

**RANCANG BANGUN KONTROL DAN MONITORING
FLOODLIGHT APRON BERBASIS MIKROKONTROLER**

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat lulus pendidikan

Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara

Oleh

I MADE DWI PRAMUDYA DARMA

NIT. 16042110006



PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK LISTRIK BANDARA

POLITEKNIK PENERBANGAN INDONESIA CURUG

2025

ABSTRAK

RANCANG BANGUN KONTROL DAN MONITORING *FLOODLIGHT* *APRON* BERBASIS MIKROKONTROLER

Oleh

I MADE DWI PRAMUDYA DARMA

NIT. 16042110006

Program Studi D IV Teknik Listrik Bandara

Sistem penerangan apron memiliki peran penting dalam menunjang keselamatan dan kelancaran operasional penerbangan, sehingga diperlukan kontrol dan monitoring yang andal. Penelitian ini merancang prototipe sistem kontrol dan monitoring floodlight apron berbasis mikrokontroler dengan dukungan teknologi Internet of Things (IoT). Rangkaian sistem terdiri atas ESP32 sebagai pusat kontrol dan koneksi IoT, Arduino Mega 2560 sebagai pengendali relay serta pembaca arus menggunakan sensor ACS712, dan modul HC-12 sebagai media komunikasi nirkabel jarak jauh. Data hasil pembacaan sensor ditampilkan secara real-time pada Human Machine Interface (HMI) berbasis Node-RED. Hasil pengujian menunjukkan sistem dapat menyalakan dan mematikan lampu floodlight melalui tombol manual maupun perintah jarak jauh, serta memantau arus dengan akurasi yang baik dan komunikasi nirkabel yang stabil. Prototipe ini mampu meningkatkan efisiensi operasional serta mempercepat deteksi gangguan pada sistem penerangan apron.

Kata kunci: Floodlight apron, Mikrokontroler, IoT, Monitoring

ABSTRACT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MICROCONTROLLER-BASED APRON FLOODLIGHT CONTROL AND MONITORING SYSTEM

By

I MADE DWI PRAMUDYA DARMA

NIT. 16042110006

Study Program of Diploma IV Airport Electrical Engineering

The apron lighting system plays a crucial role in ensuring the safety and smooth operation of aircraft, therefore reliable control and monitoring are required. This study designed a prototype of an apron floodlight control and monitoring system based on a microcontroller with the support of Internet of Things (IoT) technology. The system consists of an ESP32 as the central controller and IoT connection, an Arduino Mega 2560 to operate the relay and measure current using the ACS712 sensor, and an HC-12 module as a long-range wireless communication medium. Sensor data is displayed in real-time on a Human Machine Interface (HMI) developed using Node-RED. The test results show that the system can switch the floodlights on and off either through manual buttons or remote commands, while also monitoring the current with good accuracy and stable wireless communication. This prototype improves operational efficiency and accelerates fault detection in apron lighting systems.

Keywords: Floodlight apron, Microcontroller, IoT, Monitoring

PENGESAHAN PEMBIMBING

Tugas Akhir: “RANCANG BANGUN KONTROL DAN MONITORING *FLOODLIGHT APRON* BERBASIS MIKROKONTROLER” telah diperiksa dan disetujui untuk diuji sebagai salah satu syarat lulus Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara Angkatan ke-23, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug-Tangerang.



Nama : I MADE DWI PRAMUDYA DARMA
NIT : 16042110006

PEMBIMBING I

I WAYAN JULIARTA, S.T., M.M.
NIP. 19710715 199301 1 0003

PEMBIMBING II

RUBBY SOEBIANTORO, S.ST. M.PD
NIP. 19740108 200604 1 001

KETUA PROGRAM STUDI
D-IV TEKNIK LISTRIK BANDARA

NURHEDHI DESRYANTO, S.T., S.SiT., M.M.
NIP. 19631204 198703 1 001

PENGESAHAN PENGUJI

Tugas Akhir : “RANCANG BANGUN KONTROL DAN MONITORING *FLOODLIGHT APRON* BERBASIS MIKROKONTROLER” telah dipertahankan di hadapan Tim penguji Tugas Akhir Program Studi Teknik Listrik Bandara Angkatan ke-23 Politeknik Penerbangan Indonesia Curug - Tangerang. Tugas Akhir ini telah dinyatakan LULUS Program Studi Diploma IV pada tanggal 12 Agustus 2025.

KETUA



KGS. M. ISMAIL, S.SiT., M.T.
NIP.19831009 200812 1 001

SEKETARIS



AYUNDA MAULITA ALYA R, S.Tr.T
NIP.20010525 202412 2 001

ANGGOTA



BASIL ALDRIAN PRAWIRAATMAJA, S.Tr.T
NIP. 19991222 202210 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : I Made Dwi Pramudya Darma

NIT : 16042110006

Program Studi : Diploma IV Teknik Listrik Bandara

Menyatakan bahwa tugas akhir berjudul “RANCANG BANGUN KONTROL DAN MONITORING *FLOODLIGHT APRON* BERBASIS MIKROKONTROLER” merupakan karya asli saya bukan merupakan hasil plagiarisme.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar akademik dari Politeknik Penerbangan Indonesia (PPI) Curug.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Tangerang, 12 Agustus 2025

Yang Membuat Pernyataan

I Made Dwi Pramudya Darma

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Diploma IV yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Politeknik Penerbangan Indonesia dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Sitasi hasil penelitian Tugas Akhir ini dapat ditulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Pramudya, I.M.D. (2025): Rancangan Bangun Kontrol dan Monitoring *Floodlight Apron* Berbasis Mikrokontroler, Tugas Akhir Program Diploma IV, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh Tugas Akhir haruslah seizin Ketua Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.

HALAMAN PERUNTUKAN

ဤစာချုပ်အရ နှစ်ဦးစလုံးသည် အောက်ဖော်ပြပါ အချက်များကို လက်မှတ်ရေးထိုးခဲ့ကြောင်း အတည်ပြုရန် ရည်ရွယ်ချက်ဖြင့် ရေးသားခဲ့ပါသည်။

[illegible]

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada Ida Sang Hyang Widhi Wasa serta kedua orang tua saya tercinta, Bapak I Wayan Sudarma dan Ibu Ni Wayan Narwati, sebagai ungkapan rasa bhakti, terima kasih, dan penghormatan yang tulus atas segala doa, kasih sayang, dan dukungan yang tiada henti.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun Kontrol dan Monitoring Floodlight Apron Berbasis Mikrokontroler” dengan baik dan tepat waktu.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. Dalam penyusunan laporan ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua dan keluarga tercinta atas doa, dukungan moril maupun materil, serta semangat yang selalu diberikan selama penulis menjalani proses pendidikan hingga penyelesaian tugas akhir ini.
2. Capt Megi Hudi Helmiadi, S.Si.T., M.A., selaku Direktur Politeknik Penerbangan Indonesia Curug yang telah memberikan dukungan dan fasilitas dalam penyelesaian studi ini.
3. Bapak Nurhedhi Desryanto, S.T., S.SiT., M.M., selaku Ketua Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara.
4. Bapak I Wayan Juliarta, S.T., M.M., selaku Pembimbing I.
5. Bapak Rubby Soebiantoro, S.ST., M.Pd., selaku Pembimbing II.
6. Seluruh Dosen dan Staf Pengajar Program Studi Teknik Listrik Bandara yang telah memberikan ilmu, wawasan, dan motivasi selama penulis menempuh pendidikan di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.
7. Pihak manajemen dan staf teknis Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali yang telah memberikan izin, informasi, serta data pendukung terkait sistem penerangan apron yang sangat berguna bagi penelitian ini.
8. Rekan-rekan angkatan 23 Diploma IV Teknik Listrik Bandara yang telah membantu dan memberikan ide-ide selama perancangan prototipe ini.

9. Adik-adik angkatan 24 dan 25 Diploma IV Teknik Listrik Bandara atas dukungan, semangat, dan kebersamaan yang telah diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
10. Ni Putu Winda Eka Damayanti, wanita yang selalu mendukung penulis dengan doa, motivasi, dan semangat yang tak pernah henti selama masa perkuliahan hingga penyelesaian tugas akhir ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, yang telah membantu memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi penyajian maupun isi. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan dan penyempurnaan karya ini di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam bidang sistem kontrol dan monitoring fasilitas penerangan bandara.

Tangerang, 12 Agustus 2025



I Made Dwi Pramudya Darma

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
PENGESAHAN PENGUJI.....	v
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	vi
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR	vii
HALAMAN PERUNTUKAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah	2
C. Tujuan	2
D. Luaran.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
A. Tinjauan Teori	4
1. <i>Apron</i>	4
2. <i>FloodLight</i>	4
3. ADP (<i>Apron Distribution Panel</i>).....	5
4. Mikrokontroler.....	6
5. HC 12.....	10
6. Sensor Arus ACS712	12
7. <i>Relay Single Pole Double Throw (SPDT)</i>	13
8. Kontaktor	15
9. <i>Power supply</i>	16
10. MCB.....	17
11. Kabel American Wire Gauge (AWG)	17
12. Lampu sorot LED 10W.....	18

13. <i>Human Machine Interface</i> (HMI).....	19
14. Arduino IDE	20
15. Node-RED	21
B. Definisi Oprasional	22
C. Study Literature	22
D. Kerangka Berfikir	24
BAB III METODOLOGI PERANCANGAN.....	27
A. Metodologi Perancangan	27
B. Waktu dan Lokasi Perancangan.....	29
C. Tahapan Perancangan Sistem	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
A. Pembahasan	34
1. Sistem Rancangan.....	34
2. Tahap Pembuatan Rancang Bangun Kontrol dan Monitoring <i>Floodlight</i> Berbasis Mikrokontroler	34
B. Pengujian.....	54
1. Deskripsi pengujian	54
2. Prosedur pengujian	55
BAB V PENUTUP.....	66
A. Kesimpulan.....	66
B. Saran	66
LAMPIRAN.....	69
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : KM 30 Tahun 2005 Tentang Pemberlakuan Standar Nasional Indonesia (SNI) Mengenai Kriteria Penempatan Fasilitas Komunikasi Darat-Udara Berfrekuensi Amat Tinggi (VHF Air Ground) Sebagai Standar Wajib.	70
Lampiran B Schematic Rangkaian Keseluruhan Receiver Prototipe.	71
Lampiran C Rangkaian ACS712 Pada Reciever.	72
Lampiran D Rangkaian Relay Pada Receiver	73
Lampiran E Rangkaian HC-12 Pada Receiver	74
Lampiran F Schematic Rangkaian Transmitter Prototipe.	75
Lampiran G Desain Prototipe.	76
Lampiran H Layout Apron.	77
Lampiran I layout Panel	78
Lampiran J Daftar Rincian Biaya Prototipe.	79
Lampiran K Coding perangkat Receiver.	80
Lampiran L Coding perangkat Transmitter.	82
Lampiran M DataSheet Arduino Mega2560.	89
Lampiran N DataSheet ESP 32.	90
Lampiran O DataSheet Sensor Arus ACS712.	91
Lampiran P DataSheet HC – 12.	92
Lampiran Q Dokumentasi Pengujian	93
Lampiran R Hasil Turnitin	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Floodlight.....	5
Gambar II. 2 Arduino Mega2560.....	7
Gambar II. 3 ESP32	9
Gambar II. 4 HC-12	11
Gambar II. 5 Sensor Arus ACS712.....	12
Gambar II. 6 Relay 4 channel	13
Gambar II. 7 Kontaktor	15
Gambar II. 8 Power supply	16
Gambar II. 9 MCB	17
Gambar II. 10 Kabel.....	18
Gambar II. 11 Lampu Sorot LED	18
Gambar II. 12 HMI	19
Gambar II. 13 Arduino IDE	20
Gambar II. 14 Node-RED	21
Gambar II. 15 Flowchart Kerangka Berfikir.....	26
Gambar III. 1 Prosedur Pengembangan Metodologi ADDIE	29
Gambar III. 2 Flowchart Perancangan	31
Gambar III. 3 Cara Kerja Alat.....	33
Gambar IV. 1 Desain Prototipe.....	37
Gambar IV. 2 Rangkaian Keseluruhan Prototipe.....	38
Gambar IV. 3 Rangkaian Sensor Arus ACS712	38
Gambar IV. 4 Rangkaian Relay	39
Gambar IV. 5 Rangkaian HC-12.....	39
Gambar IV. 6 Rangkaian Transmitter Prototipe	40
Gambar IV. 7 Rangkaian Receiver Prototipe.....	42
Gambar IV. 8 Perakitan perangkat Receiver Prototipe.....	44
Gambar IV. 9 Perakitan Lampu Prototipe.....	44
Gambar IV. 10 Perakitan Kontaktor dan MCB.....	45
Gambar IV. 11 Perakitan Kontaktor dan MCB pada papan.....	45
Gambar IV. 12 Perakitan Lampu pada papan	46
Gambar IV. 13 Perakitan Lampu pada papan	46

Gambar IV. 14 Program Arduino IDE	47
Gambar IV. 15 Program Arduino IDE	48
Gambar IV. 16 Program Arduino IDE	48
Gambar IV. 17 Program Arduino IDE	49
Gambar IV. 18 Program Arduino IDE	50
Gambar IV. 19 Program Arduino IDE	50
Gambar IV. 20 Program Node-RED	51
Gambar IV. 21 Program Node-RED	52
Gambar IV. 22 Program Node-RED	52
Gambar IV. 23 Program Node-RED	53
Gambar IV. 24 Monitor Kontrol Lampu	55
Gambar IV. 25 Pengujian Jarak	56
Gambar IV. 26 Pengukuran Arus dengan Multimeter	57
Gambar IV. 27 Layar Dashboard Ketika Normal	58
Gambar IV. 28 Layar Dashboard Ketika Ada Masalah Pada Lampu	58
Gambar IV. 29 Pengujian HC – 12	59
Gambar IV. 30 Pengujian Jarak HC – 12 50 Meter	60
Gambar IV. 31 Kondisi Lampu Kontrol Jarak 50 Meter	60
Gambar IV. 32 Pengujian Jarak HC – 12 100 Meter	61
Gambar IV. 33 Kondisi Lampu Kontrol Jarak 100 Meter	61
Gambar IV. 34 Pengujian Jarak HC – 12 150 Meter	62
Gambar IV. 35 Kondisi Lampu Kontrol Jarak 150 Meter	63
Gambar IV. 36 Pengujian Jarak HC – 12 250 Meter	64
Gambar IV. 37 Kondisi Lampu Kontrol Jarak 250 Meter	64

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Spesifikasi Arduino Mega2560	8
Tabel II. 2 Spesifikasi ESP32.....	10
Tabel II. 3 Spesifikasi HC12.....	11
Tabel II. 4 Spesifikasi Sensor Arus ACS712	13
Tabel II. 5 Spesifikasi Relay	14
Tabel III. 1 Waktu Pelaksanaan Penelitian	30
Tabel IV. 1 pin Sambungan Rangkaian Receiver	41
Tabel IV. 2 pin Sambungan Rangkaian Transmitter.....	42
Tabel IV. 3 Hasil Pengujian dengan Multimeter dan Sensor ACS712	57

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bandara merupakan salah satu infrastruktur vital dalam transportasi udara yang memiliki peran strategis dalam menjamin keselamatan, kelancaran, dan kenyamanan penerbangan. Operasional bandara melibatkan berbagai fasilitas penunjang yang saling terintegrasi, mulai dari sisi udara hingga sisi darat. Salah satu fasilitas penunjang yang berpengaruh langsung terhadap keselamatan adalah sistem penerangan apron. Apron adalah area penting di bandara yang digunakan untuk parkir pesawat, bongkar muat barang, proses naik turun penumpang, pengisian bahan bakar, serta aktivitas pendukung lainnya.

Pencahayaan yang memadai di area apron sangat diperlukan, terutama pada malam hari atau saat cuaca buruk, agar seluruh aktivitas dapat berjalan dengan aman dan efisien. Penerangan apron umumnya menggunakan floodlight yang dipasang pada tiang - tiang tinggi atau bangunan, dengan intensitas cahaya yang diatur sesuai standar penerbangan sipil. Berdasarkan ketentuan teknis, intensitas pencahayaan minimal di apron adalah 20 lux baik secara horizontal maupun vertikal(2023prkemenhub021, 2023). Pencahayaan di bawah standar ini dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja, kesalahan prosedur *ground handling*, serta gangguan terhadap keselamatan operasional pesawat.

Berdasarkan pengalaman penulis saat melaksanakan magang di Bandara Internasional Halim Perdanakusuma Jakarta dan Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali, meskipun sistem kontrol dan monitoring floodlight memiliki peran yang sangat penting, pada sebagian bandara penerapannya masih dilakukan secara manual melalui panel terpusat atau dengan menggunakan timer. Cara tersebut memiliki sejumlah keterbatasan, antara lain respon terhadap gangguan yang tidak dapat dilakukan secara cepat, tidak tersedianya pemantauan kondisi lampu secara langsung dari ruang kontrol, serta masih bergantung pada inspeksi lapangan yang membutuhkan waktu lebih lama dan tenaga teknisi tambahan. Kondisi ini berpotensi menimbulkan hambatan

terhadap kelancaran operasional, khususnya pada penerbangan malam hari maupun saat kondisi cuaca buruk.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang untuk mengatasi keterbatasan tersebut melalui penerapan sistem kontrol dan monitoring jarak jauh. Dengan memanfaatkan mikrokontroler dan modul komunikasi nirkabel, sistem penerangan apron dapat dioperasikan serta dipantau secara real-time dari ruang kontrol atau bahkan melalui jaringan berbasis internet. Sistem ini memungkinkan operator untuk mengetahui kondisi nyala lampu, mendeteksi gangguan dengan cepat, dan mengambil tindakan secara lebih responsif.

Penerapan sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT tidak hanya meningkatkan efisiensi kerja teknisi dan mempercepat penanganan gangguan, tetapi juga mendukung efisiensi energi karena pengoperasian lampu dapat diatur sesuai kebutuhan. Selain itu, integrasi dengan sistem manajemen bandara memungkinkan pengoperasian pencahayaan yang lebih cerdas, misalnya menyesuaikan waktu nyala lampu dengan jadwal penerbangan atau kondisi cuaca. Oleh karena itu, pengembangan prototipe sistem kontrol dan monitoring floodlight apron berbasis mikrokontroler menjadi langkah penting dalam mendukung keselamatan, efisiensi, dan keberlanjutan operasional bandara.

B. Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan, mendapatkan rumusan masalah mengenai, Bagaimana cara merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol dan monitoring *floodlight apron* yang efisien ?

C. Tujuan

Tujuan dari rancangan ini adalah untuk menghasilkan inovasi alat berupa prototipe *floodlight apron* yang terintegrasi dengan teknologi berbasis IoT yang dilengkapi dengan sistem kontrol dan monitoring menggunakan mikrokontroler. Sistem ini dirancang guna meningkatkan efisiensi operasional dan respons terhadap gangguan yang terjadi, serta mempermudah pemantauan

kondisi secara *real-time* sehingga pengambilan keputusan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan tepat.

D. Luaran

Penulisan ini menghasilkan alat sistem kontrol dan monitoring *floodlight apron* yang terintegrasi. Alat ini memudahkan pengendalian dan pemantauan *floodlight apron* secara efisien, dengan pemantauan kondisi secara *real-time*. Sistem ini meningkatkan efisiensi operasional, mempercepat respon terhadap gangguan, dan fleksibel. Selain itu, alat ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi penerapan sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT yang dapat diadaptasikan di berbagai lingkungan bandara.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Teori

1. *Apron*

Apron adalah area di bandar udara yang berfungsi sebagai tempat parkir pesawat, naik turun penumpang, bongkar muat barang atau kargo, pengisian bahan bakar, serta perawatan ringan pesawat. Area ini terletak di antara terminal penumpang dan landasan pacu (runway) dan dirancang khusus untuk mendukung operasional pesawat di darat dengan standar keselamatan yang tinggi. *Apron* dilengkapi dengan marka khusus yang memandu posisi pesawat dan pergerakan kendaraan pendukung, seperti tangga penumpang, kendaraan pengangkut bagasi, dan truk bahan bakar, untuk memastikan aktivitas berjalan tertib dan aman. *Apron* terbagi dalam beberapa jenis, seperti terminal *apron* yang berada dekat terminal untuk mempermudah akses penumpang, remote *apron* yang berlokasi jauh dari terminal untuk parkir pesawat tertentu, cargo *apron* yang digunakan khusus untuk bongkar muat barang, dan maintenance *apron* untuk perawatan teknis pesawat. (Mubarak et al., 2022)

2. *FloodLight*

Apron Floodlight adalah sistem pencahayaan yang dirancang untuk memberikan penerangan di area *apron* bandar udara, yaitu tempat pesawat parkir, bongkar muat barang, dan proses naik turun penumpang (Aditya Pratama. Y et al., 2020). Alat ini berfungsi sebagai pendukung utama dalam memastikan kelancaran operasional, terutama pada malam hari atau saat kondisi cahaya alami tidak mencukupi, seperti saat cuaca buruk atau berkabut. *Apron Floodlight* dirancang untuk menyinari area secara merata sehingga pergerakan pesawat, kendaraan pendukung, dan personel bandara dapat dilakukan dengan aman dan efisien. Selain itu, penerangan ini berperan penting dalam menjaga keamanan pesawat, terutama bagi

yang berada dalam kondisi remain *overnight* (RON), sehingga area di sekitar pesawat tetap terlihat jelas dan dapat diawasi.



Gambar II. 1 *Floodlight*

Sumber : penulis

Alat penerangan ini biasanya dipasang pada tiang-tiang tinggi atau struktur khusus yang memungkinkan cahaya menyebar ke seluruh area *apron* secara optimal (Yayuk Suprihartini, 2019). Keberadaannya mempermudah berbagai aktivitas operasional, seperti bongkar muat barang, pengisian bahan bakar, serta pergerakan penumpang dan kendaraan pendukung. Dengan memastikan pencahayaan yang memadai, *apron floodlight* membantu mengurangi risiko kecelakaan dan mendukung keselamatan kerja di area yang sibuk. Sebagai salah satu fasilitas vital di bandara, *apron floodlight* tidak hanya mendukung efisiensi operasional tetapi juga meningkatkan keselamatan bagi pesawat, penumpang, dan seluruh personel yang terlibat dalam aktivitas bandara.

3. ADP (*Apron Distribution Panel*)

Apron Distribution Panel (ADP) adalah panel listrik yang berfungsi untuk menerima suplai listrik dari LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*) dan menyalurkannya ke lampu-lampu *apron floodlight*. Panel ini dilengkapi berbagai komponen penting untuk memastikan distribusi listrik berjalan aman dan efisien. Salah satunya adalah MCCB (*Moulded Case*

Circuit Breaker), yang melindungi sistem dari arus pendek (korsleting) atau kelebihan beban (*overload*) yang dapat menyebabkan kerusakan atau kebakaran. Selain itu, terdapat MCB (*Miniature Circuit Breaker*), yang juga berfungsi memutus aliran listrik berlebih menggunakan mekanisme bimetal atau elektromagnetik, dengan kapasitas mulai dari 1A hingga 32A. ADP juga memiliki kontaktor, komponen yang menghubungkan dan memutuskan arus listrik dengan bantuan *coil* elektromagnetik, serta *Time Delay Relay* (TDR), yang berfungsi mengatur waktu kerja perangkat listrik.

