerts++;
        triggerAlert(i);
    } else {
        alerts[i].active = false;
    }
}
}
}

```

Kode 4 . 6 Kode Untuk Akses Fitur Audio Alert

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hidroponik di SMAN 12 PALEMBANG dapat beroperasi kembali dengan menggunakan TANI-V1 yang telah dirancang bangun dengan sistem panel surya dan kombinasi mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pro dan NoceMCU ESP8266.
2. TANI-V1 yang telah dilakukan rancang bangun dan instalasi dapat melakukan integrasi dengan fitur berbasis IoT, menggunakan GoogleSpreadsheet sebagai monitor dan Telegram sebagai kontrol dengan eror keakuratan sensor jika dibandingkan dengan alat ukur sebesar 7.52%, eror komunikasi data 35%, dan eror sesaat untuk pembacaan sensor sebesar 20%.

5.2 Saran

1. Melakukan peningkatan daya energi PLTS dengan melakukan penambahan kapasitas daya panel surya dan modul inverter DC to AC agar hidroponik di SMAN 12 PALEMBANG bisa bersifat independen (off grid) dengan tidak membebankan beban berat ke listrik PLN, namun langsung ke modul inverter.
2. Menggunakan sensor AS3935 Franklin Lightning Sensor dengan komunikasi I2C untuk melakukan prediksi adanya badai-hujan sebagai peringatan dini dan penonaktifan pompa AC jika hujan sehingga dapat memberikan efek interupsi, penghematan energi listrik dan sebagai parameter baru untuk melakukan kontrol terhadap pompa air.
3. Menggunakan ESP32 untuk modul IoT dikarenakan spesifikasi ESP32 Dev Module jauh lebih tinggi dibandingkan dengan ESP8266 NodeMCU yang kadang crash karena variabel String dan data yang terlalu besar. Atau langsung dengan menggunakan mini-computer

Arduino Uno Q atau Raspberry Pi 5 untuk mikrokontroler utama, supaya lebih ringkas interkoneksinya namun bersifat overkill pada proyek menengah seperti TANI-V1. Namun jika dalam waktu kedepan ada pembaharuan yang memerlukan penanaman AI dan ML maka akan cukup bagi TANI-V1.

4. Menambahkan data sensor tegangan dan arus sebagai variasi data tegangan, arus dan daya keelektrikan dan monitoring.
5. Menambahkan sensor suhu untuk mengetahui temperatur air, bisa menggunakan modul DB1820 one wire protocol communication untuk memperoleh data temperatur air, data temperatur air ini bisa digunakan sebagai variabel untuk melakukan kalkulasi dengan menambahkan parameter temperatur air untuk mengetahui nilai pH dengan lebih akurat, mengingat pH dipengaruhi oleh temperatur.
6. Menambahkan averaging algorithm dan faktor kalibrasi untuk pembacaan sensor yang lebih stabil mengingat adanya momentary error di beberapa sensor seperti pH PC4502 dan TDS sensor. Lalu menanamkan program untuk mengeliminasi nilai sensor yang bernilai 0, dimana nilai 0 dianggap tidak mungkin terjadi di sensor, seperti pH, TDS dan ultrasonik.
7. Menambahkan variabel baru untuk pemerolehan data, untuk kasus sensor vibrasi yang terdapat nilai 0 dalam periode waktu tertentu, secara pasti tidak diketahui nilai 0 yang dimaksud apakah benar-benar nilai 0 karena tidak ada impaksi selama periode waktu tertentu atau terjadi eror dalam komunikasi data, dimana Arduino Mega 2560 gagal mengirimkan jumlah impaksi ke NodeMCU ESP8266.
8. Menggunakan TANI-V1 sebagai media pembelajaran dan media tanam untuk hidroponik berbasis IoT dan Renewable Energy untuk semua warga SMAN 12 PALEMBANG.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Jaenul, M. Manfaluthy, Y. Pramodja, and F. Anjara, "Pembuatan Sumber Listrik Cadangan Menggunakan Panel Surya Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Beban Lampu dan Peralatan Listrik," *Formosa Journal of Science and Technology*, vol. 1, no. 3, pp. 143–156, 2022, doi: 10.55927/fjst.v1i3.838.