Komponen lain yang terdapat pada ADP adalah *fuse* atau sekring, yang melindungi sistem dari arus berlebih dengan cara memutus aliran listrik saat terjadi kondisi berbahaya. Untuk memantau performa listrik, panel ini dilengkapi ampere meter, yang menunjukkan beban arus listrik, dan volt meter, yang memberikan informasi tentang tegangan, daya yang digunakan, serta faktor daya. Selain itu, terdapat pilot lamp sebagai indikator visual yang menunjukkan status aliran listrik. Jika lampu hijau menyala, berarti arus listrik mengalir, sedangkan lampu merah menunjukkan arus terputus. Dengan kombinasi komponen-komponen ini, ADP mampu memastikan distribusi listrik berjalan dengan aman, terkendali, dan sesuai kebutuhan.(Megansa et al., 2023)

4. Mikrokontroler

a. Arduino Mega

Arduino Mega adalah papan mikrokontroler berbasis chip ATmega2560, dirancang untuk proyek elektronik yang membutuhkan banyak koneksi dan kapasitas lebih besar(iskandar, 2017). Dibandingkan dengan Arduino Uno atau Nano, Mega memiliki 54 pin digital I/O (15 di antaranya untuk PWM), 16 pin analog input, dan 4 port serial (UART) yang memungkinkan komunikasi dengan beberapa perangkat seperti GSM, GPS, dan lainnya. Dengan kecepatan 16 MHz, memori 256 KB flash untuk program, 8 KB SRAM untuk data sementara, dan 4 KB EEPROM untuk

penyimpanan permanen, Arduino Mega mendukung berbagai protokol komunikasi seperti UART, I2C, dan SPI.



Gambar II. 2 Arduino Mega2560
Sumber : Website Arduino

Papan ini dapat diberi daya melalui USB atau adaptor eksternal dengan tegangan 7-12V. Arduino Mega sering digunakan dalam aplikasi seperti robotika, automasi rumah atau industri, pengumpulan data sensor, dan proyek IoT, berkat banyaknya pin I/O, memori besar, dan kemampuan koneksi yang fleksibel. Ini menjadikannya pilihan terbaik untuk proyek yang melibatkan banyak perangkat atau membutuhkan pengolahan data yang kompleks.

Arduino Mega 2560 dipilih karena jumlah pin I/O yang banyak, mendukung pembacaan data dari banyak sensor secara bersamaan, dan memiliki lebih dari satu port serial hardware yang memudahkan integrasi dengan modul komunikasi seperti HC-12 tanpa mengganggu komunikasi USB ke komputer.

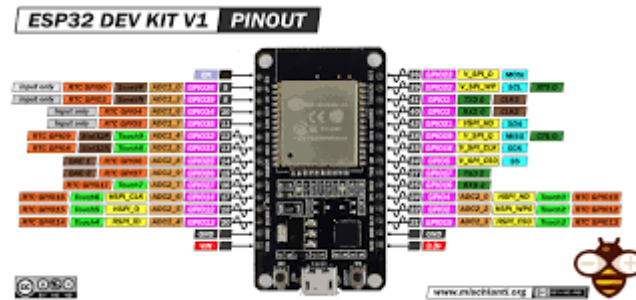
Tabel II. 1 Spesifikasi Arduino Mega2560
Sumber : *DataSheet* Arduino2560

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan Operasional	5V
Tegangan Input (rekomendasi)	7-12V
Tegangan Input (limit)	6-20V
Pin Digital I/O	54 (<i>of which 15 provide PWM output</i>)
Pin Analog Input	16
Arus DC per Pin I/O	20 mA
Arus DC untuk Pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	256 KB <i>of which 8 KB used by bootloader</i>
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
<i>LED BUILTIN</i>	13
Panjang	101.52 mm
Lebar	53.3 mm
Berat	37 g

b. ESP32

NodeMCU adalah perangkat berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan System on Chip ESP32 dengan sifat open source. Perangkat ini sering disebut sebagai "papan Arduino versi ESP32" karena kemampuannya yang serupa dalam hal pemrograman dan fleksibilitas. ESP32, sebagai inti dari NodeMCU, berfungsi untuk menghubungkan mikrokontroler ke jaringan internet melalui konektivitas *Wifi* (*Wireless Fidelity*). NodeMCU dirancang sebagai

satu papan terpadu yang mendukung berbagai fitur, termasuk akses *Wifi* berkecepatan hingga 150 Mbps dan komunikasi USB ke serial, menjadikannya sangat praktis untuk berbagai aplikasi IoT.(Arjun Pratikto Wahyu Hendrawan & Ni Putu Agustini, 2022)



Gambar II. 3 ESP32
Sumber :Website ESP32

NodeMCU ESP32 memiliki 34 pin GPIO yang dapat digunakan untuk input maupun output, serta mendukung protokol komunikasi nirkabel. Perangkat ini dipilih karena kemudahan pemrogramannya, ketersediaan jumlah pin yang memadai, dan kemampuannya untuk mengakses jaringan internet untuk pengiriman atau penerimaan data melalui koneksi *Wifi*(Dwi et al., 2025).

ESP32 dipilih karena memiliki kemampuan untuk mengirim dan menerima data melalui internet secara mandiri tanpa harus terhubung ke komputer atau laptop. Selain itu, ESP32 mendukung komunikasi jarak jauh berbasis IoT dan telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi kontrol serta monitoring, sehingga layak dijadikan pilihan utama pada sistem ini(Susanto et al., 2023).

Tabel II. 2 Spesifikasi ESP32
Sumber : *DataSheet* ESP32

Spesifikasi	Keterangan
Mikroprosesor	LX6 Single atau Dual Core
Tegangan Operasional	3.3V
Tegangan Input (rekomendasi)	7-12V
Tegangan Input (limit)	6-20V
Pin Digital I/O	25
Pin Analog Input (ADC)	6
Pin Analog Output (DAC)	2
Memori Flash	4 MB
SRAM	520 KB
ROM	448 K

5. HC 12

HC-12 adalah modul komunikasi serial *wireless* yang dirancang untuk transmisi data nirkabel dengan fleksibilitas tinggi. Modul ini beroperasi pada pita frekuensi 433MHz – 473MHz, yang termasuk dalam spektrum ISM, dan mendukung hingga 100 channel dengan jarak antar saluran sebesar 400KHz.(Oryza Tito Fernando et al., n.d.) Dengan daya transmisi maksimal sebesar 100mW (20dBm), HC-12 mampu menjangkau hingga beberapa kilometer dalam kondisi ideal, tergantung pada antena dan lingkungan sekitarnya.(Oryza Tito Fernando et al., n.d.)

Modul ini juga mendukung konfigurasi melalui AT-Command, memungkinkan pengaturan parameter seperti frekuensi kerja, daya transmisi, dan *baud rate*, sehingga memudahkan adaptasi untuk berbagai aplikasi, termasuk IoT, sistem kontrol jarak jauh, dan perangkat monitoring.



Gambar II. 4 HC-12
Sumber : Website HC-12

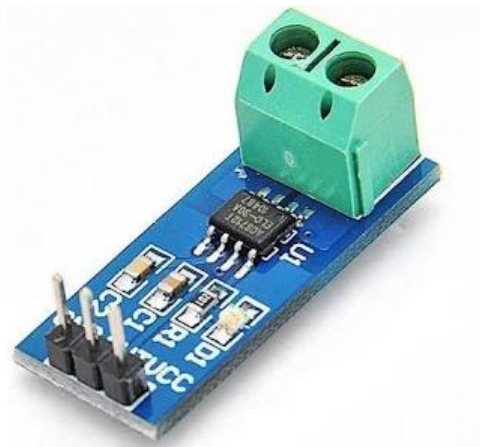
Modul HC-12 dipilih karena mampu mengirim data jarak jauh tanpa memerlukan koneksi internet, sehingga dapat digunakan di lokasi dengan keterbatasan jaringan Wi-Fi. Modul ini bekerja pada frekuensi 433 MHz yang tahan terhadap interferensi dan tetap stabil meskipun terdapat hambatan fisik seperti dinding atau jarak antar bangunan.

Tabel II. 3 Spesifikasi HC12
Sumber : *DataSheet* HC12

Spesifikasi	Detail
Frekuensi kerja	433.4 – 473.0 MHz
Daya transmisi	Maksimum 100 mW (20 dBm)
Moodulasi	GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
Kecepatan data	1.2 kbps – 115.2 kbps
Tegangan oprasi	3.2V – 5.5V
Arus saat transmisi	100 mA (@20 dBm)
Arus saat penerimaan	16 mA
Jarak komunikasi	Hingga 1 km
Antenna	Antenna luar melalui konektor IPEX
Antarmuka	UART (TTL level)
<i>Baud rate</i> default	9600 bps
Dimensi	27.8 x 14.4 x 4 mm
Modus kerja	4 modus : FU1, FU2, FU3, dan FU4
Temperature oprasi	-40°C hingga +85°C

6. Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 adalah modul elektronik yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur arus listrik yang mengalir pada suatu rangkaian, baik dalam bentuk arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC)(Taif et al., 2019). Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip efek *Hall*, di mana medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik diubah menjadi tegangan analog yang dapat dibaca oleh mikrokontroler. Tegangan keluaran yang dihasilkan sebanding dengan arus yang terdeteksi, dengan tegangan nol arus (0A) berada di titik tengah catu daya, yaitu sekitar 2,5V jika menggunakan sumber daya 5V.



Gambar II. 5 Sensor Arus ACS712
Sumber : Website ACS712

Keunggulan utama dari ACS712 adalah kemampuannya mengukur arus tanpa kontak langsung, sehingga memberikan isolasi listrik yang baik antara jalur pengukuran dan rangkaian kontrol. Sensor ini sering digunakan untuk berbagai aplikasi elektronik, seperti monitoring konsumsi daya, pengukuran arus motor, dan proteksi rangkaian, karena keakuratan, respons cepat, dan kemudahan integrasinya dengan mikrokontroler seperti Arduino. Sensor ACS712 dipilih karena aman digunakan untuk sistem bertegangan tinggi berkat isolasi internalnya, mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler.

Tabel II. 4 Spesifikasi Sensor Arus ACS712
 Sumber : *DataSheet* Sensor Arus ACS712

Spesifikasi	Keterangan
Model	ACS712
Type	Sensor arus
Tegangan Operasional	4.5 V - 5 V
Rentang Pengukuran (tergantung tipe)	5 A/20 A/ 30 A
Tegangan Input Maksimal	5V
Total Output Error	+ - 1.5%

7. *Relay Single Pole Double Throw (SPDT)*

Relay adalah sebuah komponen elektronik yang berfungsi sebagai saklar (*switch*) elektronik yang dapat dikendalikan secara elektrik. Prinsip kerja *relay* didasarkan pada prinsip elektromagnetik, di mana sebuah elektromagnet diaktifkan oleh arus listrik untuk mengubah posisi kontak-kontaknya.



Gambar II. 6 *Relay 4 channel*
 Sumber : Website *Relay*

Secara umum, *relay* terdiri dari dua bagian utama: elektromagnet dan kontak *switch* (sakel). Elektromagnet biasanya diberi daya oleh sinyal kontrol yang datang dari sumber tegangan rendah, seperti sinyal dari mikrokontroler, sensor, atau saklar manual (Syahri & Bintoro, 2023). Ketika elektromagnet diaktifkan, ia menarik atau menolak tuas mekanis (*armature*), yang mengubah posisi kontak *switch*.

Relay digunakan untuk mengendalikan sirkuit listrik dengan daya atau tegangan yang lebih besar daripada yang dapat ditangani langsung oleh perangkat control. Modul relay ini dipilih karena mampu mengendalikan beberapa beban sekaligus dalam satu papan, memiliki kapasitas arus hingga 10 A sehingga cocok untuk mengontrol lampu floodlight, serta dilengkapi optokopler yang memberikan perlindungan terhadap rangkaian mikrokontroler.

Tabel II. 5 Spesifikasi Relay
Sumber : *DataSheet Relay*

Spesifikasi	Detail
Jumlah Channel	4
Tegangan Kerja	5V DC (untuk modul <i>relay</i>)
Arus Maksimum per Channel	10A pada 250V AC / 30V DC
Tegangan Kontrol	5V DC (dari sistem kontrol)
Tegangan <i>Switching</i>	250V AC / 30V DC
Jenis <i>Relay</i>	SPDT (Single Pole Double Throw)
Isolasi	Optocoupler (isolasi antara kontroler dan <i>relay</i>)
Indikator LED	Ya (untuk status aktif atau non-aktif)
Mode Kerja	Normal open (NO) atau Normal close (NC)
Sumber Daya	5V DC

8. Kontaktor

Kontaktor adalah perangkat listrik yang berfungsi sebagai saklar elektromagnetik untuk mengendalikan aliran listrik dalam suatu rangkaian daya. Umumnya, kontaktor digunakan dalam sistem kelistrikan industri untuk mengontrol peralatan berdaya besar seperti motor listrik, pemanas, dan sistem pencahayaan. Penggunaannya memungkinkan pengendalian perangkat dari jarak jauh, sehingga meningkatkan keamanan dan efisiensi operasional. Cara kerja kontaktor didasarkan pada prinsip elektromagnetik, di mana ketika kumparan (*coil*) diberi tegangan, medan magnet yang dihasilkan akan menarik inti besi bergerak, sehingga menutup kontak utama dan mengalirkan arus listrik ke beban. Sebaliknya, saat tegangan dihentikan, pegas akan mengembalikan inti besi ke posisi semula, membuka kontak utama dan memutus aliran listrik.



Gambar II. 7 Kontaktor
Sumber : Website Kontaktor

Beberapa komponen utama dalam kontaktor meliputi kumparan (*coil*) yang menghasilkan medan magnet saat dialiri arus listrik, kontak utama yang mengalirkan arus ke beban, serta kontak bantu (*auxiliary contact*) yang digunakan dalam rangkaian kontrol untuk memberikan sinyal tambahan (Kalika Khaldan Nurshofa et al., 2024). Selain itu, terdapat inti besi bergerak (*armature*) yang ditarik oleh medan magnet untuk menutup atau membuka kontak utama, serta pemadam busur api (*arc chute*) yang berfungsi meredam dan memadamkan busur api yang terjadi saat pemutusan arus listrik. Dengan karakteristik komponen dan cara kerjanya

tersebut, kontaktor mampu menangani arus dan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan relay biasa, sehingga memberikan keandalan yang dibutuhkan untuk mengontrol floodlight berdaya besar di apron.

9. *Power supply*

Power supply atau catu daya adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk menyediakan energi listrik dengan tegangan dan arus yang sesuai bagi sistem elektronik yang digunakan (Azis Hutasuhut, 2017). Dalam aplikasi praktis, *power supply* mengubah sumber listrik arus bolak-balik (AC) dari jaringan PLN menjadi arus searah (DC) yang stabil, misalnya 5V atau 3.3V DC. Tegangan DC ini dibutuhkan oleh berbagai perangkat elektronik seperti mikrokontroler, sensor, maupun modul komunikasi agar dapat beroperasi secara optimal. Salah satu jenis *power supply* yang banyak digunakan dalam sistem tertanam (*embedded system*) adalah *Switch Mode Power supply* (SMPS), karena memiliki efisiensi tinggi, ukuran yang lebih ringkas, serta mampu menyediakan arus yang cukup besar dengan tingkat kestabilan yang baik.



Gambar II. 8 Power supply
Sumber : Website Power supply

Dalam sistem berbasis mikrokontroler, kestabilan catu daya sangat mempengaruhi kinerja keseluruhan perangkat. Mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32 membutuhkan suplai daya yang konsisten agar tidak terjadi gangguan fungsi, error komunikasi, atau bahkan restart tak terduga. Oleh karena itu, pada proyek ini digunakan *power supply* tipe SMPS dengan spesifikasi output 5V DC dan arus maksimum 2A (Bosowa et al., 2021). *Power supply* ini digunakan untuk menyalakan mikrokontroler utama serta mendukung modul tambahan seperti sensor arus, modul

komunikasi HC-12, dan *relay*. Dengan adanya catu daya yang handal, sistem dapat bekerja secara terus-menerus dengan performa yang stabil.

10. MCB

Miniature Circuit Breaker (MCB) adalah perangkat pengaman listrik yang berfungsi untuk memutus aliran arus listrik secara otomatis apabila terjadi gangguan berupa arus lebih (*overload*) atau hubungan arus pendek (*short circuit*). MCB bekerja secara mekanis dengan prinsip elektromagnetik dan termal yang akan membuka kontak pemutus saat nilai arus melebihi kapasitas yang telah ditentukan. MCB umumnya digunakan pada instalasi rumah tangga, perkantoran, hingga fasilitas industri sebagai pengganti sekering (*fuse*) karena dapat dioperasikan kembali setelah terjadi pemutusan (Solfiani et al., n.d.).



Gambar II. 9 MCB
Sumber : Website MCB

11. Kabel American Wire Gauge (AWG)

Kabel AWG (*American Wire Gauge*) adalah jenis kabel listrik yang ukurannya dinyatakan menggunakan sistem penomoran standar internasional berdasarkan diameter konduktor tembaga. Semakin kecil angka AWG, semakin besar diameter konduktor dan semakin besar pula kapasitas hantar arusnya. Kabel AWG umumnya digunakan dalam sistem kelistrikan dan elektronika karena tersedia dalam berbagai ukuran yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan arus, tegangan, dan lingkungan kerja. Isolasi pada kabel AWG biasanya terbuat dari bahan PVC atau silikon yang tahan panas dan memberikan perlindungan terhadap hubungan arus pendek (Elza Wiracantika et al., n.d.).



Gambar II. 10 Kabel

Sumber: Website

Kabel AWG dipilih karena memiliki standar ukuran internasional yang memudahkan perhitungan kapasitas hantar arus sesuai kebutuhan sistem. Selain itu, kabel AWG memiliki fleksibilitas yang baik, tahan terhadap panas, dan mudah diatur dalam perakitan, sehingga sesuai untuk instalasi pada sistem kontrol dan monitoring berbasis mikrokontroler.

12. Lampu sorot LED 10W

Lampu sorot Light Emitting Diode (LED) adalah perangkat pencahayaan yang menggunakan dioda pemancar cahaya sebagai sumber penerangan utama. Lampu ini memancarkan cahaya dengan intensitas tinggi dan sudut penyinaran yang terarah, sehingga mampu memberikan penerangan yang fokus dan merata pada area tertentu (Fahmi Hakim et al., n.d.).



Gambar II. 11 Lampu Sorot LED
Sumber : Website Lampu Sorot LED

Lampu sorot LED 10W merupakan salah satu varian dengan daya konsumsi 10 watt yang umumnya digunakan untuk penerangan luar ruangan berskala kecil hingga menengah, seperti halaman, taman, papan reklame kecil, serta penerangan tambahan di fasilitas publik.

13. *Human Machine Interface* (HMI)

Human Machine Interface (HMI) adalah sistem yang berfungsi sebagai penghubung antara manusia dan mesin, memungkinkan operator untuk memantau, mengontrol, dan mengelola proses secara lebih efektif. HMI menampilkan data operasional dalam bentuk teks, grafik, atau indikator visual sehingga memudahkan pengguna dalam memahami kondisi peralatan dan mengambil keputusan yang tepat. Teknologi ini banyak digunakan di industri otomasi karena dapat meningkatkan efisiensi kerja, meminimalkan kesalahan manusia, serta mendukung pengawasan sistem secara real-time.

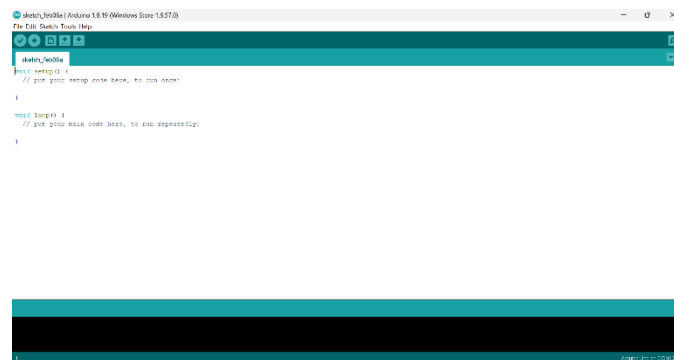


Gambar II. 12 HMI
Sumber : *website*

Komponen utama HMI terdiri dari perangkat keras seperti panel layar atau monitor yang terhubung dengan mesin atau PLC, serta perangkat lunak yang digunakan untuk merancang tampilan antarmuka dan pengaturan kontrol. HMI hadir dalam beberapa jenis, mulai dari text-based hingga graphical dan web-based HMI, yang memungkinkan pemantauan lokal maupun jarak jauh. Penggunaan HMI sangat penting dalam sistem otomasi modern karena memudahkan interaksi antara manusia dan mesin secara cepat, akurat, dan aman.

14. Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, dan mengunggah kode ke papan mikrokontroler Arduino melalui komputer (Mahanin Tyas et al., 2023). IDE merupakan kependekan dari *Integrated Development Environment*, yang berarti suatu lingkungan terpadu untuk pengembangan perangkat lunak. Arduino IDE dibuat menggunakan bahasa Java dan didukung oleh pustaka (library) berbasis C/C++, yang berfungsi untuk menyederhanakan pengolahan data dari perangkat input dan output.



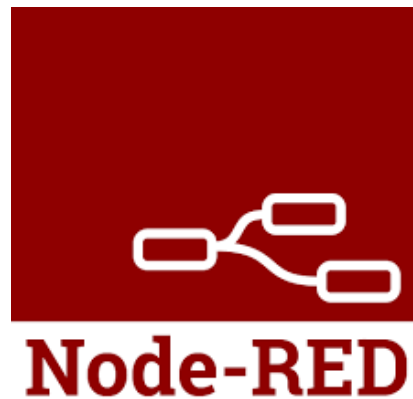
Gambar II. 13 Arduino IDE
Sumber : Website Arduino IDE

Pada setiap papan Arduino, terdapat IC mikrokontroler yang telah dilengkapi dengan *bootloader*. *Bootloader* ini berperan sebagai perantara antara komputer dan mikrokontroler, memungkinkan proses pemrograman berlangsung tanpa perlu alat tambahan. Karena mikrokontroler hanya dapat memahami instruksi dalam bentuk kode biner, diperlukan sebuah *compiler* untuk menerjemahkan bahasa pemrograman tingkat tinggi menjadi instruksi yang dapat dipahami oleh perangkat keras.

Arduino IDE juga menyediakan antarmuka pengguna yang intuitif, mendukung berbagai pustaka tambahan, dan kompatibel dengan berbagai model Arduino. Sebagai perangkat lunak *open-source*, Arduino IDE terus dikembangkan oleh komunitas global, sehingga memungkinkan inovasi dan peningkatan fitur secara berkelanjutan.

15. Node-RED

Node-RED adalah platform pemrograman visual yang dirancang untuk memudahkan proses integrasi antarperangkat dan layanan, terutama dalam proyek berbasis *Internet of Things* (IoT). Dengan tampilan antarmuka drag-and-drop, kita bisa menyusun alur kerja (flow) cukup dengan menghubungkan blok-blok atau node tanpa harus menulis banyak kode. Setiap node memiliki fungsi tertentu, seperti membaca sensor, memproses data, atau mengirim informasi ke server. Hal ini membuat Node-RED sangat cocok digunakan oleh pemula maupun pengembang yang ingin membuat sistem otomatisasi secara cepat dan efisien (Wijaya et al., 2019).



Gambar II. 14 Node-RED
Sumber : Website Node-RED

Salah satu kelebihan utama Node-RED adalah fleksibilitasnya. Aplikasi ini bisa dijalankan di berbagai perangkat, seperti komputer, Raspberry Pi, atau bahkan langsung di server cloud. Karena berbasis web, pengguna hanya perlu browser untuk mengakses dan mengelola sistemnya. Selain itu, Node-RED mendukung banyak protokol dan layanan, seperti MQTT, HTTP, database, hingga platform pihak ketiga seperti ThingSpeak atau Telegram. Dengan kemudahan dan dukungan yang luas, Node-RED menjadi pilihan populer dalam membangun sistem monitoring dan kontrol yang terhubung ke internet.

B. Definisi Oprasional

Sistem kontrol dan monitoring dalam konteks ini didefinisikan sebagai suatu mekanisme yang digunakan untuk mengendalikan dan mengawasi pencahayaan *floodlight apron* di bandara secara manual maupun otomatis. Sistem kontrol berfungsi untuk mengatur nyala dan padamnya lampu *apron*, baik secara langsung oleh operator maupun melalui sensor dan pemrograman yang bekerja berdasarkan parameter tertentu. Sistem monitoring berfungsi untuk memantau kondisi lampu *apron* secara *real-time*, baik secara lokal melalui panel kontrol maupun jarak jauh menggunakan jaringan komunikasi *Wifi*, GSM, dan HC-12, yang memungkinkan pengelola bandara mengakses data pencahayaan melalui aplikasi berbasis IoT.

Komponen utama dalam sistem ini meliputi sensor untuk mendeteksi kondisi pencahayaan lingkungan, mikrokontroler untuk pemrosesan data dan pengendalian perangkat, aktuator seperti *relay* dan motor untuk menjalankan perintah kontrol, serta antarmuka pengguna berupa HMI, atau aplikasi IoT yang menampilkan data monitoring dan memberikan akses kendali kepada operator. Dalam implementasinya, sistem ini memungkinkan otomatisasi pencahayaan *floodlight apron*, pemantauan arus serta status lampu secara *real-time*, dan deteksi gangguan dengan peringatan dini bagi teknisi. Efektivitas sistem ini diukur berdasarkan kemampuan dalam mengoptimalkan pencahayaan *apron* sesuai kebutuhan operasional bandara, meningkatkan efisiensi energi, serta memastikan keandalan dan responsivitas terhadap gangguan yang dapat mengganggu operasional penerbangan.

C. Study Literature

Dalam penulisan ini ada literatur sebelumnya yang dapat mendukung penelitian dalam penyusunan. Adapun studi literatur

1. Megansa, dkk. (2023) melakukan penelitian mengenai perencanaan remote control dan monitoring *apron floodlight* berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai - Bali. Dalam penelitian ini, sistem pencahayaan *apron* yang sebelumnya hanya dikendalikan menggunakan *timer* kini dapat dipantau dan dikontrol

dari jarak jauh melalui komputer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem PLC meningkatkan efisiensi perawatan dan respons terhadap gangguan pencahayaan di *apron*

2. Saputra, dkk. (2019) melakukan penelitian mengenai rancang bangun prototipe kontrol dan monitoring *floodlight* secara parsial dan terintegrasi berbasis mikrokontroler. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi dengan menerapkan sistem kontrol berbasis Arduino Mega 2560 R3 yang memungkinkan pengaturan dan pemantauan pencahayaan secara otomatis. Dengan penggunaan sensor tegangan dan infrared, sistem ini mampu mendeteksi keberadaan pesawat di parking stand dan hanya menyalakan lampu di area yang diperlukan, sehingga dapat mengurangi pemborosan energi.
3. Fauzan, dkk. (2021) mengembangkan sistem kontrol *apron floodlight* berbasis mikrokontroler via Telegram di Bandara Internasional Indonesia. Sistem ini menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali utama yang terhubung dengan smartphone melalui aplikasi Telegram. Teknologi ini memungkinkan teknisi untuk menyalakan dan mematikan lampu *apron* secara jarak jauh tanpa harus mendatangi lokasi fisik lampu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Telegram sebagai media kontrol meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan *apron floodlight*.
4. Mubarak, dkk. (2022) mengembangkan sistem kontrol dan monitoring *apron floodlight* berbasis mikrokontroler dengan modul dimmer di Bandar Udara Husein Sastranegara. Sistem ini menggunakan Arduino Mega 2560, Wemos D1 Mini Pro, dan modul dimmer yang memungkinkan teknisi mengontrol intensitas cahaya serta memantau kondisi lampu secara jarak jauh melalui aplikasi Blynk di smartphone. Teknologi ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi kebutuhan tenaga teknisi yang terbatas.
5. Fernando, dkk. (2019) mengembangkan sistem kontrol dan monitoring Runway Threshold Identifier Light (RTIL) berbasis mikrokontroler di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai - Bali. Sistem ini menggantikan komunikasi kabel LAN STP Outdoor dengan komunikasi *wireless*

berbasis HC-12, yang memungkinkan teknisi untuk mengontrol dan memonitor RTIL dari jarak jauh tanpa harus turun ke lapangan. Sistem ini juga menggunakan sensor arus ACS712 untuk mendeteksi kondisi operasional lampu, serta HMI berbasis Visual Basic untuk menampilkan status pencahayaan di komputer.

6. Mutho'simah, dkk. (2020) mengembangkan kontrol dan monitoring *apron floodlight* berbasis mikrokontroler Raspberry di Bandar Udara Tjilik Riwut Palangkaraya. Sistem ini dirancang untuk menggantikan metode perawatan manual dengan sistem otomatis berbasis Android. Dengan menggunakan Raspberry Pi sebagai pusat pengolahan data, sistem ini memungkinkan kontrol dan monitoring jarak jauh melalui koneksi Bluetooth dan aplikasi Android. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi sistem ini dapat meningkatkan efisiensi perawatan dan mengurangi waktu respon dalam menangani kerusakan.

D. Kerangka Berfikir

Pengelolaan sistem penerangan *floodlight apron* di bandara memiliki peran yang sangat penting dalam menunjang operasional penerbangan, terutama pada malam hari atau dalam kondisi pencahayaan rendah. Penerangan *apron* harus memenuhi standar keselamatan dan operasional sesuai dengan regulasi ICAO Annex 14 serta Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia agar mendukung aktivitas pesawat saat parkir, pengisian bahan bakar, serta proses naik dan turun penumpang. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan dan pengendalian yang dapat memastikan penerangan *apron* bekerja secara optimal, efisien, dan mampu beradaptasi terhadap perubahan kondisi di lapangan.

Dalam perkembangannya, sistem pemantauan dan pengendalian otomatis telah banyak diterapkan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam berbagai sektor, termasuk di lingkungan bandara. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah dengan menerapkan sistem berbasis sensor yang mampu mendeteksi kondisi pencahayaan, arus listrik pada lampu *floodlight apron*. Dengan adanya sensor dapat mendeteksi dini terhadap gangguan atau

kegagalan pada sistem penerangan, sehingga dapat segera dilakukan tindakan perbaikan atau penyesuaian.

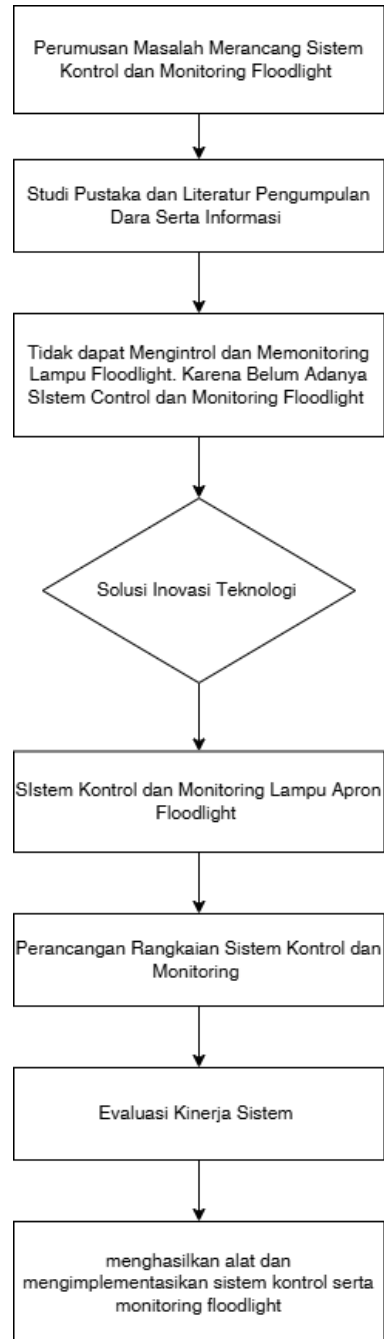
Data yang diperoleh dari berbagai sensor ini kemudian diproses oleh mikrokontroler, yang berfungsi sebagai unit utama dalam sistem pengendalian. Mikrokontroler akan mengolah informasi yang diterima dan mengaktifkan atau menonaktifkan lampu *floodlight apron* sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Untuk memastikan komunikasi yang efisien antara unit pemantauan di lapangan dan pusat kontrol, digunakan modul komunikasi nirkabel yang mampu mentransmisikan data dalam jarak tertentu tanpa memerlukan instalasi kabel tambahan. Hal ini tidak hanya mengurangi biaya pemasangan, tetapi juga meningkatkan fleksibilitas dalam proses implementasi dan pemeliharaan sistem.

Selain aspek pemantauan dan pengendalian, kelangsungan operasional sistem penerangan *apron* juga sangat bergantung pada pasokan listrik tegangan menengah yang tersedia di bandara. Sistem penerangan ini memerlukan daya yang stabil agar dapat berfungsi dengan baik tanpa mengalami pemadaman yang dapat mengganggu operasional penerbangan. Oleh karena itu, bandara umumnya dilengkapi dengan sumber daya cadangan, seperti UPS (Uninterruptible *Power supply*) dan genset, untuk memastikan bahwa penerangan *apron* tetap beroperasi dalam berbagai kondisi, termasuk saat terjadi gangguan pada jaringan listrik utama.

Setelah sistem ini dirancang dan dikembangkan, dilakukan pengujian dan evaluasi kinerja guna memastikan keandalannya dalam berbagai kondisi operasional. Pengujian dilakukan untuk menilai respons sistem dalam mendeteksi perubahan pencahayaan, ketepatan dalam mengontrol *floodlight apron*, serta keandalan komunikasi data antara unit pemantauan dan pusat kontrol. Hasil dari pengujian ini akan menjadi dasar dalam menentukan efektivitas sistem serta potensi peningkatan yang diperlukan sebelum diterapkan dalam skala yang lebih luas.

Dengan adanya sistem pemantauan dan pengendalian penerangan *apron* yang lebih efisien, diharapkan operasional penerbangan dapat semakin optimal.

Sistem ini tidak hanya membantu dalam meningkatkan keselamatan dan kenyamanan bagi pilot serta kru pesawat, tetapi juga berkontribusi dalam pengelolaan energi yang lebih hemat dan berkelanjutan di lingkungan bandara.



Gambar II. 15 Flowchart Kerangka Berfikir
Sumber : Penulis

BAB III

METODOLOGI PERANCANGAN

A. Metodologi Perancangan

Dalam penelitian ini, pengembangan sistem kontrol dan monitoring *floodlight* berbasis mikrokontroler menggunakan model ADDIE, yang terdiri dari lima tahapan utama: *Analysis* (analisis kebutuhan dan permasalahan), *Design* (perancangan konsep dan strategi pengembangan), *Development* (pembuatan serta pengujian awal produk), *Implementation* (penerapan atau uji coba dalam kondisi nyata), serta *Evaluation* (penilaian efektivitas dan penyempurnaan produk)(Sugihartini & Yudiana, 2018). Tahapan ini dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan dapat berfungsi dengan optimal, efisien dalam penggunaan energi, serta mampu diintegrasikan dengan teknologi lain. Model ADDIE memberikan pendekatan yang terstruktur dalam pengembangan teknologi berbasis mikrokontroler, sehingga hasil akhirnya dapat memberikan manfaat yang maksimal bagi pengguna.

Berikut ini merupakan prosedur pengembangan dari metode ADDIE :

1. Analysis (Analisis)

Tahapan ini bertujuan untuk mengenali permasalahan pada sistem kontrol dan monitoring *floodlight* apron. Proses analisis dilakukan melalui studi literatur untuk menentukan kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, dan fitur sistem IoT yang akan dibangun. Selain itu, tantangan dalam sistem pencahayaan apron saat ini turut diidentifikasi guna mencari solusi yang lebih efektif dan efisien melalui penerapan teknologi IoT. Analisis juga mencakup pengambilan data komponen yang digunakan, spesifikasi komponen, layout apron, kapasitas lampu pada setiap tiang, serta merancang kapasitas panel.

2. Design

Setelah analisis dilakukan, tahap ini berfokus pada perancangan prototipe sistem. Desain dibuat menggunakan EasyEDA dan autocat untuk menggambarkan alur kerja sistem secara terstruktur. Skema rangkaian elektronik juga dirancang untuk memastikan bahwa komponen seperti Arduino Mega 2560, ESP32, HC-12, sensor ACS712, serta *relay* dan kontaktor dapat berfungsi dengan baik dan saling terhubung secara optimal. Selain itu, sistem antarmuka pengguna juga dirancang agar mudah digunakan oleh teknisi melalui pemantauan berbasis IoT.

3. Development

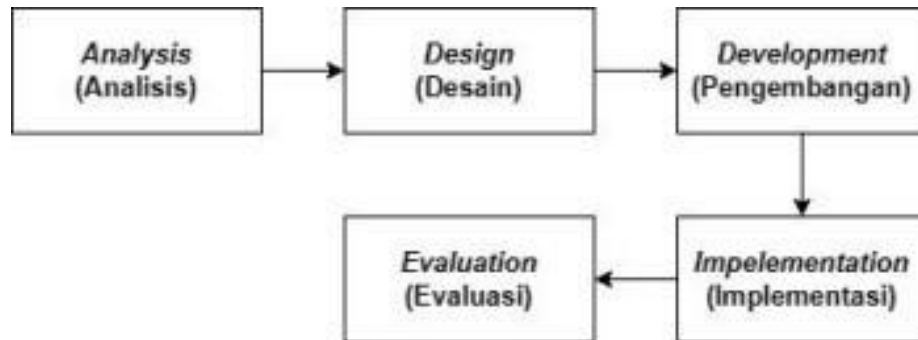
Pada tahap ini, sistem mulai dikembangkan dengan pemodelan menggunakan *Autocat* untuk merancang skema rangkaian elektronik. Pertama pembuatan perangkat keras Pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE untuk mengontrol perangkat seperti Arduino Mega 2560 sebagai pusat pemrosesan, ESP32 untuk komunikasi berbasis *Wifi*, serta HC-12 untuk komunikasi jarak jauh. Selain itu, sensor ACS712 digunakan untuk memantau konsumsi daya *floodlight*. Integrasi dengan HMI dilakukan untuk memungkinkan pemantauan data secara *real-time*, sehingga teknisi dapat memantau kondisi *floodlight* dari jarak jauh secara efisien.

4. Implementation

Implementasi dilakukan dengan menguji prototipe dalam lingkungan simulasi guna memastikan setiap komponen berfungsi sesuai desain. Pengujian mencakup komunikasi data antar perangkat, pengoperasian *floodlight* secara manual dan otomatis, serta pemantauan kondisi pencahayaan melalui HMI. Selain itu, sistem diuji dengan berbagai skenario operasional seperti gangguan daya, variasi intensitas cahaya, dan koneksi jaringan untuk melihat respons serta keandalan sistem dalam berbagai kondisi. Hasil dari implementasi ini menjadi dasar untuk melakukan perbaikan atau penyempurnaan sebelum sistem diterapkan di lingkungan bandara yang sebenarnya.

5. Evaluation

Tahap akhir ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan. Uji coba dilakukan untuk mengukur efektivitas dan efisiensi sistem dalam mendeteksi kondisi pencahayaan, mengontrol *floodlight*, serta mengirimkan data pemantauan ke platform IoT. Data yang diperoleh dianalisis guna menentukan apakah sistem telah berfungsi sesuai dengan desain yang direncanakan atau masih memerlukan perbaikan. Jika ditemukan kekurangan, dilakukan optimasi pada perangkat keras, perangkat lunak, atau sistem komunikasi. Evaluasi ini memastikan bahwa sistem yang dikembangkan dapat meningkatkan efisiensi operasional, mempercepat respons terhadap gangguan, serta mempermudah pemantauan dan pengendalian *floodlight apron* di bandara.



Gambar III. 1 Prosedur Pengembangan Metodologi ADDIE
Sumber : Penulis

B. Waktu dan Lokasi Perancangan

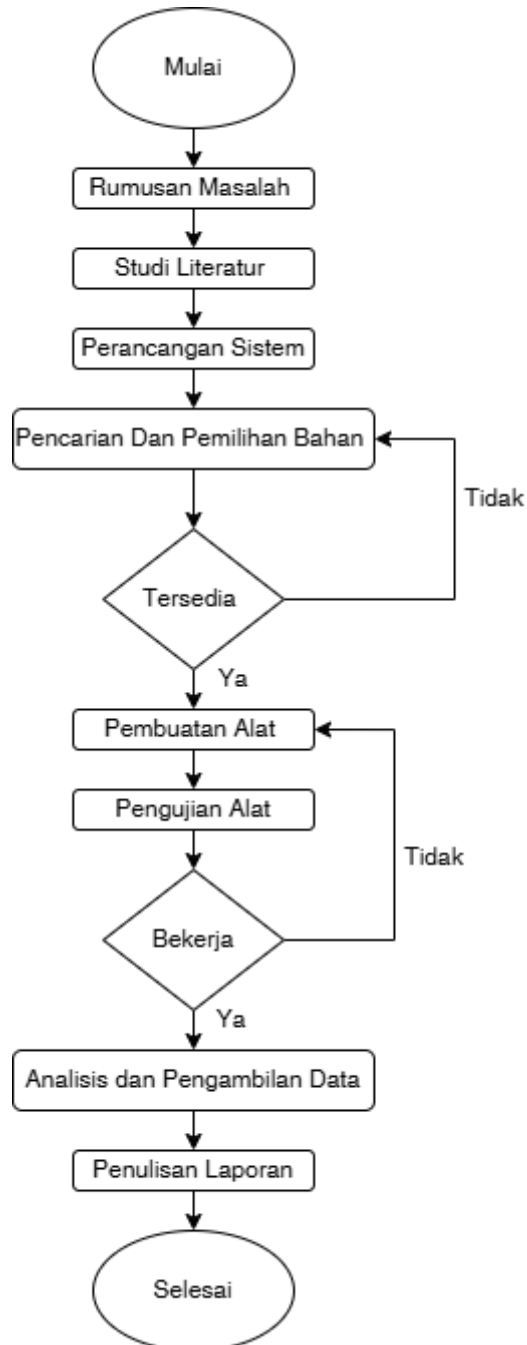
Dalam pelaksanaan pembuatan rancangan simulasi alat ini, waktu yang diperlukan penulis untuk membuat rancangan alat ini dimulai dari bulan Januari 2025 hingga bulan Juli 2025. Adapun lokasi dari perancangan alat ini, penulis dalam mendesain, rancangan, pemilihan bahan, dan perakitan alat tersebut di Asrama Politeknik Penerbangan Indonesia Curug Tangerang. Berikut ini tabel jadwal perancangan hingga penulisan tugas akhir.

Tabel III. 1 Waktu Pelaksanaan Penelitian
Sumber : Penulis

No	Kegiatan	Bulan							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Identifikasi masalah								
2	Konsultasi judul tugas akhir								
3	Penyusunan proposal tugas akhir								
4	Penyerahan proposal tugas akhir								
5	Seminar proposal tugas akhir								
6	Revisi proposal tugas akhir								
7	Pengumpulan data								
8	Analisis dan pengolahan data								
9	Pelaksanaan simulasi								
10	Penulisan tugas akhir								
11	Bimbingan tugas akhir								
12	Sidang tugas akhir								
13	Revisi tugas akhir								
14	Tugas akhir								

C. Tahapan Perancangan Sistem

1. Flowchart Perancangan



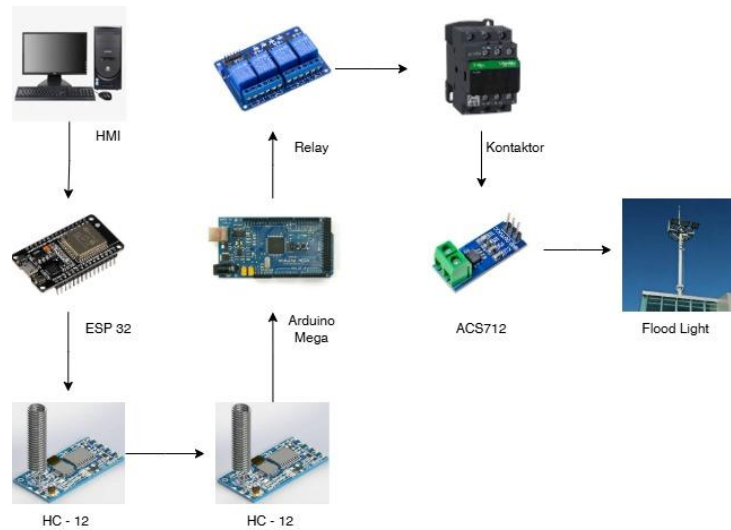
Gambar III. 2 Flowchart Perancangan
Sumber : Penulis

2. Deskripsi Alat

Rancang bangun sistem kontrol dan monitoring *floodlight apron* ini menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai pusat pemrosesan data dan dikendalikan melalui sistem pemrograman pengawasan secara *real-time*. Sistem ini diberi tegangan melalui *Power supply* 5 Volt DC dan menerima catu daya utama dari sumber listrik 220 VAC melalui *Apron Distribution Panel* (ADP). Sistem ini terdiri dari dua rangkaian utama, yaitu rangkaian transmitter dan receiver. Rangkaian kontrol lampu *floodlight* berfungsi untuk mengendalikan nyala dan mati lampu *floodlight apron* secara otomatis maupun manual. Arduino Mega 2560 digunakan sebagai pengolah sinyal input dan pemrosesan perintah, sementara *Relay* 4 Channel berperan sebagai saklar elektronik untuk mengontrol aliran listrik ke lampu *floodlight*.