- [2] S. Yuwono, D. Diharto, and N. W. Pratama, "Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid," *Energi & Kelistrikan*, vol. 13, no. 2, pp. 161–171, 2021, doi: 10.33322/energi.v13i2.1537.
- [3] N. Fatmi, I. Muhammad, and Alchalil, "Rancangan Panel Surya Sebagai Sumber Listrik Pada Pembinaan Penghematan Energi Bagi Masyarakat Kurang Mampu Di Desa Blang Panyang Kecamatan Muara Satu," *Krida Cendekia*, vol. 1, no. 5, 2021.
- [4] D. Pratama and A. Asnil, "Sistem Monitoring Panel Surya Secara Realtime Berbasis Arduino Uno," *MSI Transaction on Education*, vol. 2, no. 1, pp. 19–32, 2021, doi: 10.46574/mted.v2i1.46.
- [5] E. C. Sinurat, "Rancang Bangun Rotasi Matahari Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Arduino Uno (Studi Kasus Rotasi Panel Surya)," *Jurnal Portal Data*, vol. 2, no. 1, pp. 1–19, 2022, [Online]. Available: <http://portaldata.org/index.php/portaldata/article/view/61%0Ahttp://portaldata.org/index.php/portaldata/article/download/61/61>
- [6] F. E. Putri, R. Mutholib, F. Hidayati, H. Hubaybah, M. Butar Butar, and A. Putri, "Analisis Pertumbuhan Tanaman Pakcoy Hidroponik Menggunakan Tambahan Pupuk Cair Lindi Sebagai Sumber Belajar," *Biodik*, vol. 9, no. 1, pp. 174–182, 2022, doi: 10.22437/bio.v9i1.23551.

- [7] B. R. W. Giono, "Pertumbuhan Sawi Pakcoy Sistem Hidroponik Wick pada Beberapa Media Tanam," *Jurnal Agrotan*, vol. 8, no. 1, pp. 14–17, 2022.
- [8] R. Via Jonet, R. Fevria, Violita, D. Handayani, and W. Arjulis, "Perbandingan Pertumbuhan Tanaman Selada Hijau (*Lactuca Sativa* L.) di Dalam Dan Di Luar Greenhouse Yang Dibudidayakan Secara Hidroponik (Studi Kasus We Farm Hidroponik)," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 8, no. 2, pp. 17941–17950, 2024.
- [9] N. Kemala, M. Mulyani, and A. A. Falah, "Perbandingan Struktur Biaya dan Pendapatan Usahatani Sawi Pakcoy (*Brassica chinensis* L.) Metode Hidroponik dan Konvensional di Kota Jambi," *Jurnal MeA (Media Agribisnis)*, vol. 7, no. 2, p. 77, 2022, doi: 10.33087/mea.v7i2.131.
- [10] "Tanaman Hidroponik." [Online]. Available: <https://desabandongan.magelangkab.go.id/>
- [11] B. H. Saputra, M. Yahya, and D. Erwanto, "Kendali suplai nutrisi dan cahaya pada hidroponik tanaman sawi pakcoy dengan distem NFT," *Jurnal Elektro Luceat*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2021.
- [12] S. Isnaeni and N. Nasrudin, "Pertumbuhan dan Produksi Dua Jenis Sawi Menggunakan Perbedaan Nutrisi Secara Aeroponik," *Jurnal Galung Tropika*, vol. 10, no. 1, pp. 31–39, 2021, doi: 10.31850/jgt.v10i1.715.
- [13] J. D. Humaira, "Komparasi Unjuk Kerja Hubungan Seri, Paralel, dan Seri Paralel pada Panel Surya," *MSI Transaction on Education*, vol. 4, no. 1, pp. 1–12, 2023.
- [14] Taufiqurrohman Faid, Rizky Maulidiya, and Yeddid Yonatan Eka Darma, "Penerapan Panel Surya Sebagai Alat Bantu Penerangan Pada Kapal Para Nelayan Ikan Di Desa Blimbingsari," *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif*, vol. 6, no. 1, pp. 24–29, 2020.