Selanjutnya, rangkaian monitoring berfungsi untuk memantau status arus dan konsumsi daya *floodlight apron*. Sensor Arus ACS712 digunakan untuk membaca nilai arus listrik dari lampu *floodlight*, yang kemudian diolah oleh Arduino Mega 2560. Data hasil pengolahan dikirimkan melalui modul komunikasi HC-12 untuk pemantauan kondisi lampu secara jarak jauh. Rangkaian receiver dan tampilan data berfungsi sebagai penerima informasi dan menampilkan hasil monitoring lampu *floodlight*. Mikrokontroler ESP32 digunakan untuk menerima data dari HC-12 receiver dan mengirimkannya ke HMI melalui koneksi *Wifi*. Selain itu, informasi status lampu ditampilkan pada aplikasi IoT, sehingga teknisi dapat melakukan pemantauan secara *real-time*. Dengan rancangan ini, teknisi dapat memantau kondisi lampu *floodlight apron* dari jarak jauh, mengurangi waktu inspeksi manual, serta meningkatkan efisiensi dan respons terhadap kegagalan pencahayaan di *apron* bandara.

3. Cara Kerja Alat



Gambar III. 3 Cara Kerja Alat
Sumber : Penulis

1. Operator menyalakan atau mematikan *floodlight* dari HMI.
2. ESP32 membaca input dari HMI dan mengirimkan perintah ke Arduino Mega melalui HC-12.
3. HC-12 *transmitter* mengirim data yang diperintahkan dari ESP32 ke HC-12 Receiver dan diterima oleh Arduino Mega.
4. Arduino Mega mengontrol *relay* untuk mengaktifkan atau mematikan kontaktor yang menghubungkan daya ke *floodlight*.
5. *Floodlight* menyala atau mati berdasarkan kontrol dari sistem.
6. Sensor ACS712 mendeteksi arus listrik untuk memastikan *floodlight* berfungsi dengan baik.
7. Data dari sensor dikirim ke ESP32, lalu diteruskan ke HMI untuk pemantauan *real-time*.
8. Operator dapat melihat kondisi *floodlight* melalui HMI untuk memastikan tidak ada kegagalan fungsi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembahasan

1. Sistem Rancangan

Bab ini membahas sistem kontrol dan monitoring *floodlight apron* berbasis mikrokontroler. Sistem ini menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mempercepat respons terhadap gangguan. Sistem ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu unit kontrol yang menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai pusat pengolahan data, unit pemantauan yang dilengkapi sensor arus ACS712, serta unit komunikasi yang memanfaatkan modul HC-12 dan ESP32 untuk pengiriman data secara nirkabel menuju HMI.

Cara kerja sistem dimulai dari operator untuk menyalakan atau mematikan *floodlight* dari HMI. Perintah dikirim dari ESP32 ke Arduino Mega melalui HC-12, lalu Arduino mengaktifkan *relay* dan kontaktor. Sensor ACS712 dan LDR memantau kondisi listrik dan cahaya, lalu mengirimkan data ke ESP32 untuk diteruskan ke HMI. Operator dapat memantau status sistem secara *real-time* melalui dashboard IoT.

2. Tahap Pembuatan Rancang Bangun Kontrol dan Monitoring *Floodlight* Berbasis Mikrokontroler

Prototipe yang dikembangkan dirancang dengan pendekatan fungsional dan efisien, menggabungkan kemampuan kontrol dan monitoring dalam satu sistem terintegrasi. Perangkat ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu rangkaian kontrol yang berfungsi untuk mengatur nyala dan mati *floodlight*, rangkaian sensor untuk memantau arus listrik, intensitas cahaya, dan rangkaian penerima data yang memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui koneksi nirkabel. Dengan struktur sistem yang cerdas dan terorganisir, prototipe ini diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pengawasan pencahayaan *apron* secara *real-time*.

a. Potensi dan Masalah

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring dan pengendalian *floodlight apron* berbasis *Internet of Things* (IoT) guna meningkatkan efisiensi pemantauan dan pengoperasian pencahayaan di area *apron* bandara. Sistem ini menawarkan potensi besar dalam membantu teknisi memantau kondisi *floodlight* secara *real-time* dan jarak jauh, mengingat lokasi lampu yang tersebar luas dan jauh dari ruang kontrol utama.

Permasalahan yang sering terjadi adalah keterlambatan dalam mendeteksi lampu yang mati atau bermasalah, yang dapat mengganggu keselamatan operasional malam hari. Selain itu, inspeksi manual yang dilakukan setiap hari membutuhkan waktu dan tenaga. Dengan sistem ini, gangguan dapat segera terdeteksi dan ditangani, serta proses perawatan menjadi lebih efisien karena teknisi dapat langsung fokus pada titik yang bermasalah.

b. Mengumpulkan Informasi.

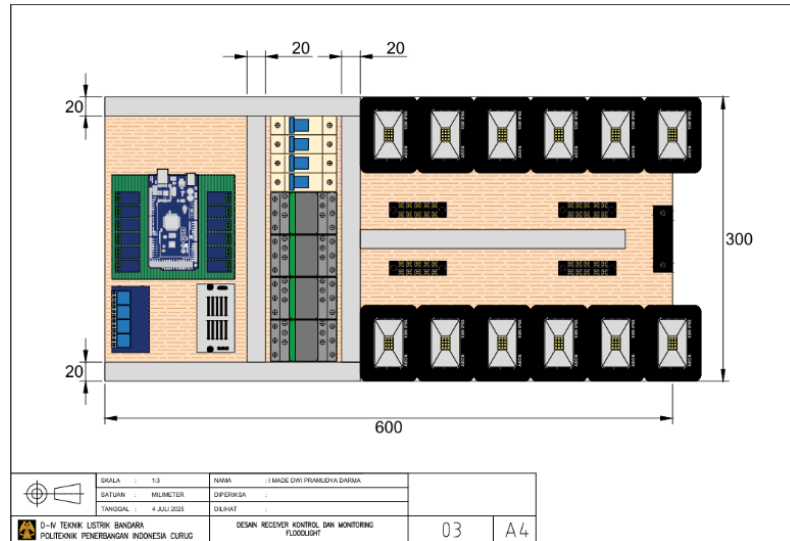
Pencarian informasi dalam proses rancang bangun sistem kontrol dan monitoring *floodlight* berbasis mikrokontroler dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu studi literatur, analisis *Datasheet* komponen, penelaahan regulasi, dan observasi komponen yang akan digunakan. Studi literatur mencakup buku, jurnal, dan referensi daring mengenai mikrokontroler seperti ESP32 dan Arduino Mega, penggunaan modul komunikasi nirkabel HC-12, serta implementasi IoT. Analisis *Datasheet* dilakukan untuk memahami karakteristik teknis komponen seperti sensor arus ACS712, modul relay, dan modul HC-12, guna memastikan kesesuaian pada sistem yang dirancang. Selain itu, penelaahan terhadap standar nasional dan regulasi seperti SNI, Permen ESDM, serta KP 608 Tahun 2015 dan SKEP/157/IX/2003 memberikan landasan hukum dan teknis terkait sistem pencahayaan di area bandara.

Pada area *apron* bandara, sistem penerangan umumnya terdiri dari banyak tiang *floodlight* yang dilengkapi lampu berdaya besar untuk memenuhi standar pencahayaan operasional. Beban listrik yang tinggi,

jarak antar tiang yang relatif jauh, dan sistem kontrol manual sering menjadi tantangan dalam hal efisiensi pengoperasian, fleksibilitas, serta monitoring kondisi lampu secara real-time. Untuk menjawab tantangan tersebut, dirancang sebuah prototipe sistem kontrol dan monitoring berbasis mikrokontroler yang mensimulasikan kondisi nyata, namun menggunakan lampu LED 10 W sebagai beban agar sistem dapat dijalankan dalam bentuk prototipe dengan kebutuhan daya yang minimal. Prototipe ini menggunakan sensor arus ACS712 untuk memantau konsumsi daya, modul relay 4 channel untuk mengendalikan nyala lampu, Arduino Mega 2560 sebagai pengendali utama dengan banyak pin input analog, ESP32 sebagai modul IoT untuk konektivitas internet, serta HC-12 sebagai sarana komunikasi nirkabel jarak jauh antar modul. Dengan rancangan ini, sistem prototipe tetap merepresentasikan prinsip kerja dan fungsi seperti pada sistem sebenarnya di apron bandara.

1) Desain Bentuk Prototipe Kontrol dan Momitoring *Floodlight*.

Desain prototipe kontrol dan monitoring *floodlight* ini dirancang untuk mengendalikan dan memantau kinerja lampu apron bandara secara real-time. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 pada sisi kontrol yang terhubung dengan HMI untuk menyalakan atau mematikan lampu melalui modul *relay* dan kontaktor. Selain itu, ESP32 mengirimkan status perintah nyala atau mati ke unit monitoring menggunakan modul komunikasi nirkabel HC-12, sehingga perintah dapat diteruskan dengan cepat dan efisien.

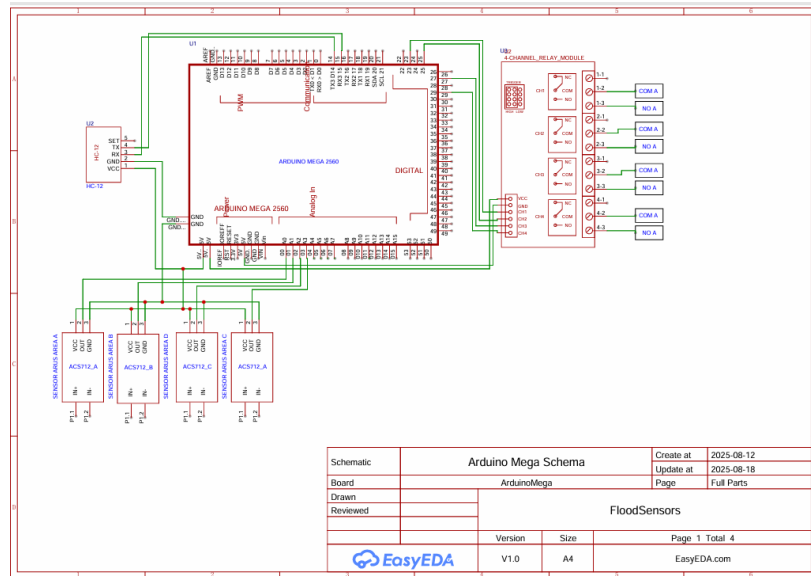


Gambar IV. 1 Desain Prototipe
Sumber : Penulis

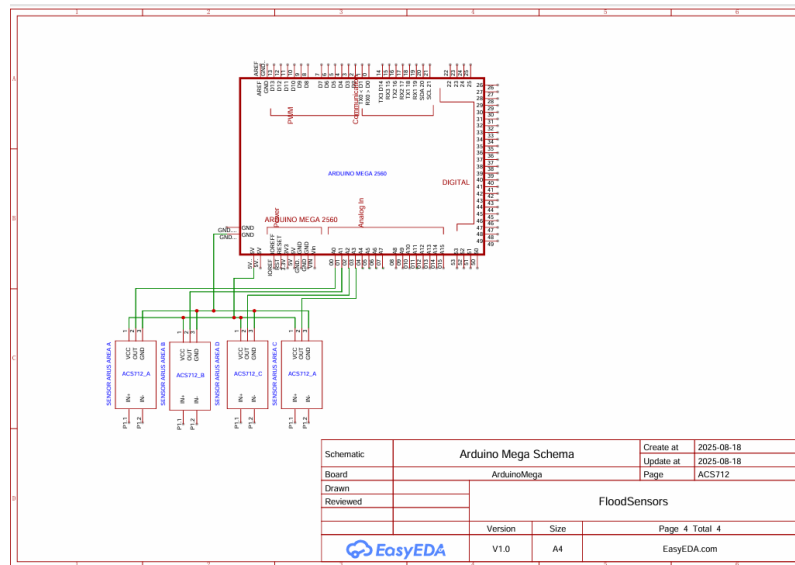
Pada sisi monitoring, Arduino Mega 2560 digunakan untuk membaca arus listrik dari lampu melalui sensor ACS712 sebagai indikator apakah lampu benar-benar menyala. Data hasil pembacaan ini dikirim ke ESP32 monitoring melalui komunikasi serial, lalu diteruskan ke HMI menggunakan koneksi *Wifi* untuk ditampilkan secara real-time. Dengan sistem ini, pemantauan kondisi lampu dapat dilakukan dari jarak jauh, sekaligus menjaga keandalan operasional penerangan apron bandara.

2) Sistem Rangkaian Prototipe Kontrol Dan Monitoring *Floodlight*.

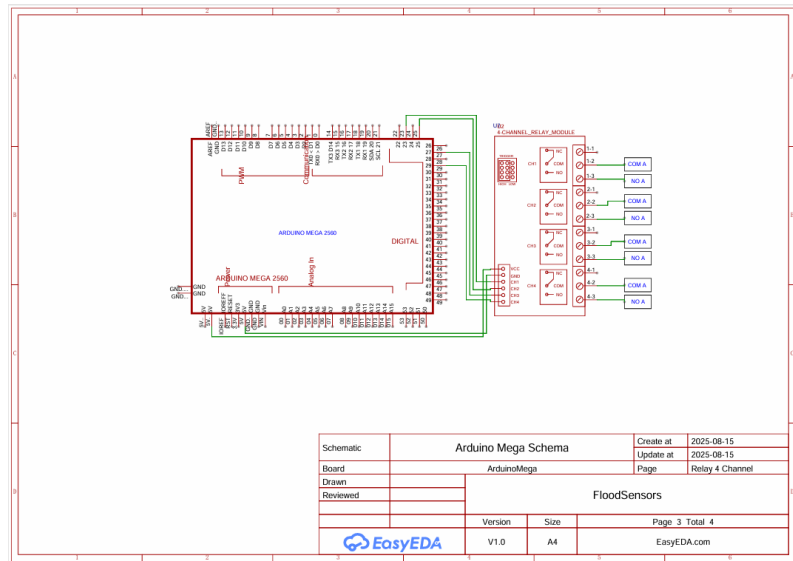
Sistem rangkaian prototipe kontrol dan monitoring *floodlight* ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu unit pengirim (transmitter) dan unit penerima (receiver), yang saling terhubung melalui modul komunikasi nirkabel HC-12. Pada unit pengirim digunakan mikrokontroler ESP32 sebagai input kontrol. Saat salah satu tombol ditekan, ESP32 akan mengirimkan perintah kontrol melalui HC-12 menuju unit penerima. Unit penerima menggunakan Arduino Mega yang menerima sinyal tersebut dan mengaktifkan modul *relay* untuk menyalakan atau mematikan lampu *floodlight* sesuai dengan perintah yang diterima.



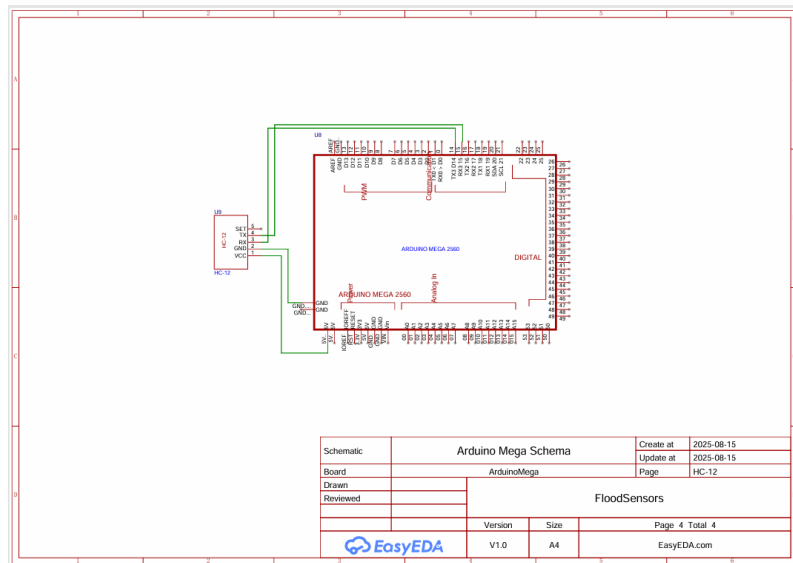
Gambar IV. 2 Rangkaian Keseluruhan Prototipe
Sumber : Penulis



Gambar IV. 3 Rangkaian Sensor Arus ACS712
Sumber : Penulis



Gambar IV. 4 Rangkaian Relay
Sumber : Penulis

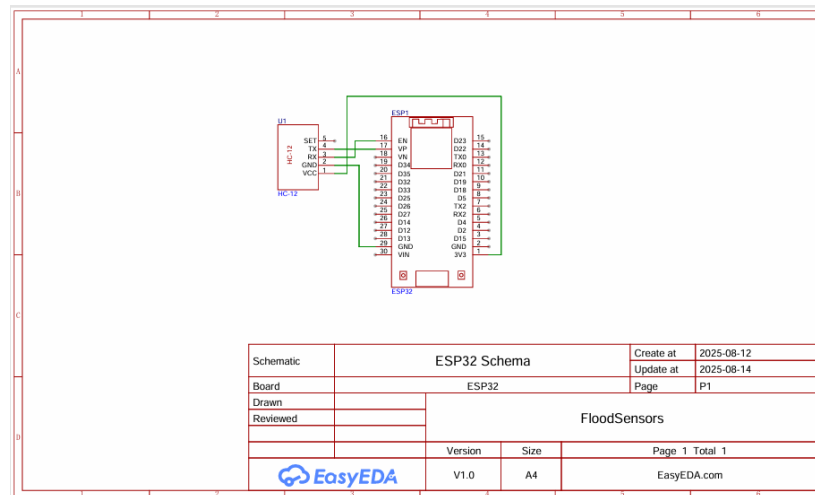


Gambar IV. 5 Rangkaian HC-12
Sumber : Penulis

Selain fungsi kontrol, Arduino Mega juga berfungsi untuk memantau arus listrik dengan menggunakan sensor arus ACS712 yang terpasang pada setiap jalur *floodlight*. Nilai arus yang dibaca oleh sensor dikirimkan kembali ke ESP32 melalui HC-12. Setelah menerima data tersebut, ESP32 mengirimkannya ke HMI melalui koneksi Wi-Fi bawaan. Dengan sistem ini, pengguna dapat

mengontrol *floodlight* secara manual melalui tombol dan secara bersamaan memantau kondisi arus listrik secara *real-time* dari jarak jauh. Rangkaian ini dirancang untuk mendukung efisiensi dan meningkatkan keamanan operasional pencahayaan *apron* di lingkungan bandara.

3) Sistem Rangkaian Transmitter Kontrol dan Monitoring *Floodlight*.



Gambar IV. 6 Rangkaian Transmitter Prototipe
Sumber : Penulis

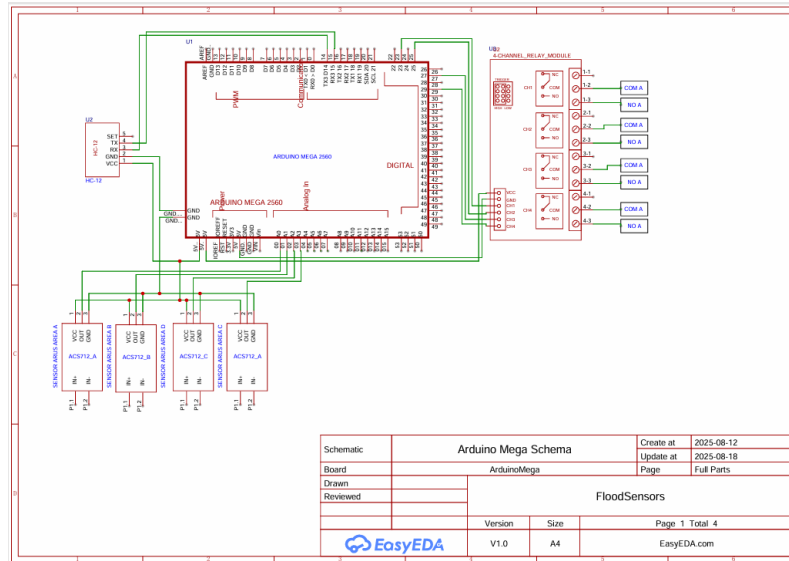
Sistem rangkaian transmitter pada prototipe kontrol dan monitoring *floodlight* berfungsi sebagai pusat pengirim perintah dan penerima data monitoring secara nirkabel. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai inti sistem karena mendukung koneksi Wi-Fi dan komunikasi serial. Beberapa push button terhubung ke ESP32 sebagai input untuk mengontrol nyala dan mati *floodlight*. Saat tombol ditekan, perintah dikirim melalui modul HC-12 ke unit penerima (Arduino Mega). Selain itu, ESP32 juga menerima data arus listrik dari sensor ACS712 yang dikirim kembali oleh receiver melalui HC-12. Data ini kemudian dikirim ke ThingSpeak untuk pemantauan jarak jauh secara *real-time*. Dengan fungsi ganda sebagai pengendali dan pemantau, rangkaian transmitter ini memungkinkan kontrol dan monitoring *floodlight* yang efisien dan terintegrasi berbasis IoT.

Tabel IV. 1 pin Sambungan Rangkaian Receiver
Sumber : (Penulis, 2025)

Pin Arduino Mega	Pin Relay	Pin HC – 12	Pin ACS712
3V3		VCC	
5V			VCC
VIN	VCC		
GND	GND	GND	GND
A0			OUT ACS 1
A1			OUT ACS 2
A2			OUT ACS 3
A3			OUT ACS 4
A4			OUT ACS 5
A5			OUT ACS 6
A6			OUT ACS 7
A7			OUT ACS 8
A8			OUT ACS 9
A9			OUT ACS 10
A10			OUT ACS 11
A11			OUT ACS 12
2	IN 1		
3	IN 2		
4	IN 3		
5	IN 4		
10		TXD	
11		RXD	

4) Sistem Rangkaian Receiver Kontrol dan Monitoring *Floodlight*.

Sistem rangkaian receiver pada prototipe kontrol dan monitoring *floodlight* berperan sebagai penerima perintah dari unit transmitter sekaligus sebagai unit pemantauan beban. Komponen utama dalam rangkaian ini adalah mikrokontroler Arduino Mega, yang menerima sinyal serial dari ESP32 melalui modul komunikasi HC-12. Ketika menerima perintah, Arduino Mega akan mengaktifkan atau menonaktifkan modul *relay*, yang terhubung ke masing-masing *floodlight* untuk mengatur kondisi *ON* atau *OFF*.



Gambar IV. 7 Rangkaian Receiver Prototipe
Sumber : Penulis

Selain itu, Arduino Mega juga terhubung dengan beberapa sensor arus ACS712 yang berfungsi membaca nilai arus listrik pada tiap jalur beban *floodlight*. Data arus tersebut kemudian dikirim kembali ke ESP32 melalui HC-12 untuk selanjutnya diteruskan ke platform monitoring ThingSpeak. Dengan sistem ini, unit receiver tidak hanya menjalankan fungsi aktuator melalui *relay*, tetapi juga menjadi unit monitoring yang memberikan data *real-time* mengenai konsumsi arus. Rangkaian ini dirancang untuk bekerja secara andal dan responsif dalam sistem kontrol pencahayaan berbasis mikrokontroler yang efisien dan terintegrasi.

Tabel IV. 2 pin Sambungan Rangkaian Transmitter
Sumber : (Penulis, 2025)

Pin ESP32	Pin HC – 12
3V3	VCC
GND	GND
16	TXD
17	RXD

c. Implementasi Desain

1) Perakitan Perangkat Keras Rangkaian Kontrol dan Monitoring

Floodlight.

Perakitan perangkat keras pada sistem kontrol dan monitoring *floodlight* dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen elektronik utama ke dalam satu kesatuan sistem yang saling terhubung dan bekerja sesuai fungsinya. Proses perakitan diawali dengan menyusun dua bagian utama, yaitu unit transmitter dan unit receiver. Pada unit transmitter digunakan ESP32 sebagai input kontrol, serta dihubungkan ke modul komunikasi HC-12 untuk mengirimkan data secara nirkabel. ESP32 juga dikonfigurasi agar dapat terhubung ke jaringan Wi-Fi, sehingga dapat mengirimkan data monitoring ke HMI secara *real-time*.

Sementara itu, pada unit receiver digunakan Arduino Mega yang berfungsi menerima data dari HC-12 dan mengontrol beban melalui modul *relay* yang terhubung ke masing-masing *floodlight*. Setiap jalur beban juga dilengkapi dengan sensor arus ACS712 yang dipasang secara seri untuk membaca konsumsi arus secara aktual. Semua rangkaian disusun menggunakan breadboard atau PCB sementara dengan penataan yang rapi untuk memudahkan proses pengujian dan pemrograman. Untuk menjaga kestabilan sistem, digunakan catu daya terpisah, yaitu adaptor 5V untuk ESP32 dan Arduino, serta sumber AC 220V untuk lampu *floodlight*. Dengan perakitan ini, sistem dapat berfungsi optimal dalam melakukan kontrol dan pemantauan *floodlight* secara otomatis, nirkabel, dan terintegrasi melalui teknologi IoT.

Berikut adalah tahapan dalam merakit perangkat keras prototipe :

- a) Langkah pertama adalah merakit komponen receiver pada papan yang sudah berisikan Arduino Mega 2560, sensor arus

ACS712, modul *relay*, modul komunikasi HC-12, serta *power supply*.



Gambar IV. 8 Perakitan perangkat Receiver Prototipe
Sumber : Penulis

- b) Langkah kedua dilakukan dengan merakit lampu AEON 10W IP66, yaitu menyambungkan kabel daya ke terminal lampu, lalu menghubungkannya ke terminal block agar siap disalurkan ke sumber listrik.



Gambar IV. 9 Perakitan Lampu Prototipe
Sumber : Penulis

- c) Langkah ketiga adalah merakit kontaktor Schneider dan MCB CHNT padaudukan DIN rail, kemudian di pasang ke papan.



Gambar IV. 10 Perakitan Kontaktor dan MCB
Sumber : Penulis

- d) Langkah keempat dilakukan dengan memasang kontaktor dan MCB ke jalur lampu, menyambungkan output kontaktor ke terminal block yang terhubung dengan lampu, lalu merapikan kabel agar tertata dengan baik.



Gambar IV. 11 Perakitan Kontaktor dan MCB pada papan
Sumber : Penulis

- e) Langkah kelima adalah merakit seluruh lampu di papan, menempatkan lampu sesuai layout, menyambungkan kabelnya ke terminal block, dan menghubungkan terminal tersebut ke jalur daya yang dikontrol oleh kontaktor dan MCB.



Gambar IV. 12 Perakitan Lampu pada papan
Sumber : Penulis

- f) Langkah terakhir adalah memastikan semua komponen terpasang rapi, memeriksa ulang seluruh rangkaian, menyambungkan catu daya, dan melakukan pengujian sistem untuk memastikan setiap lampu dapat menyala sesuai fungsinya.



Gambar IV. 13 Perakitan Lampu pada papan
Sumber : Penulis

- g) Setelah seluruh proses perakitan selesai dan pengujian berhasil dilakukan, perangkat keras dinyatakan siap digunakan sebagai sistem kontrol dan monitoring *floodlight*.

2) Proses Pemrograman Perangkat Lunak

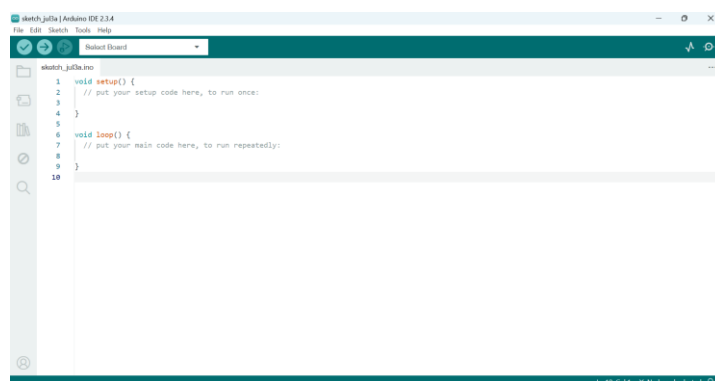
a) Pemrograman Perangkat Transmitter

Arduino adalah platform Integrated Development Environment (IDE) berbasis open-source yang digunakan untuk mengembangkan proyek elektronika interaktif dengan bahasa pemrograman C/C++. Platform ini dirancang agar mudah dioperasikan, terutama dalam pengendalian perangkat input/output (I/O) sederhana, dan dapat digunakan secara mandiri maupun terhubung dengan perangkat lunak lain di komputer.

Dalam prototipe kontrol dan monitoring *floodlight* berbasis mikrokontroler, sistem bekerja ketika mikrokontroler telah diprogram dengan benar. Pemrograman dilakukan pada ESP32 sebagai pusat kendali untuk mengirimkan perintah *ON/OFF* ke lampu melalui tombol input dan komunikasi nirkabel. Proyek ini menggunakan modul ESP32 yang kompatibel dengan Arduino IDE serta mendukung koneksi Wi-Fi dan komunikasi serial dengan modul HC-12.

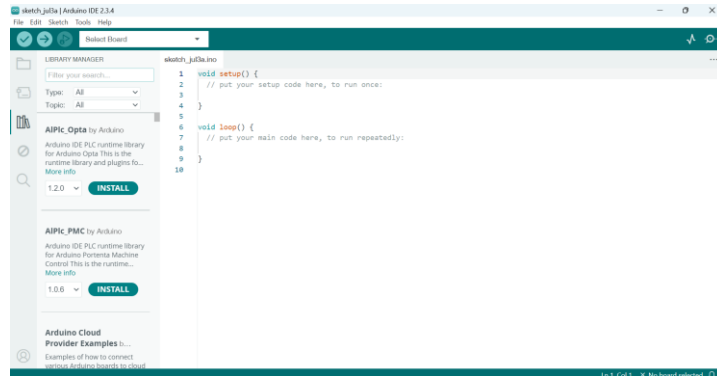
Langkah – langkahnya sebagai berikut:

- (i) Masuk ke aplikasi Arduino IDE dengan membuka menu File dan kemudian pilih New atau tekan di keyboard CTRL + N.



Gambar IV. 14 Program Arduino IDE
Sumber : Penulis

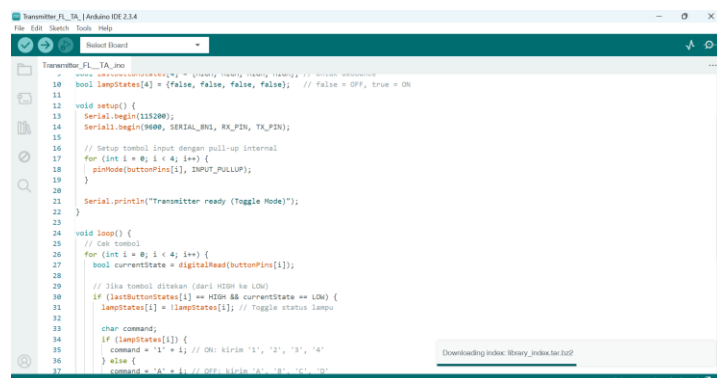
- (ii) Sebelum mulai menulis kode, kita perlu menambahkan *library* yang dibutuhkan. Buka menu *Sketch* dan pilih *Include Library*.



Gambar IV. 15 Program Arduino IDE

Sumber : Penulis

- (iii) Setelah menambahkan *library*, kita dapat mulai menulis program. Program Arduino terdiri dari dua bagian utama yaitu *setup()* dan *loop()*. Fungsi *setup()* digunakan untuk menginisialisasi pin dan pengaturan awal lainnya. Dalam proyek ini, kita mendefinisikan pin *Relay* sebagai *output*. Adapun untuk fungsi *loop()* adalah inti dari program yang akan dijalankan terus – menerus. Pada proyek ini, lampu akan menyala jika *pushbutton* di tekan.



Gambar IV. 16 Program Arduino IDE

Sumber : Penulis

- (iv) Setelah program selesai ditulis, lakukan proses *Compiling* dengan menekan tombol *verify* pada Arduino IDE untuk memastikan tidak ada kesalahan sintaks.
- (v) Jika proses compiling berhasil, hubungkan ESP32 ke

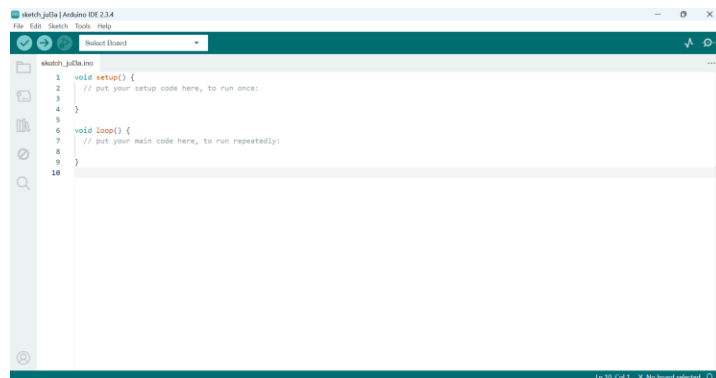
komputer menggunakan kabel USB.

- (vi) Klik tombol Upload pada Arduino IDE untuk mengunggah program ke ESP32.
- (vii) Setelah proses *upload* selesai, pastikan bahwa program berjalan sesuai yang diharapkan. Lampu seharusnya menyala jika tombol pushbutton ditekan.

b) Pemrograman Perangkat *Receiver*

Dalam prototipe kontrol dan monitoring *floodlight*, perangkat receiver berfungsi untuk menerima perintah dari transmitter dan mengontrol nyala *floodlight*. Perintah dikirim dari ESP32 melalui modul komunikasi HC-12, kemudian diterima oleh Arduino Mega sebagai mikrokontroler utama pada bagian receiver. Arduino Mega akan membaca data yang masuk, kemudian mengaktifkan atau menonaktifkan *relay* sesuai dengan perintah yang diterima. Selain itu, Arduino Mega juga terhubung dengan sensor arus ACS712 untuk memantau beban dari setiap lampu *floodlight*. Langkah-langkah pemrograman perangkat receiver adalah sebagai berikut:

- (i) Masuk ke aplikasi Arduino IDE dengan membuka menu *File*, kemudian pilih *New* atau tekan CTRL + N pada keyboard.



Gambar IV. 17 Program Arduino IDE

Sumber : Penulis

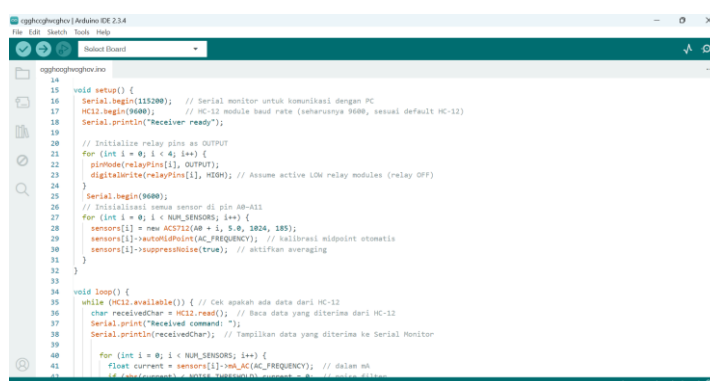
- (ii) Tambahkan *library* jika dibutuhkan, misalnya *SoftwareSerial* jika menggunakan komunikasi serial tambahan, atau *Wire* jika rangkaian dilengkapi dengan sensor .



Gambar IV. 18 Program Arduino IDE
Sumber : Penulis

(iii) Tulis program *receiver*, yang terdiri dari dua bagian utama yaitu *setup()* dan *loop()*.

- Pada bagian *setup()*, inisialisasi dilakukan untuk komunikasi serial, pin-pin *relay* sebagai output, dan pin sensor sebagai input.
- Pada bagian *loop()*, Arduino membaca data yang diterima dari HC-12 melalui port serial, lalu memproses perintah seperti "ON1", "OFF1", dsb. Sesuai data yang diterima, *relay* akan diaktifkan atau dinonaktifkan untuk mengontrol nyala lampu. Arduino juga membaca nilai arus dari sensor ACS712 dan mengirimkannya kembali melalui serial ke ESP32.



Gambar IV. 19 Program Arduino IDE
Sumber : Penulis

(iv) Lakukan proses *compiling* dengan menekan tombol *Verify* pada Arduino IDE untuk memastikan tidak ada kesalahan sintaks dalam program.

- (v) Hubungkan Arduino Mega ke komputer menggunakan kabel USB.
- (vi) Klik tombol *Upload* pada Arduino IDE untuk mengunggah program ke Arduino Mega.
- (vii) Uji fungsionalitas sistem. Setelah proses upload selesai, sistem akan otomatis menerima perintah dari ESP32, mengaktifkan *relay*, dan mengirimkan data sensor kembali. Jika program berjalan dengan benar, maka lampu akan menyala sesuai perintah yang dikirim, dan data arus dapat diteruskan ke sistem monitoring.

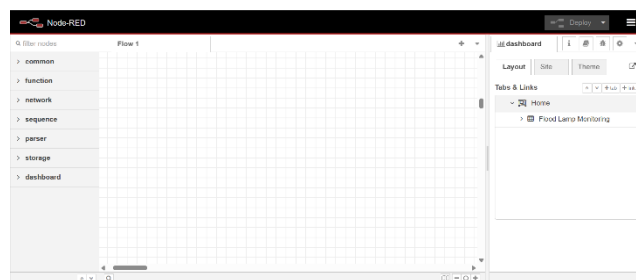
Dengan langkah-langkah pemrograman ini, perangkat receiver dapat bekerja secara responsif dan terintegrasi dalam sistem kontrol dan monitoring *floodlight* yang berbasis mikrokontroler dan komunikasi nirkabel.

c) Pemrograman Web (Node-RED)

Node – RED adalah sebuah platform berbasis web yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, menganalisis, dan memvisualisasikan data sensor dari perangkat *Internet of Things* (IoT) secara *real-time*. Platform ini sangat populer di kalangan pelajar, peneliti, dan pengembang sistem berbasis IoT karena menyediakan layanan gratis (dengan batasan tertentu) dan memiliki antarmuka yang mudah digunakan.

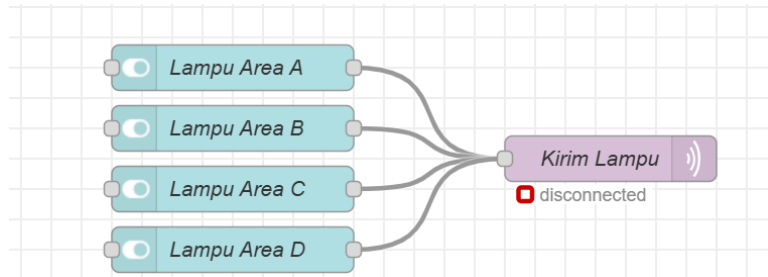
Langkah – langkah membuat program Node-RED :

- (i) Buka Node-RED melalui browser <http://localhost:1880> dan buat workspace baru untuk memulai pembuatan flow.



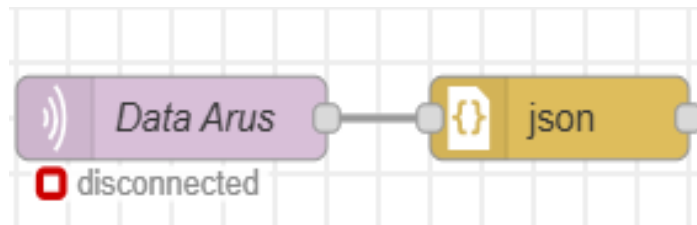
Gambar IV. 20 Program Node-RED
Sumber : Penulis

- (ii) Tambahkan node `ui_button` untuk setiap area lampu (A, B, C, D) dan atur payload sesuai perintah kontrol *ON/OFF* yang dibutuhkan.



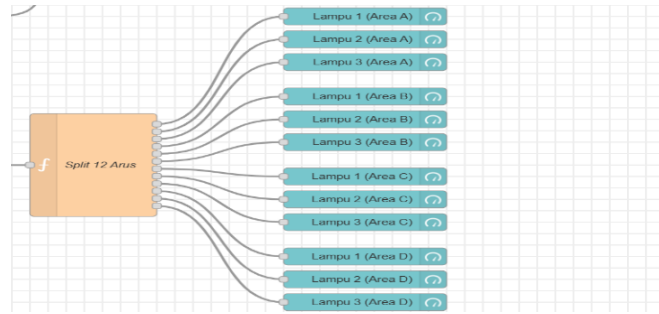
Gambar IV. 21 Program Node-RED
Sumber : Penulis

- (iii) Hubungkan semua node `ui_button` ke node `Kirim Lampu` menggunakan `mqtt out` atau `serial out` agar perintah dapat dikirim ke Arduino atau ESP32.
- (iv) Tambahkan node `mqtt in` atau `serial in` untuk menerima data arus yang dikirim dari Arduino Mega.
- (v) Sambungkan node input data arus ke node `JSON` agar data yang diterima terkonversi menjadi format objek `JSON`.



Gambar IV. 22 Program Node-RED
Sumber : Penulis

- (vi) Gunakan node `Function (Split 12 Arus)` untuk memecah data arus menjadi 12 pesan terpisah menggunakan kode `JavaScript`.
- (vii) Hubungkan 12 output dari node `Function` ke 12 node `ui_gauge` yang masing-masing diberi label sesuai nama lampu dan satuan arus yang diukur.



Gambar IV. 23 Program Node-RED

Sumber : Penulis

- (viii) Periksa seluruh koneksi antar-node agar alur data dan kontrol berfungsi dengan baik.
- (ix) Klik tombol Deploy untuk menyimpan dan menjalankan flow sehingga tombol UI dapat mengontrol lampu dan data arus *real-time* ditampilkan di dashboard.

3) Prosedur menyalakan prototipe sistem kontrol dan monitoring

Prototipe sistem kontrol dan monitoring *floodlight* akan berjalan optimal apabila dioperasikan sesuai dengan SOP berikut :

1. Pertama, pastikan seluruh perangkat keras, termasuk ESP32, Arduino Mega, HC-12, *relay*, sensor arus ACS712, serta sambungan ke sumber daya telah terpasang dengan benar sesuai skema rangkaian. Periksa kembali kabel dan konektor untuk menghindari risiko *short circuit* atau *open circuit* yang dapat merusak perangkat
2. Kedua, sambungkan adaptor 5V untuk ESP32 dan Arduino Mega ke sumber listrik 220V melalui terminal atau stop kontak. Pastikan *power supply* berfungsi dengan baik dan memberikan tegangan yang stabil.
3. Ketiga, nyalakan komputer (HMI) atau laptop yang digunakan sebagai *server*, kemudian pastikan Docker Desktop sudah terinstal. Jika belum, lakukan instalasi terlebih dahulu melalui internet.
4. Keempat, periksa apakah Docker Desktop sudah dalam keadaan aktif. Ikon Docker dapat dilihat di taskbar, jika belum aktif silahkan buka aplikasi hingga Docker Engine berjalan otomatis.

5. Setelah itu, pastikan file docker berisi konfigurasi Node-Red
6. Selanjutnya, buka *Command Prompt* (CMD) pada lokasi folder di simpan, agar CMD terbuka pada direktori tempat file *docker-compose.yml* disimpan.
7. Kelima, setelah CMD terbuka di lokasi yang benar dan *Docker Engine* sudah aktif, ketik perintah (`docker compose up -d`) untuk menjalankan Node-Red menggunakan Docker. Jika proses berhasil, akan muncul status "*Created*" dan "*Running*" pada Docker Desktop.
8. Setelah Node-Red berjalan, buka browser dan masukan <http://localhost:1880> untuk membuka flow editor dan mengatur alur kontrol lampu. selanjutnya, untuk monitoring lampu secara *real-time* masukan <http://localhost:1880/ui/>.
9. Keenam, gunakan tombol kontrol pada dashboard untuk mengirimkan perintah *ON/OFF* ke *floodlight* melalui komunikasi HC-12. Arduino Mega sebagai receiver akan mengontrol *relay* sesuai perintah, sementara sensor arus ACS712 mengirim data arus Kembali ke ESP32 agar dapat ditampilkan di dashboard.

B. Pengujian

Dalam proses pengujian alat ini terdapat beberapa tahapan, maka penulis akan membuat proses pengujian sampai ke tahap validasi dari data dan hasil pengujian alat. Dibawah ini terdapat beberapa poin penting yang akan menjelaskan proses uji coba sebagai berikut:

1. Deskripsi pengujian

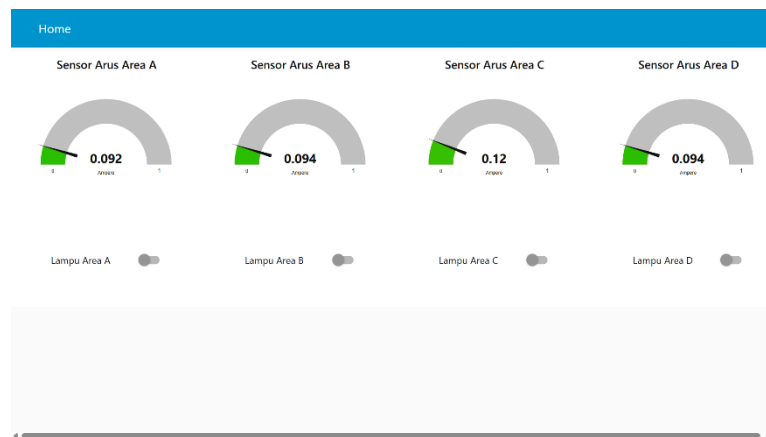
Setelah seluruh rangkaian perangkat keras dan perangkat lunak pada prototipe selesai dirakit dan diprogram, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian sistem secara menyeluruh. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa prototipe kontrol dan monitoring lampu berbasis mikrokontroler dapat berfungsi dengan baik, sesuai rancangan, serta mampu menjalankan setiap fitur yang telah ditetapkan. Proses pengujian meliputi verifikasi koneksi perangkat keras, pengujian komunikasi data antara ESP32, Arduino Mega, dan modul HC-12, pengujian fungsi kontrol

ON/OFF lampu melalui tombol dan dashboard Node-RED, serta pemantauan akurasi pembacaan sensor arus ACS712.