- [15] P. Siagian, H. Alam, M. Fahreza, and R. J. Tampubolon, “Peningkatan daya panel surya dengan konsentrator cahaya dari bahan aluminium foil,” *Journal Serambi Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 8490–8498, 2024.
- [16] Partaonan Harahap, Inda Bustami, Rimbawati, and Benny Oktrialdi, “Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Dan Suhu Terhadap Daya Yang Dikeluarkan Oleh Modul Sel Surya Monocrystalline Dan Polycrystalline,” *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, vol. 3, no. 2, pp. 1–5, 2022, doi: 10.53695/jm.v3i3.791.
- [17] A. Riansyah, M. Sagaf, and M. Ismail, “Penerapan Teknologi Smart Greenhouse Berbasis Photovoltaic dan IoT pada Budidaya Sayuran Hidroponik di Desa Pekalongan Jepara,” *Abdimas Universal*, vol. 5, no. 2, pp. 284–288, 2023, doi: 10.36277/abdimasuniversal.v5i2.342.
- [18] P. Harahap, “Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya,” *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 73–80, 2020, doi: 10.30596/rele.v2i2.4420.
- [19] “Panel Surya.” [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/>
- [20] D. P. Sari, “Prototype Alat Monitoring Suhu, Kelembaban dan Kecepatan Angin Untuk Smart Farming Menggunakan Komunikasi LoRa dengan Daya Listrik Menggunakan Panel Surya,” *Kilat*, vol. 10, no. 2, pp. 370–380, 2021, doi: 10.33322/kilat.v10i2.1376.
- [21] N. Windasari and Y. Sudarti, “Analisis Efisiensi Mobil Listrik Berbasis Panel Surya Sebagai Upaya Pemanfaatan Energi Terbarukan,” *Science, and Technology (J-HEST)*, vol. 6, pp. 41–47, 2023, [Online]. Available: <https://www.j-hest.web.id/index.php>
- [22] T. A. Kurniawan, S. Sundari, Y. Kuntjoro, P. Dinanti, and L. Sianipar, “Pemanfaatan Panel Surya untuk Usaha Indekos guna Menambah Nilai Ekonomi yang Ramah Lingkungan,” *El-Mal: Jurnal Kajian Ekonomi &*

- Bisnis Islam*, vol. 5, no. 4, pp. 2125–2132, 2024, doi: 10.47467/elmal.v5i4.913.
- [23] D. Dahliya, S. Samsurizal, and N. Pasra, “Efficiency of a 100 Wp Capacity Solar Panel Due to the Effect of Temperature and Wind Speed,” *Jurnal Ilmiah SUTET*, vol. 11, no. 2, pp. 71–80, 2021.
- [24] M. Syukri and Azhar, “Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP,” *Journal of Engineering and Science*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2022, doi: 10.56347/jes.v1i1.1.
- [25] T. J. Pramono, E. Erlina, Z. Arifin, and J. Saragih, “Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Gedung Bertingkat,” *Kilat*, vol. 9, no. 1, pp. 115–124, 2020, doi: 10.33322/kilat.v9i1.888.
- [26] S. Yuliananda, G. Sarya, and R. Retno Hastijanti, “Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya,” *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya Nopember*, vol. 01, no. 02, pp. 193–202, 2015.
- [27] A. Julisman, I. D. Sara, and R. H. Siregar, “Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomasi Stadion Bola Menggunakan Sensor LDR dan Sensor Air,” *Kitektro*, vol. 2, no. 1, pp. 35–42, 2017.
- [28] M. Kamil Rahman, “Analisis Perbandingan Efisiensi Panel Surya 55 Watt dengan Tracking dan Tanpa Tracking,” *Jurnal Syntax Admiration*, vol. 3, no. 11, pp. 1395–1411, 2022, doi: 10.46799/jsa.v3i11.504.
- [29] I. N. Sugiarta, I. N. Suparta, and I. W. Teresna, “Perbandingan Suplai Energi Panel Surya Polycrystalline pada PLTS ON-GRID,” *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6 ISAS Publishing Series: Engineering and Science*, vol. 6, no. 1, pp. 285–292, 2020.