2. Prosedur pengujian

a. Pengujian Kontrol *ON/OFF* pada Lampu

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa perintah *ON* dan *OFF* yang dikirimkan melalui sistem kontrol berbasis mikrokontroler dapat berfungsi dengan baik dalam mengaktifkan maupun menonaktifkan lampu floodlight sesuai instruksi yang diberikan. Proses pengujian meliputi pengiriman perintah dari perangkat pengendali menuju unit penerima yang terhubung dengan rangkaian pengendali lampu, kemudian memverifikasi eksekusi perintah tersebut melalui pengamatan langsung terhadap kondisi lampu. Tujuan utama pengujian ini adalah mengetahui tingkat keberhasilan perintah kontrol yang dikirimkan, termasuk kecepatan respon, akurasi penerimaan perintah, dan kestabilan fungsi kontrol dalam berbagai kondisi operasional, sehingga hasilnya dapat menjadi acuan untuk memastikan sistem bekerja sesuai rancangan serta sebagai dasar perbaikan atau optimalisasi di masa mendatang.



Gambar IV. 24 Monitor Kontrol Lampu
Sumber : Penulis



Gambar IV. 25 Pengujian Jarak
Sumber : Penulis

Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap perintah *ON* dan *OFF* yang dikirimkan dari perangkat pengendali dari jarak yang bertahap mulai 50 meter, 100 meter, 150 meter, 250 meter dapat diterima dengan baik oleh sistem penerima. lampu *floodlight* berhasil menyala dan padam sesuai perintah yang diberikan, dengan tingkat keberhasilan yang tinggi pada beberapa kali percobaan. Waktu respon sistem bervariasi antara 1 hingga 5 detik sejak perintah dikirim hingga lampu bereaksi. Hasil ini menunjukkan bahwa fungsi kontrol *ON/OFF* bekerja dengan baik dan dapat diandalkan untuk pengoperasian sistem *floodlight* berbasis mikrokontroler.

b. Pengujian Monitoring Sensor Arus ACS712

Pengujian monitoring sensor arus ACS712 dilakukan untuk memverifikasi keakuratan pembacaan arus yang digunakan dalam sistem monitoring *floodlight*. Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur pembanding sehingga dapat diketahui tingkat ketelitian dan stabilitas data yang dikirimkan ke sistem monitoring.



Gambar IV. 26 Pengukuran Arus dengan Multimeter
Sumber : Penulis

Berikut merupakan hasil pengujian sensor ACS712 dengan acuan alat ukur multimeter pada prototipe :

Tabel IV. 3 Hasil Pengujian dengan Multimeter dan Sensor ACS712
Sumber: (Penulis, 2024)

No	Lampu	Multimeter	Sensor ACS712	Keterangan
1	Tiang A	0,154 mA	0,175 mA	Menyala
2	Tiang B	0,154 mA	0,186 mA	Menyala
3	Tiang C	0,154 mA	0,186 mA	Menyala
4	Tiang D	0,154 mA	0,188 mA	Menyala

Presentase akurasi :

$$\text{Presntase} = \left(1 - \frac{\text{sensor}-\text{alat}}{\text{sensor}}\right) \times 100 \%$$

$$\text{a. Tiang A} = \left(1 - \frac{0,175 - 0,154}{0,175}\right) \times 100 \% = 88 \%$$

$$\text{b. Tiang B} = \left(1 - \frac{0,186 - 0,154}{0,186}\right) \times 100 \% = 82 \%$$

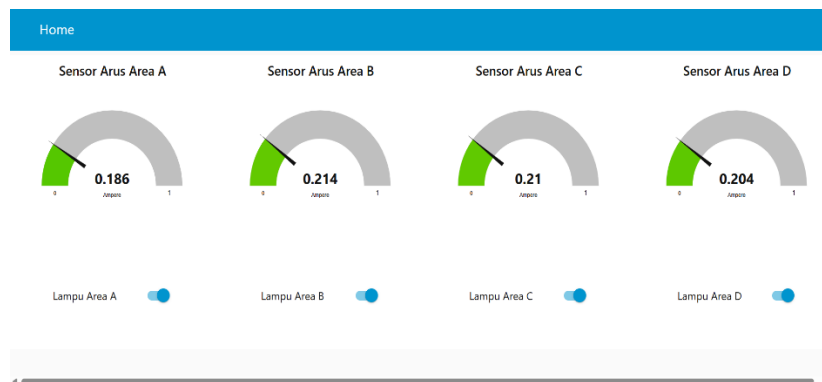
$$\text{c. Tiang C} = \left(1 - \frac{0,186 - 0,154}{0,186}\right) \times 100 \% = 82 \%$$

$$\text{d. Tiang D} = \left(1 - \frac{0,188 - 0,154}{0,188}\right) \times 100 \% = 81,91 \%$$

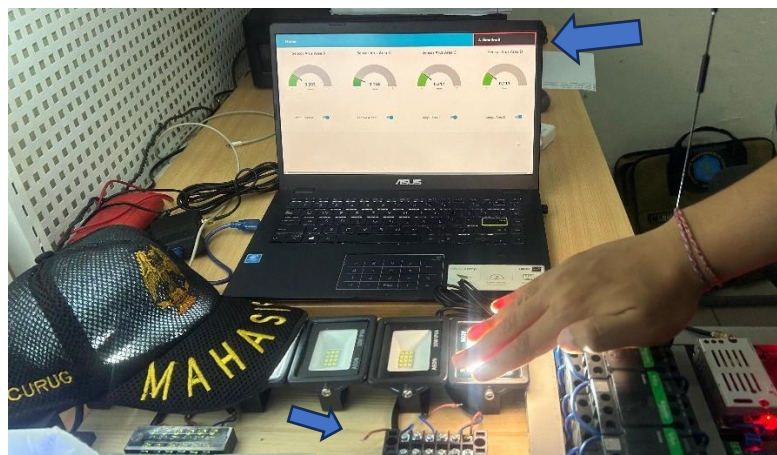
$$\text{Rata - rata} = \left(\frac{88\% + 82\% + 82\% + 81,91\%}{4}\right) = 83\%$$

Berdasarkan hasil perbandingan antara sensor ACS712 dengan alat ukur referensi, diperoleh tingkat akurasi pada empat titik pengujian yang berada dalam rentang 81–88%, dengan rata-rata sekitar 83%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor ACS712 memiliki kinerja yang cukup baik dan layak digunakan sebagai perangkat monitoring.

Pengujian selanjutnya adalah memverifikasi apakah sistem mampu mendeteksi kondisi ketika salah satu lampu mengalami gangguan, baik berupa mati total maupun kerusakan sebagian. Prosesnya dilakukan dengan mengamati nilai arus yang terbaca melalui sensor ACS712 saat beban lampu dalam kondisi normal, kemudian dibandingkan dengan nilai arus ketika salah satu lampu sengaja dimatikan.



Gambar IV. 27 Layar *Dashboard* Ketika Normal
Sumber : Penulis



Gambar IV. 28 Layar *Dashboard* Ketika Ada Masalah Pada Lampu
Sumber : Penulis

Jika arus yang terukur turun di bawah ambang batas yang telah ditentukan, maka sistem akan secara otomatis mengirimkan notifikasi ke dashboard. Notifikasi tersebut menjadi indikator awal bahwa terdapat ketidaksesuaian pada kondisi operasi, yang dalam konteks ini menandakan kemungkinan lampu mati atau mengalami kerusakan. Dengan demikian, pengujian ini membuktikan bahwa sistem tidak hanya dapat memantau arus secara real time, tetapi juga mampu memberikan peringatan dini terhadap adanya lampu yang tidak berfungsi sebagaimana mestinya.

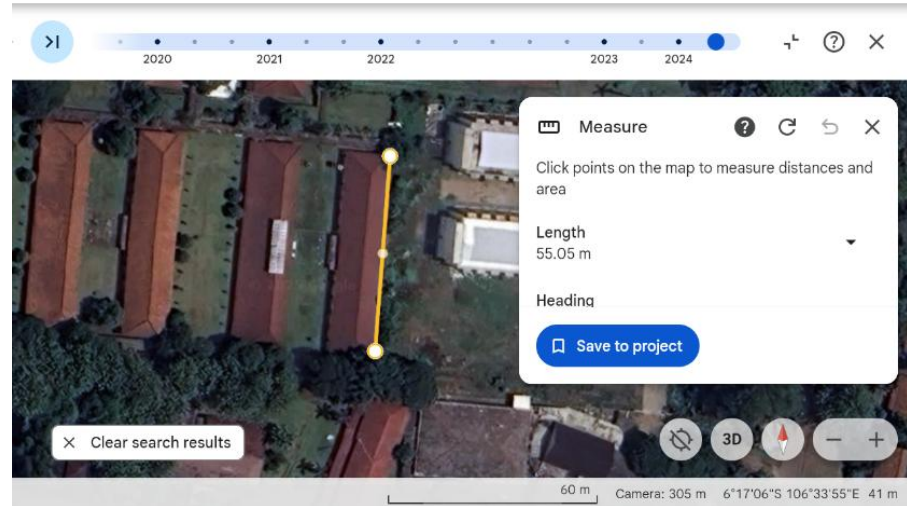
c. Pengujian Jarak pada Modul HC – 12

Pengujian jarak pada modul HC – 12 dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh jangkauan komunikasi nirkabel yang dapat dicapai oleh sistem tanpa mengalami gangguan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa data kontrol dan monitoring dapat dikirim dan diterima dengan baik pada berbagai jarak dan kondisi lingkungan.

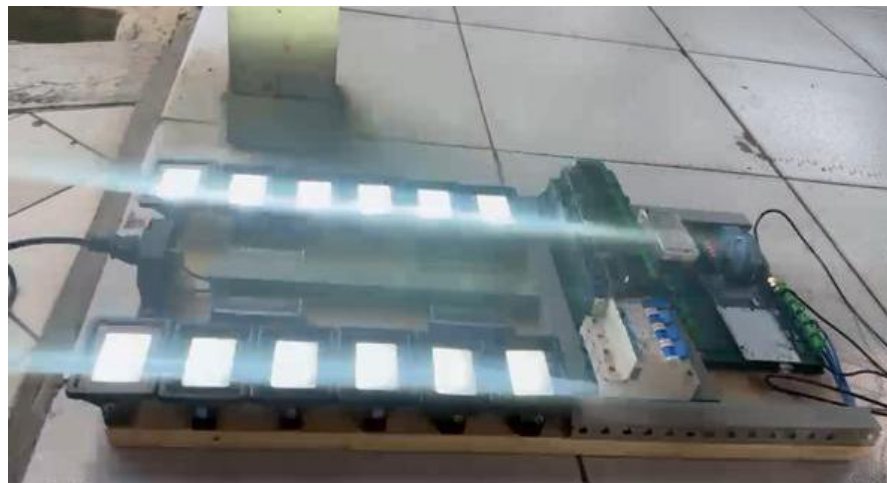


Gambar IV. 29 Pengujian HC – 12
Sumber : Penulis

Pengujian pertama jangkauan modul HC-12 dilakukan di Asrama Curug Satu, yang berlokasi di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. Pengujian ini dilakukan di lorong Barak Delta dengan menempatkan perangkat pemancar dan penerima, dengan jarak sekitar 50 meter dari ujung lorong satu ke ujung lainnya. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan modul HC-12 dapat mengirim dan menerima data dengan baik pada jarak tersebut tanpa terjadi gangguan.



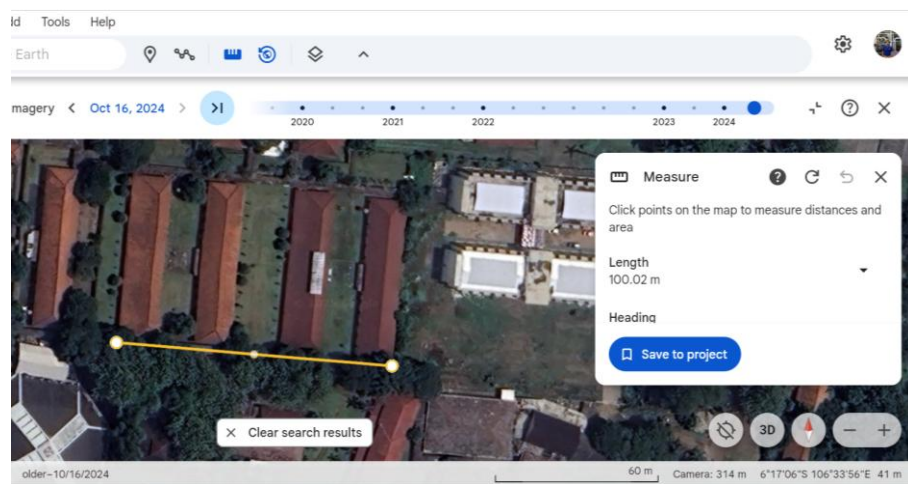
Gambar IV. 30 Pengujian Jarak HC – 12 50 Meter
Sumber : Penulis



Gambar IV. 31 Kondisi Lampu Kontrol Jarak 50 Meter
Sumber : Penulis

Hasil pengujian pada jarak 50 meter dilakukan dengan menempatkan perangkat transmitter dan receiver modul HC – 12 di kedua ujung lorong barak delta. Selama pengujian, data dikirim secara berulang dalam beberapa kali percobaan untuk memastikan konsistensi penerimaan sinyal. Berdasarkan pengamatan, modul HC – 12 mampu menerima seluruh data dengan baik tanpa adanya keterlambatan pengiriman. Hal ini menunjukkan bahwa pada jarak 50 meter, komunikasi nirkabel menggunakan modul HC -12 berjalan stabil dan dapat diandalkan untuk kebutuhan sistem kontrol dan monitoring yang dirancang.

Selanjutnya Pengujian jangkauan modul HC-12 kedua dilakukan dengan menempatkan perangkat pemancar di Barak Golf dan perangkat penerima di lorong Barak Delta dengan jarak kurang lebih 100 meter. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan modul HC-12 dapat mengirim dan menerima data dengan baik pada jarak tersebut serta mengetahui apakah terdapat penurunan kualitas komunikasi pada jarak yang lebih jauh.



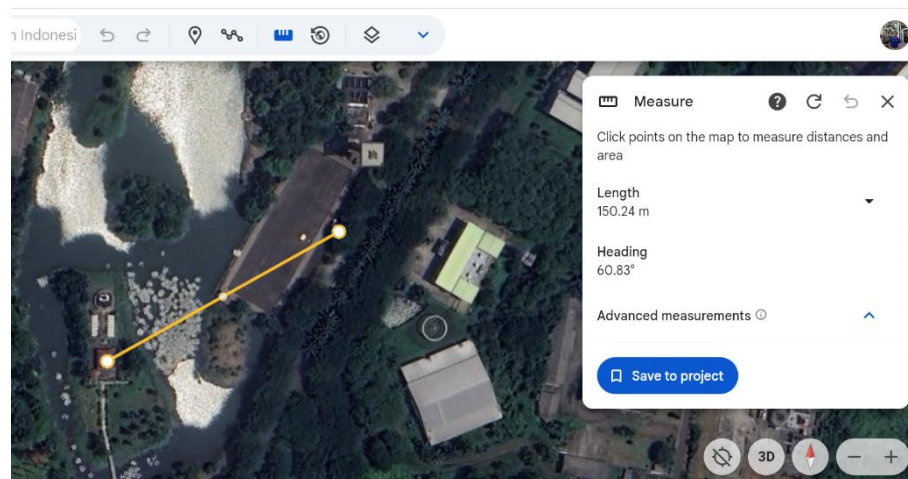
Gambar IV. 32 Pengujian Jarak HC – 12 100 Meter
Sumber : Penulis



Gambar IV. 33 Kondisi Lampu Kontrol Jarak 100 Meter
Sumber : Penulis

Hasil pengujian pada jarak 100 meter dilakukan dengan menempatkan perangkat pemancar modul HC-12 di area Barak Golf dan perangkat penerima di lorong Barak Delta. Selama pengujian, data dikirimkan secara berulang untuk memantau kestabilan komunikasi pada jarak yang lebih jauh dibandingkan pengujian sebelumnya. Berdasarkan pengamatan, modul HC-12 mampu menerima seluruh data dengan baik. Namun, terjadi sedikit keterlambatan (*delay*) sekitar 1 sampai 3 detik antara waktu pengiriman data dan waktu data diterima. Meskipun demikian, komunikasi secara keseluruhan tetap berjalan stabil dan dapat diandalkan untuk mendukung sistem kontrol dan monitoring *floodlight* yang dirancang.

Pengujian jangkauan modul HC-12 ketiga dilakukan dengan menempatkan perangkat penerima (receiver) di Pura Agung Bhuana Angkasa dan perangkat pemancar (transmitter) di Lapangan Perwira Angkasa dengan jarak sekitar 150 meter. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan modul HC-12 dalam mengirim dan menerima data pada jarak yang lebih jauh, sekaligus mengamati kestabilan komunikasi, kecepatan respon, dan keandalan sistem pada kondisi lapangan yang menyerupai lingkungan operasional sebenarnya.



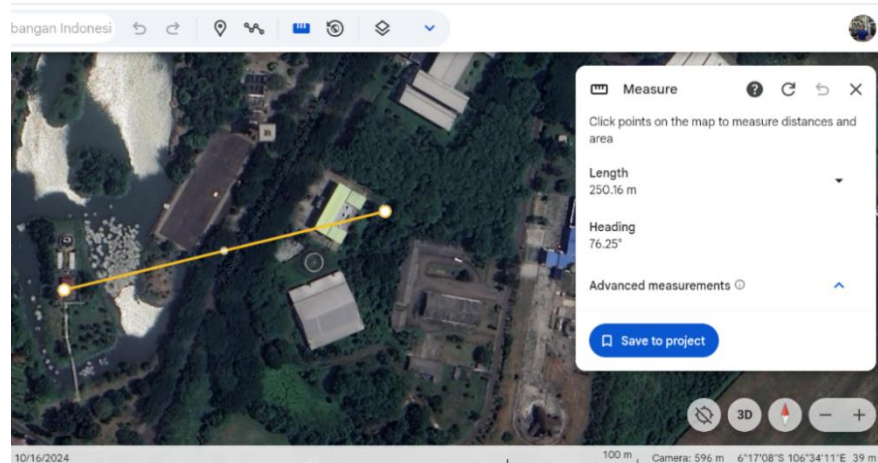
Gambar IV. 34 Pengujian Jarak HC – 12 150 Meter
Sumber : Penulis



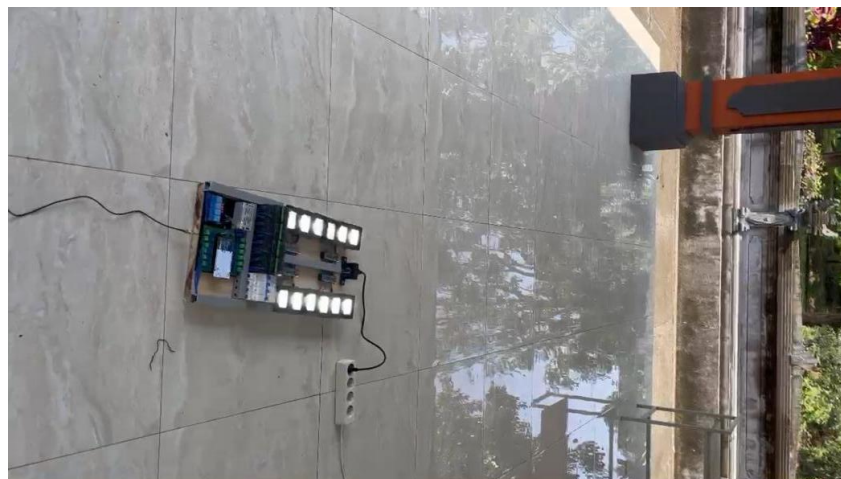
Gambar IV. 35 Kondisi Lampu Kontrol Jarak 150 Meter
Sumber : Penulis

Selama pengujian, data dikirimkan secara berulang untuk memantau kontinuitas komunikasi. Berdasarkan hasil pengamatan, modul HC-12 tetap mampu mengirim dan menerima data dengan baik, meskipun terdapat sedikit keterlambatan 1 sampai 3 detik (delay) antara waktu pengiriman dan penerimaan data. Secara keseluruhan, komunikasi tetap berjalan stabil dan dapat diandalkan untuk mendukung sistem kontrol dan monitoring floodlight yang dirancang.

Pengujian jangkauan modul HC-12 keempat dilakukan dengan menempatkan perangkat penerima (receiver) di Pura Agung Bhuana Angkasa dan perangkat pemancar (transmitter) di Radar Gedung CNS dengan jarak sekitar 250 meter. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui performa modul HC-12 pada jarak yang lebih jauh dibandingkan pengujian sebelumnya, sekaligus mengamati kestabilan komunikasi serta keandalan sistem dalam kondisi lapangan yang nyata. Jarak 250 meter dipilih untuk mensimulasikan skenario penggunaan di mana perangkat kontrol dan monitoring berada pada lokasi yang terpisah secara signifikan di area bandara.



Gambar IV. 36 Pengujian Jarak HC – 12 250 Meter
Sumber : Penulis



Gambar IV. 37 Kondisi Lampu Kontrol Jarak 250 Meter
Sumber : Penulis

Selama proses pengujian, data dikirimkan secara berulang dengan interval tertentu untuk memantau tingkat keberhasilan pengiriman, waktu respon, dan kualitas sinyal. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa modul HC-12 masih mampu melakukan pengiriman dan penerimaan data dengan baik, meskipun terdapat peningkatan delay 1 sampai 5 detik dibandingkan jarak sebelumnya. Namun, komunikasi tetap berlangsung stabil tanpa adanya kehilangan data yang signifikan, sehingga modul HC-12 dapat dianggap memadai untuk digunakan dalam sistem kontrol dan monitoring floodlight dengan jarak hingga 250 meter di lingkungan bandara.

Berdasarkan hasil pengujian, prototipe kontrol dan monitoring *floodlight* apron berbasis mikrokontroler berfungsi dengan baik dalam mengontrol dan memantau kondisi lampu secara real-time. Perintah *ON/OFF* dapat diterima dengan baik dan waktu respon cepat. Sementara pembacaan sensor arus ACS712 akurat mendekati nilai aktual. Modul HC-12 mampu mengirim dan menerima data dengan baik pada jarak pengujian, meskipun kondisi lingkungan dapat mempengaruhi kestabilan sinyal.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian prototipe sistem kontrol dan monitoring *floodlight* apron berbasis mikrokontroler, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem yang dirancang menggunakan Arduino Mega, ESP32, HC-12, dan sensor arus ACS712 mampu mengontrol serta memantau kondisi lampu *floodlight* secara real-time dan jarak jauh dengan tingkat keberhasilan pengoperasian yang tinggi.
2. Penggunaan sensor arus ACS712 memberikan data yang cukup akurat untuk mendeteksi kondisi nyala lampu, sehingga dapat membantu teknisi dalam mengetahui adanya gangguan secara cepat.