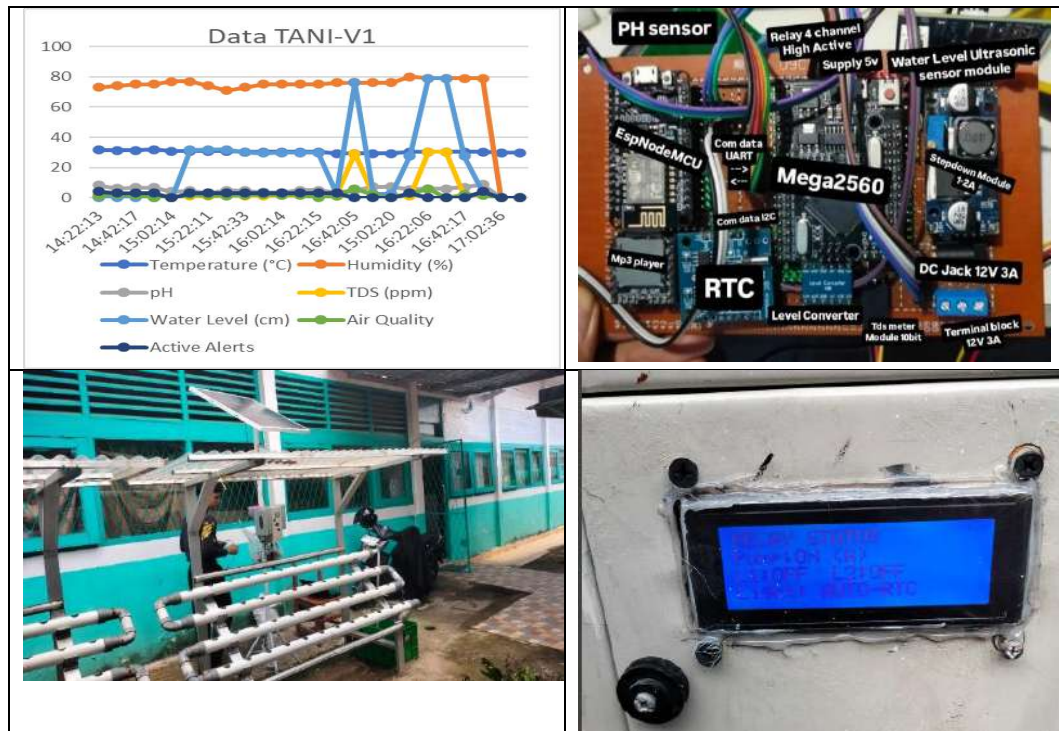
- [30] “PLTS Off Grid.” [Online]. Available: <https://www.btienergy.id/sistem-plts-off-grid/>
- [31] “Panel Surya Monokristal.” [Online]. Available: <https://www.royalpv.com/produk/panel-surya-300-wp-royalpv-monocrystalline/>
- [32] M. Mungkin, H. Satria, J. Yanti, G. B. A. Turnip, and S. Suwarno, “Perancangan Sistem Pemantauan Panel Surya Polycrystalline Menggunakan Teknologi Web Firebase Berbasis IoT,” *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 3, no. 2, pp. 319–327, 2020, doi: 10.31539/intecom.v3i2.1861.
- [33] “IoT Integrasi Fisik dan Digital.” [Online]. Available: <https://docif.telkomuniversity.ac.id/apa-itu-iot/>
- [34] “Google Firebase.” [Online]. Available: <https://firebase.google.com/brand-guidelines?hl=id>
- [35] “Google Spreadsheet.” [Online]. Available: <https://hybrid.co.id/post/cara-membuat-spreadsheet/>
- [36] “Aplikasi Telegram.” [Online]. Available: <https://hybrid.co.id/post/sempt-raib-telegram-dan-telegram-x-sudah-kembali-ke-app-store/logo-aplikasi-telegram/>
- [37] “Proteus Profesional.” [Online]. Available: <https://arduinofactory.com/proteus-arduino-simulator/>
- [38] “Arduino IDE.” [Online]. Available: <https://www.kmtech.id/post/>
- [39] “Multimeter.” [Online]. Available: <https://www.monotaro.id/p103040413.html>
- [40] “PH Meter.” [Online]. Available: <https://infitek.com/products/pocket-ph-meter-ph-w2/>

- [41] “TDS Sensor.” [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/arduino-tds-water-quality-sensor/>
- [42] “PPM Meter.” [Online]. Available: <https://www.dinomarket.com/TD/19496732/TDS-EC-Meter-Hidroponik-Tanaman-Air-Minum-PPM/1071>
- [43] “Solar Charge Controller.” [Online]. Available: <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/solar-regulator-30A-12V-solar-charge-60538751067.html>
- [44] “PCB.” [Online]. Available: <https://www.lazada.co.id/products/2pcs-pcb-matrix-circuit-board-57cm-papan-sirkuit-i1624580095.html>
- [45] “Akumulator.” [Online]. Available: <https://www.astroshop.eu/battery-packs/euro-emc-panasonic-lead-gel-battery/p,16834>
- [46] “Stepdown Module.” [Online]. Available: <https://digiwarestore.com/id/other-appliances/dc-dc-stepdown-xl4016-buck-module-8a-250w-with-voltage-display-644203.html>
- [47] “Arduino Mega 2560.” [Online]. Available: <https://devboards.info/boards/arduino-mega2560-rev3>
- [48] “Arduino Mega 2560 Pro.” [Online]. Available: <https://forum.arduino.cc/t/problem-pin-d13-in-mega2560-pro-version-mini/649168>
- [49] “NodeMCU ESP8266.” [Online]. Available: <https://lastminuteengineers.com/esp8266-pinout-reference/>
- [50] “Modul Level Shifter.” [Online]. Available: <https://jogjarobotika.com/modul-lainnya/1217-logic-level-converter-bi-directional-iic-4-way-level-conversion-module.html>

- [51] “Komunikasi Data I2C.” [Online]. Available: <https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>
- [52] “Komunikasi UART.” [Online]. Available: <https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>
- [53] “DHT 11.” [Online]. Available: https://www-circuitbasics-com.translate.goog/how-to-set-up-the-dht11-humidity-sensor-on-an-arduino/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=imgs
- [54] “RTC 1307.” [Online]. Available: <https://digiwarestore.com/id/io-module/rtc-ds1307-i2c-iic-real-time-clock-battery-module-24c32-441087.html>
- [55] “PCF4502 PH Sensor.” [Online]. Available: <https://cimpleo.com/blog/arduino-ph-meter-using-ph-4502c/>
- [56] “MQ135.” [Online]. Available: <https://www.aksesoriskomputerlampung.com/2019/07/mq135-sensor-gas-arduino.html>
- [57] “JST-04SRN.” [Online]. Available: https://esphome.io/components/sensor/jsn_sr04t/
- [58] “Sensor Getar.” [Online]. Available: <https://osoyoo.com/2018/11/14/arduino-lesson-vibration-sensor-module/>
- [59] “LCD 12C 20x4.” [Online]. Available: <https://www.sunfounder.com/products/i2c-lcd2004-module?srsId=AfmBOopBHUXTb7xCBv0vFiGoSvsHzTHpMyhcsy1nU0hvADGPdSgZwr1d>
- [60] “MP3 Player.” [Online]. Available: https://wiki.dfrobot.com/dfplayer_mini_sku_dfr0299

- [61] “Relay 4 Channel.” [Online]. Available: <https://components101.com/switches/5v-four-channel-relay-module-pinout-features-applications-working-datasheet>
- [62] “Lampu AC.” [Online]. Available: <https://shopee.co.id/LAMPU-HANNOCH-VARIO-30-WATT-LED-PENERANGAN-HEMAT-LISTRIK-i.89893512.6141709865>
- [63] “Pompa Air.” [Online]. Available: <https://www.monotaro.id/s041183847.html>

LAMPIRAN

[illegible]

Link Video Alat Running:

<https://youtu.be/epRGk2VyLak>

https://youtube.com/shorts/hPOFkRRg_h8?feature=share

https://drive.google.com/file/d/1Xvo05chl49s9rQZAxD6iK_vKG1owf59/view?usp=sharing