B. Saran

1. Pengembangan sistem dapat dilakukan dengan menambahkan fitur otomatisasi berbasis sensor cahaya atau jadwal penerbangan agar pengoprasian lampu lebih efisien.
2. Penggunaan antena eksternal atau modul komunikasi yang lebih kuat dapat meningkatkan jangkauan dan stabilitas koneksi nirkabel HC – 12.
3. Uji coba di area *apron* diperlukan untuk mengevaluasi kinerja sistem pada kondisi oprasional sebenarnya sebelum diterapkan secara permanen.

DAFTAR PUSTAKA

- 2023prkemenhub021 (2023).
- Aditya Pratama, Y., Taryana, & Rubby Soebiantoro. (2020). *ANALISA APRON FLOODLIGHT MENGGUNAKAN LAMPU LED DI BANDAR UDARA ADI SOEMARMO – SOLO*.
- Arjun Pratikto Wahyu Hendrawan, & Ni Putu Agustini. (2022). *Simulasi Kendali Dan Monitoring Daya Listrik Peralatan Rumah Tangga Berbasis ESP32*.
- Azis Hutasuht, A. (2017). *Analisa Perbandingan Switch Mode Power Supply (SMPS) dan Transformator Linear Pada Audio Amplifier*. 1(2), 90–102.
- Bosowa, P., Muhammad, U., Mansur, A., Aditya Bachri Maulana, M., Studi Teknik Listrik, P., & Bosowa Jl Kapasa Raya, P. (2021). Rancang Bangun Power Supply Adjustable Current pada Sistem Pendingin Berbasis Termoelektrik. *Journal Of Electrical Engginering (Joule)*, 2(2).
- Dwi, R., Herlambang, P., Hikmatyar, M., & Sundari, S. S. (2025). Warehouse Monitoring System Menggunakan Node MCU ESP32 Dan Implementasi Python Sebagai Visualisasi Data Sensor Secara Real-Time Warehouse Monitoring System Using NodeMCU ESP32 and Python Implementation for Real-Time Sensor Data Visualization 1. *Jurnal Teknologika*, 15(1), 703–715. <https://doi.org/10.51132/teknologika.v15i1.440>
- Elza Wiracantika, S., Teknik Pesawat Udara, J., & Penerbangan Surabaya Jl Jemur Andayani, P. I. (n.d.). *RANCANG BANGUN ALAT CONTINUITY TESTER BERBASIS ARDUINO MINI SEBAGAI PENUNJANG PRAKTIKUM DI POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA*.
- Fahmi Hakim, M., Ridzki, I., & Indra Kurniawan, B. (n.d.). Pemasangan Lampu Sorot dan Led Strip Dengan Pengoperasian Otomatis di Gapura Klaster SPI Sukun Kota Malang. *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 8(1).
- iskandar, A. (2017). SISTEM KEAMANAN PINTU BERBASIS ARDUINO MEGA. In *JURNAL INFORMATIKA UPGRIS* (Vol. 3, Issue 2).
- Kalika Khaldan Nurshofa, Aldi Fadillah Ramadan, Nur Fajri Faiz, Paul Manurung, & Diajeng Luluk Karlina. (2024). Penggunaan Kontaktor pada Sistem Pengaman Motor Induksi 3 Fasa. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 3(4), 280–289. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v3i4.4567>
- Mahanin Tyas, U., Apri Buckhari, A., Studi Pendidikan Teknologi Informasi, P., & Studi Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, P. (2023). *IMPLEMENTASI APLIKASI ARDUINO IDE PADA MATA KULIAH SISTEM DIGITAL* (Vol. 1, Issue 1).
- Megansa, K. S., Bunahri, R. R., Nugrahayani, T., & Kona, M. (2023). Perencanaan Remote Control dan Monitoring Apron Flood Light Selatan Berbasis Programmable Logic Control (PLC) di Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai - Bali. *SKY EAST: Education of Aviation Science and Technology*, 1(2), 96–110. <https://doi.org/10.61510/skyeast.v1i2.14>
- Mubarak, R. R., Lamtiar, S., & Callista, A. B. (2022). Prototipe Kontrol dan Monitoring Remote Apron Floodlight Berbasis Mikrokontroler dengan Modul

- Dimmer. *Journal of Airport Engineering Technology (JAET)*, 3(1), 37–47. <https://doi.org/10.52989/jaet.v3i1.74>
- Oryza Tito Fernando, W., Teknik Listrik Bandara, J., Teknik Penerbangan, F., & Penerbangan Surabaya Jl Jemur Andayani, P. I. (n.d.). *RANCANGAN KONTROL DAN MONITORING RUNWAY THRESHOLD IDENTIFIER LIGHT MENGGUNAKAN RADIO LINK BERBASIS MIKROKONTROLER DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL I GUSTI NGURAH RAI BALI*.
- Solfiani, U., Gendroyono, P., Arif Rahardjo, I., Teknik Elektro, P., Teknik, F., & Negeri Jakarta, U. (n.d.). *PENGARUH DISTORSI HARMONISA TERHADAP KINERJA TRIP MINIATURE CIRCUIT BREAKER TIPE C 2A, 4A, DAN 6A DENGAN SUMBER TEGANGAN PLN DAN GENSET*.
- Sugihartini, N., & Yudiana, K. (2018). ADDIE SEBAGAI MODEL PENGEMBANGAN MEDIA INSTRUKSIONAL EDUKATIF (MIE) MATA KULIAH KURIKULUM DAN PENGAJARAN. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 15(2), 277. <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JPTK/issue/view/851>
- Susanto, J., Aji, M. W., Supardi, Q. I., & Adyapaka Apatya, Y. B. (2023). SISTEM MONITORING SUHU BLOCK HEATER SEALING PADA MESIN PACKAGING BERBASIS IOT MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ESP32. In *Jurnal Inkofar ** (Vol. 7, Issue 2). Online.
- Syahri, A., & Bintoro, A. (2023). *MONITORING DAN CONTROLING DAYA BERBASIS ARDUINO UNO MENGGUNAKAN SENSOR PZEM-004T*.
- Taif, M., Yunus, M., Abbas, H., & Jamil, M. (2019). *Penggunaan Sensor ACS712 dan Sensor Tegangan untuk Pengukuran Jatuh Tegangan Tiga Fasa Berbasis Mikrokontroler dan Modul GSM shield* (Vol. 06, Issue 1). www.TheEngineeringProjects.com
- Wijaya, A. E., Bani, R., & Sukarni, S. (2019). SISTEM MONITORING KUALITAS AIR MINERAL BERBASIS IOT (INTERNET OF THINGS) MENGGUNAKAN PLATFORM NODE-RED DAN METODE SAW (SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING). *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi STMIK Subang*.
- Yayuk Suprihartini. (2019). *KAJIAN PENCAHAYAAN FLOOD LIGHT DI APRON SELATAN BANDAR UDARA INTERNASIONAL I GUSTI NGURAH RAI BALI*.

LAMPIRAN

LAMPIRAN

Lampiran A Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : KM 30 Tahun 2005 Tentang Pemberlakuan Standar Nasional Indonesia (SNI) Mengenai Kriteria Penempatan Fasilitas Komunikasi Darat-Udara Berfrekuensi Amat Tinggi (VHF Air Ground) Sebagai Standar Wajib.

SNI 03-7048-2004

**Kriteria penempatan fasilitas komunikasi
darat - udara berfrekuensi amat tinggi
(VHF Air-Ground/ VHF – A/G)**

1 Ruang lingkup

Kriteria penempatan fasilitas komunikasi darat - udara (VHF – A/G) adalah pedoman teknis dalam menentukan penempatan fasilitas VHF A/G yang akan dipasang di dalam atau di luar lingkungan bandar udara.

Kriteria penempatan fasilitas komunikasi darat - udara VHF Air-Ground bertujuan untuk meminimalkan adanya penghalang (*obstacle*) sehingga kinerja (*performance*) fasilitas VHF A/G dapat beroperasi sesuai dengan persyaratan teknis (ICAO, Annex 10).

2 Acuan normatif

International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 10, Aeronautical Telecommunications, International Civil Aviation Organization ICAO Document 9426: Air Traffic Service Planning Manual.

3 Istilah dan definisi

3.1

fasilitas komunikasi berfrekuensi amat tinggi (VHF – A/G)

fasilitas radio yang bekerja pada frekuensi 117,975 MHz sampai dengan 137 MHz digunakan sebagai sarana komunikasi petugas pemandu lalu lintas penerbangan di suatu unit pelayanan lalu lintas penerbangan (*Air Traffic Services-ATS*) dengan pilot di pesawat udara

3.2

VHF Extended Range (VHF– ER)

fasilitas VHF yang dipasang pada posisi jauh dari unit pelayanan lalu lintas penerbangan dalam rangka memperluas cakupan wilayah pengendalian, biasanya untuk unit *Area Control Centre*

3.3

unit pelayanan lalu lintas penerbangan

unit pelayanan lalu lintas penerbangan bertanggung jawab atas penyelenggaraan pelayanan lalu lintas penerbangan yang terdiri atas:

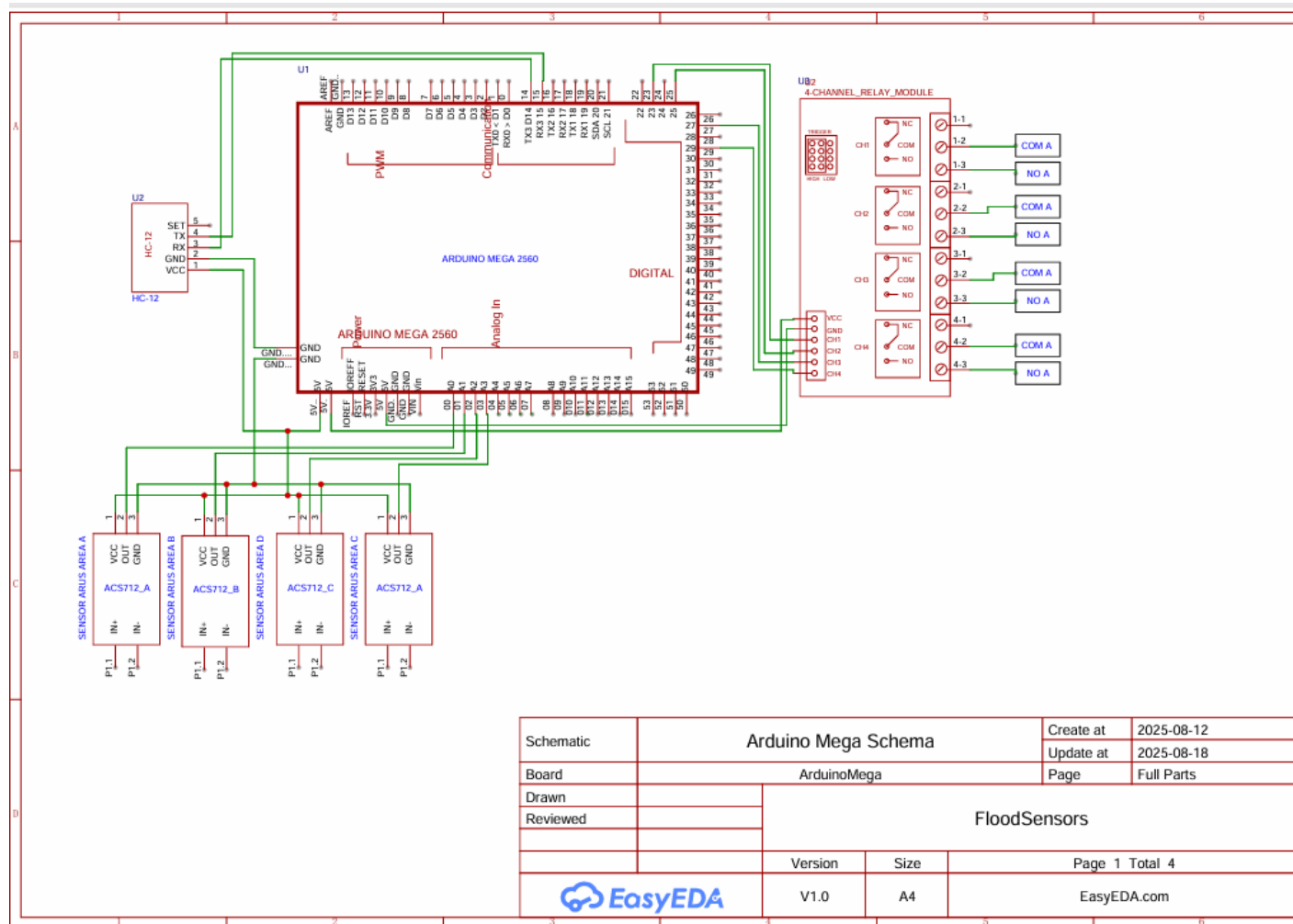
- a *Aerodrome Flight Information Service (AFIS)*;
- b *Aerodrome Control Center (ADC)*;
- c *Approach Control Center (APP)*; dan
- d *Area Control Center (ACC)*

3.4

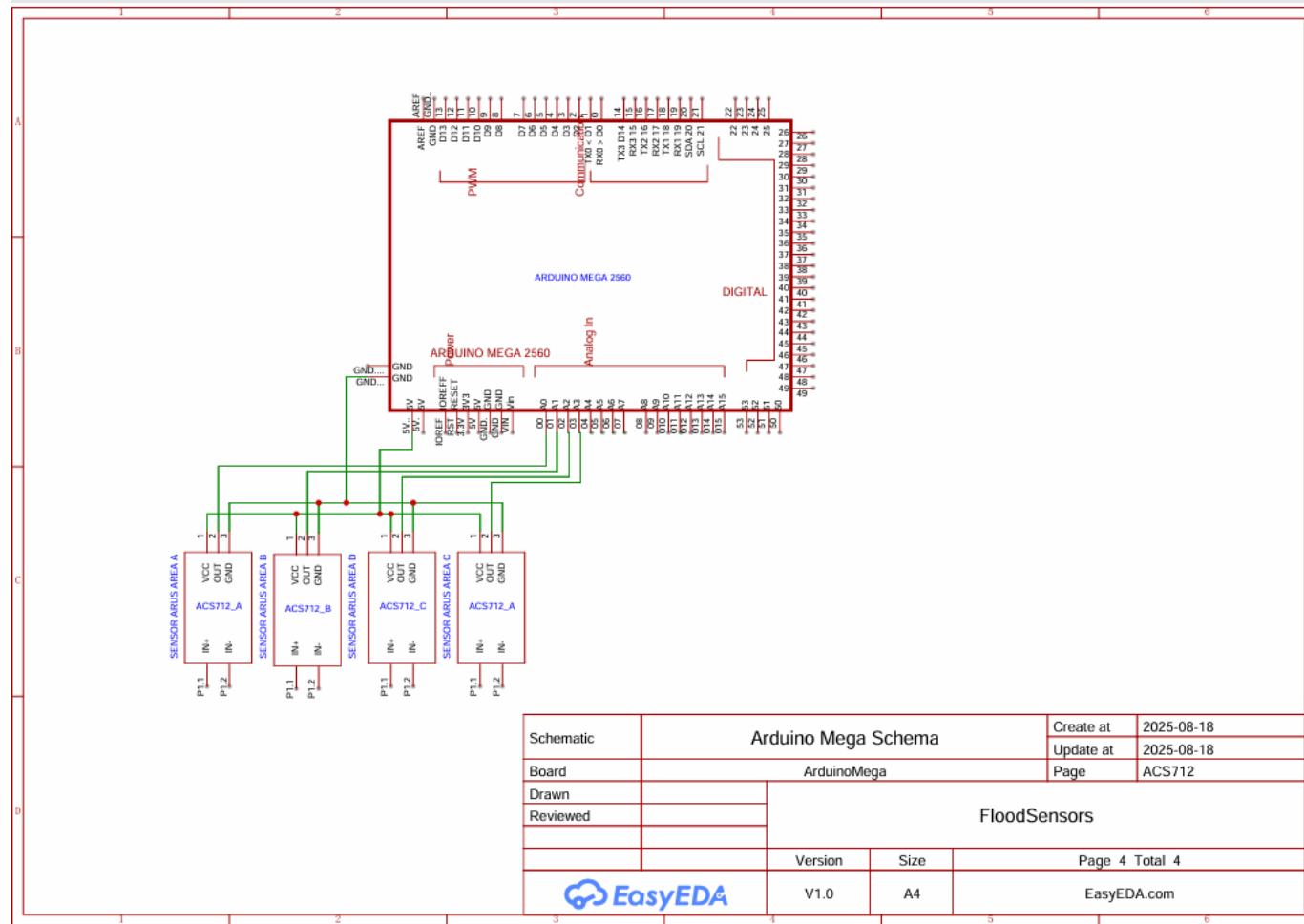
Area Flight Information Service (AFIS)

pelayanan pemberian informasi kepada pesawat udara yang akan berangkat atau datang di bandar udara, yang meliputi keadaan cuaca, peralatan navigasi, bandar udara, ada atau tidaknya pesawat udara lain yang beroperasi di bandar udara, dan hal yang dapat membahayakan pesawat udara yang akan beroperasi di bandar udara tersebut

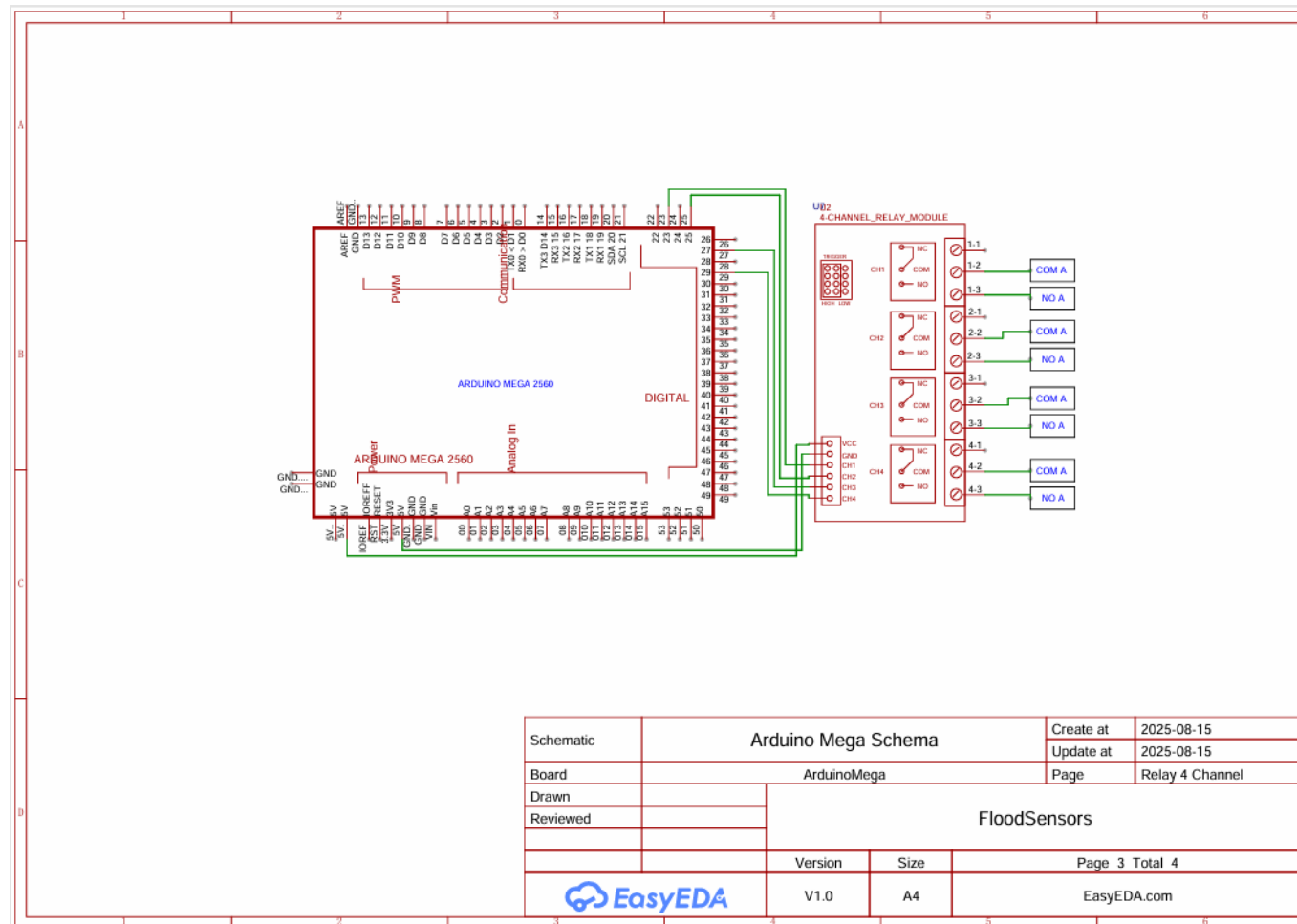
Lampiran B Schematic Rangkaian Keseluruhan *Receiver Prototipe*.



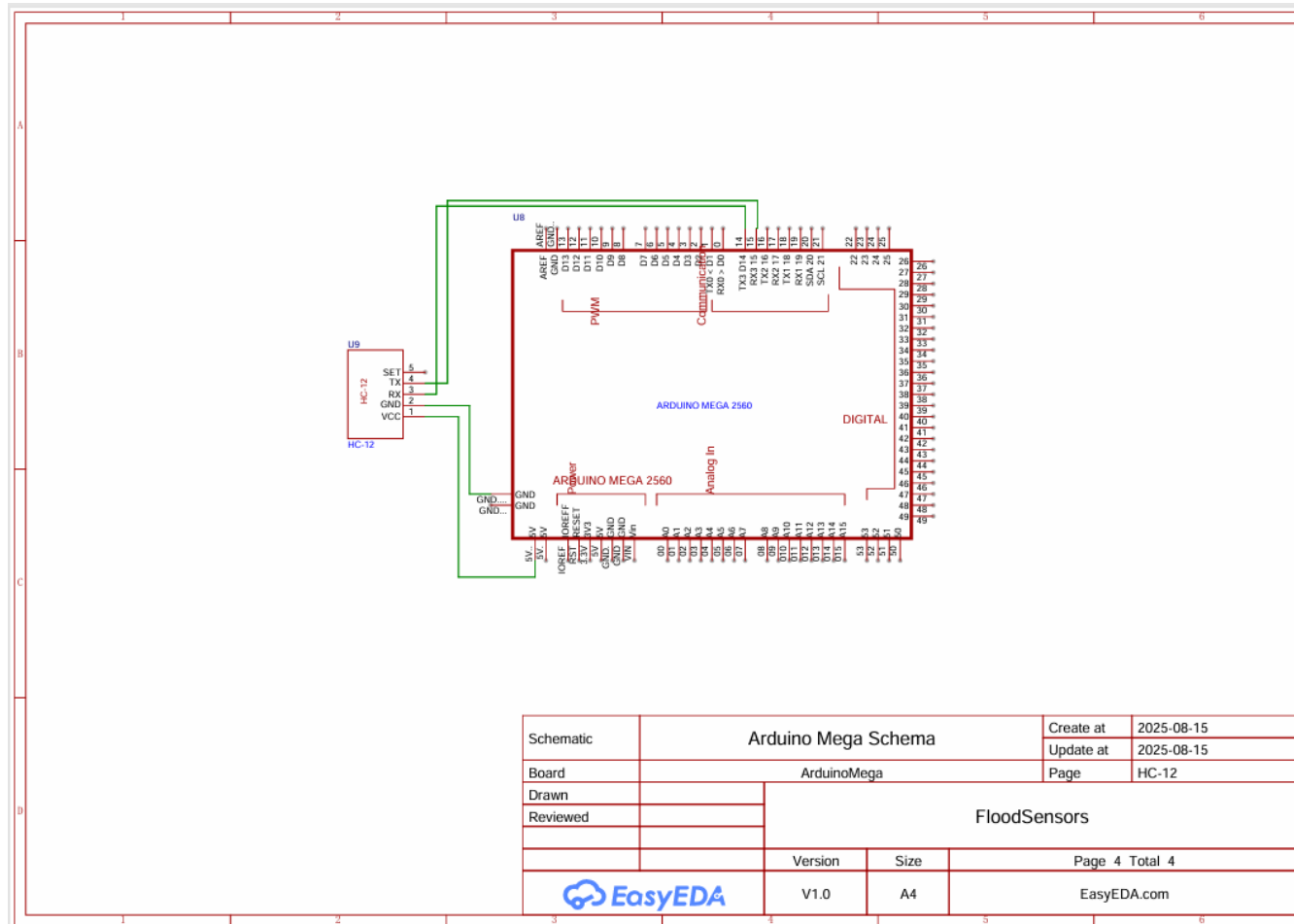
Lampiran C Rangkaian ACS712 Pada Reciever



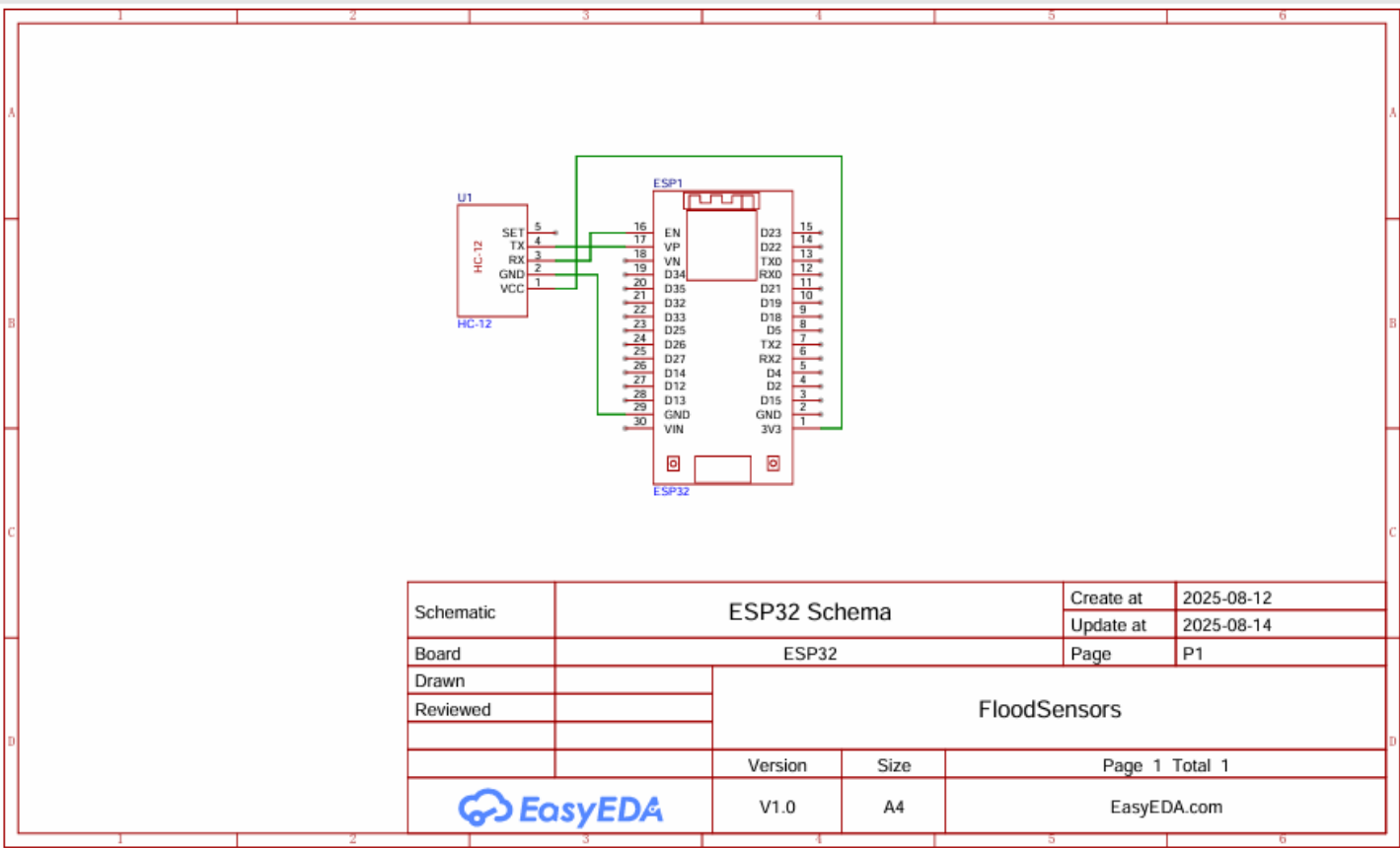
Lampiran D Rangkaian Relay Pada Receiver



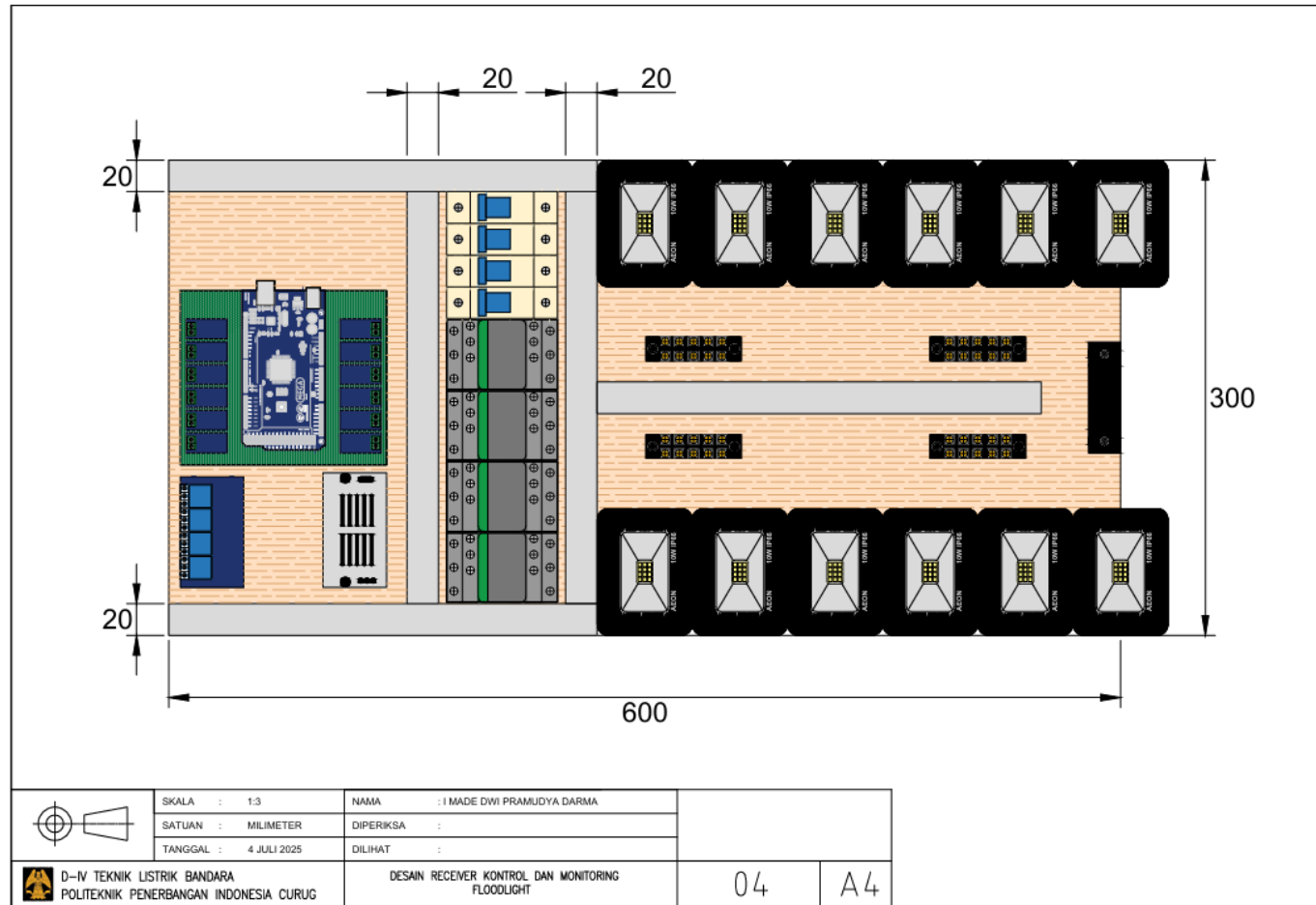
Lampiran E Rangkaian HC-12 Pada Receiver



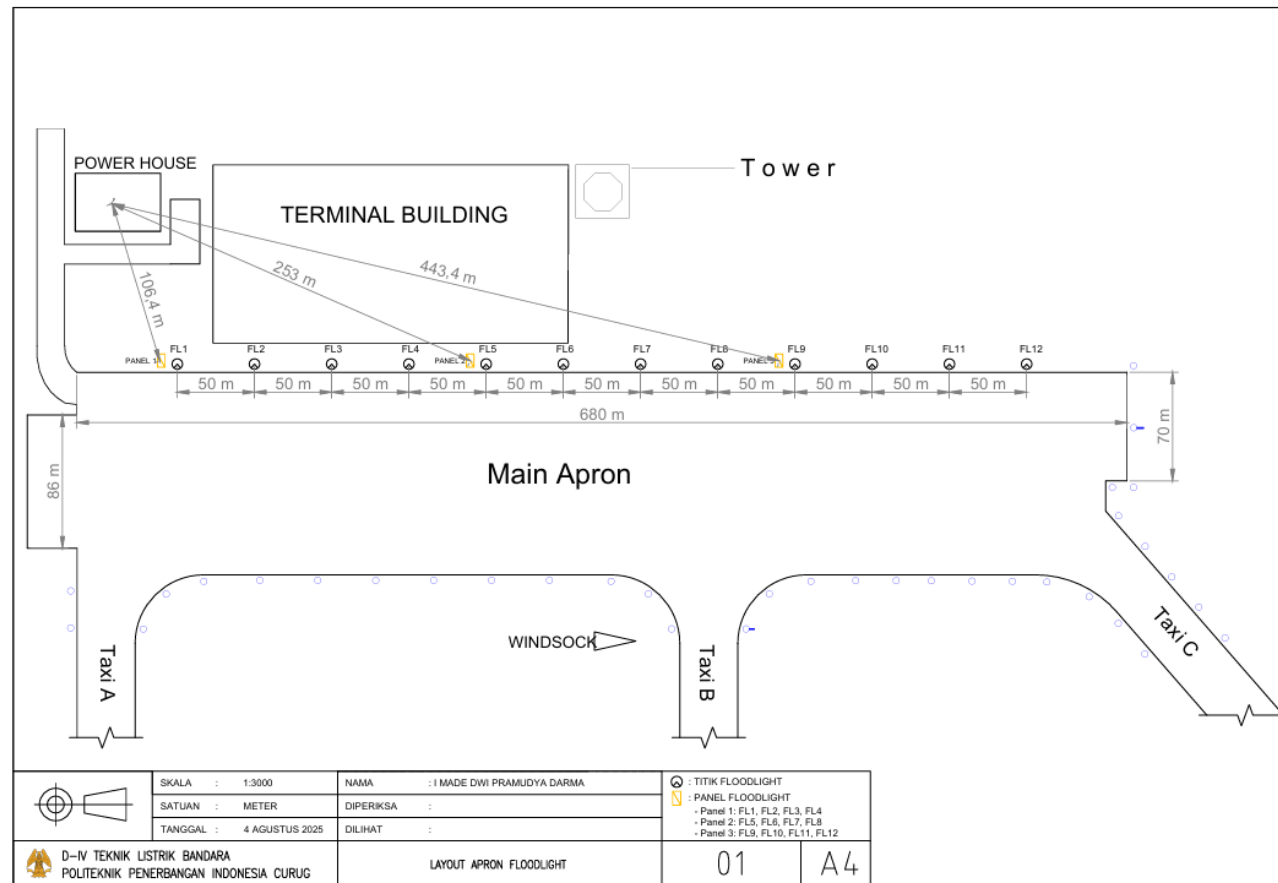
Lampiran F Schematic Rangkaian Transmitter Prototipe.



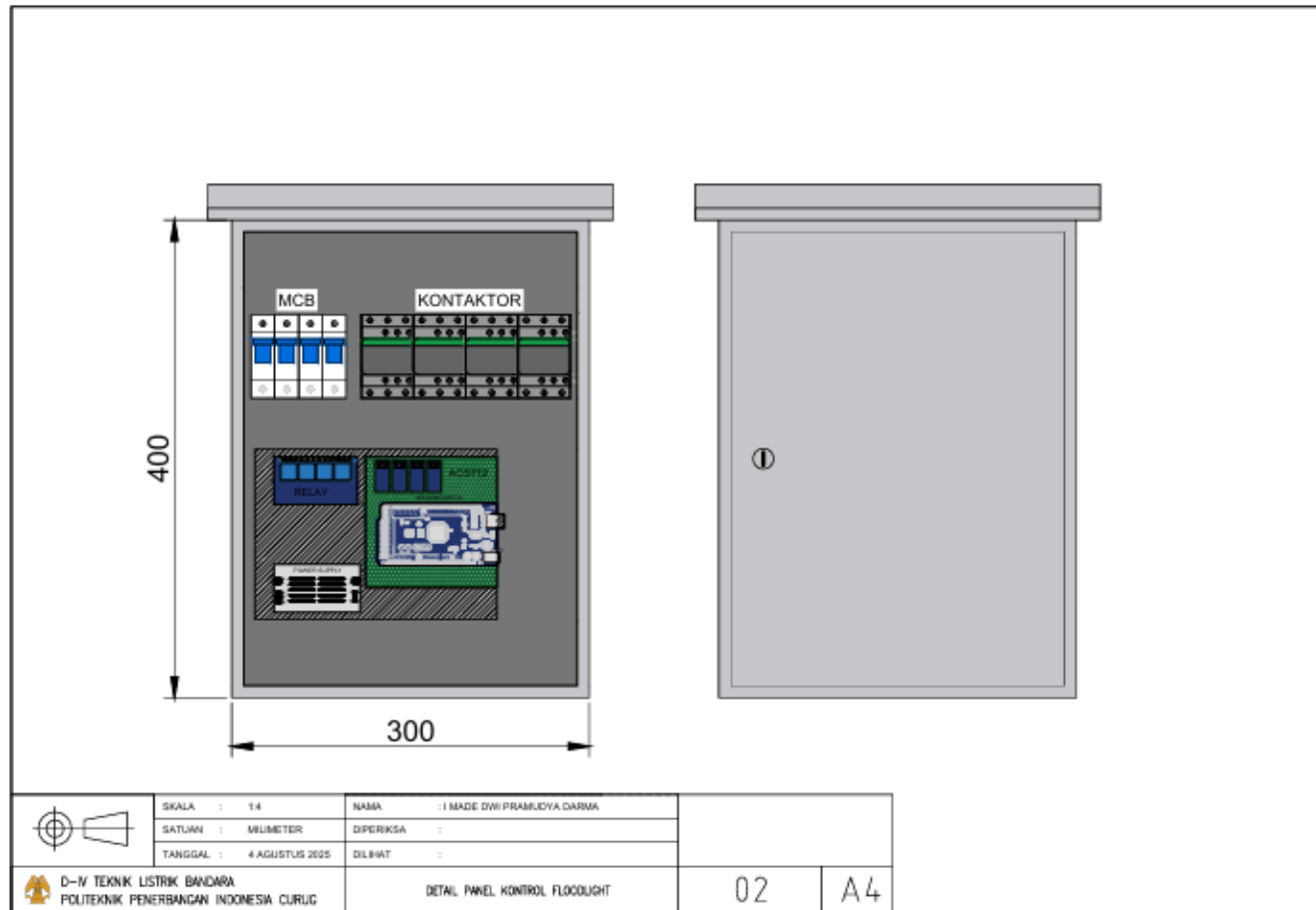
Lampiran G Desain Prototipe.



Lampiran H Layout Apron



Lampiran I layout Panel



Lampiran J Daftar Rincian Biaya *Prototipe*.

No	Nama Barang	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1	Arduino Mega Atmega2560	1	Pcs	Rp 181,000.00	Rp 181,000.00
2	ESP32	1	Pcs	Rp 75,000.00	Rp 75,000.00
3	HC-12	2	Pcs	Rp 51,000.00	Rp 102,000.00
4	Sensor Arus ACS712	12	Pcs	Rp 13,650.00	Rp 163,800.00
5	Relay 4 Channel	1	Pcs	Rp 37,500.00	Rp 37,500.00
6	Kontaktor	4	Pcs	Rp 85,000.00	Rp 340,000.00
7	Power Supply 5V	1	Pcs	Rp 24,000.00	Rp 24,000.00
8	MCB	4	Pcs	Rp 30,000.00	Rp 120,000.00
9	Lampu Sorot LED 10W	12	Pcs	Rp 17,900.00	Rp 214,800.00
10	Terminal Block	4	Pcs	Rp 4,000.00	Rp 16,000.00
11	Antena	2	Pcs	Rp 26,800.00	Rp 53,600.00
12	Papan	1	Pcs	Rp 60,000.00	Rp 60,000.00
13	Project Circuit Board	1	Pcs	Rp 9,000.00	Rp 9,000.00
Total					Rp 1,396,700.00

Lampiran K Coding perangkat Receiver.

```
const int arusPins[12] = {A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11};
const int relayPins[4] = {29, 27, 25, 23}; // Relay untuk Area A, B, C, D

const float vRef = 5.0; // Tegangan referensi ADC
const float sensitivity = 0.185; // untuk ACS712-5A (185 mV/A)

void setup() {
  Serial.begin(115200); // Debug ke PC
  Serial3.begin(9600); // HC-12 di Serial3 (TX3=14, RX3=15)

  for (int i = 0; i < 4; i++) {
    pinMode(relayPins[i], OUTPUT);
    digitalWrite(relayPins[i], HIGH); // relay off awal
  }

  Serial.println("Arduino Mega siap.");
}

void loop() {
  float arusValues[12];
  String json = "{}";

  for (int i = 0; i < 12; i++) {
    int adcValue = analogRead(arusPins[i]);
    float voltage = (adcValue / 1023.0) * vRef;
    float current = (voltage - 2.5) / sensitivity; // dalam Ampere
    arusValues[i] = current;

    json += "\"arus\" + String(i + 1) + \":\" + String(current, 3);
    if (i < 11) json += ",";
  }

  json += "}";
  Serial3.println(json); // Kirim ke ESP32 via HC-12

  // Debug ke Serial Monitor
  Serial.print("Kirim data arus: ");
  Serial.println(json);

  // Terima perintah dari ESP32 via HC-12
  if (Serial3.available()) {
    String cmd = Serial3.readStringUntil('\n');
    cmd.trim();

    Serial.println("Perintah diterima: " + cmd);

    int sep = cmd.indexOf('.');
```



```

if (sep > 0) {
    String area = cmd.substring(0, sep);
    String state = cmd.substring(sep + 1);

    int idx = -1;
    if (area == "areaA") idx = 0;
    else if (area == "areaB") idx = 1;
    else if (area == "areaC") idx = 2;
    else if (area == "areaD") idx = 3;

    if (idx >= 0) {
        digitalWrite(relayPins[idx], state == "on" ? LOW : HIGH);
        Serial.println("Relay " + area + " di-" + state);
    }
}

delay(1000); // Kirim data tiap detik
}

```

Lampiran L Coding perangkat Transmitter.

```
#include <Wifi.h>

#include <WifiClientSecure.h>

#include <PubSubClient.h>

#include <ArduinoJson.h>


// Wifi config

const char* ssid = "PramS";

const char* password = "IniPassword123@@@";


// HiveMQ Cloud config

const char* mqtt_server =

"cb637118e90940a98d58bcb6879ad04a.s1.eu.hivemq.cloud"; // Ganti dengan

host HiveMQ Cloud kamu

const int mqtt_port = 8883;           // atau 8883 jika pakai SSL

const char* mqtt_user = "floodsensor";

const char* mqtt_pass = "Password123@@@";


// Topics

const char* topic_data = "sensors/data";

const char* topic_sub = "lampu/#";


const char* root_ca = \

"-----BEGIN CERTIFICATE-----\n" \
```

"MIIFazCCA1OgAwIBAgISA6b9aDp1tH2fwN3Nz3V+eC0qMA0GCSqGSIlb3DQEBCwUA\n" \

"MEoxCzAJBgNVBAYTAIVTMRMwEQYDVQQIDApDYWxpZm9ybmlhMRAwDgYDVQQHDAAdQ\n" \

"YWxvIEFsdG8xFjAUBgNVBAMMDWxldHNlbnNyeXB0LVlzM4XDTIxMDMxNjE4NDg0\n" \

"NVoxDTIxMDYxNDE4NDg0NVowSjELMAkGA1UEBhMCVVMxEzARBgNVBAgMCkNhbgGlm\n" \

"b3JuaWExEDAOBgNVBAcMB1BhbG8gQWx0bzEWMBQGA1UEAwwNbGV0c2VuY3J5cHQ0\n" \

"UjMwggliMA0GCSqGSIlb3DQEBAQUAA4ICDwAwggIKAoICAQDckQ7uCEUvIKD5CwVR\n" \

"vXbUFOgijvG7MNN5EFD0uCDh6E1TkN2Wz4OEP3et5R2+LO+kpz+py111yS4fripL\n" \

"XkpP6OZ0dXAKC5fEmNSa/f9hwRhW7iZPFShVfUAnH0KzG8PSXyaDPMIJ6ld4WshK\n" \

"tHrUEe7fA90rjSULGMZsEcBFtJoq6ZaTjcDco7m6R6CvFBLvps5JBGjbdG07wOgh\n" \

"y7d8vV3rhFuA84LO7O4FX+mBAgMBAAGjggEBMIIBATAdBgNVHQ4EFgQU0MN5VZ8J\n" \

"GRt5JndHRT7g/Po41dMwHwYDVR0jBBgwFoAU0MN5VZ8JGRt5JndHRT7g/Po41dMw\n" \

"DAYDVR0TAQH/BAIwADAdBgNVHSUEFjAUBgggrBgEFBQcDAQYIKwYBBQUHAWIwDgYD\n" \

```

"VR0PAQH/BAQDAgWgMB0GA1UdDgQWBBSuK8C93Yx/ZRPjUTQzLy
ybHZFMjAfBgNV\n" \
"HSMEGDAWgBTSuK8C93Yx/ZRPjUTQzLyybHZFMjAObgNVHQ8BAf8E
BAMCAQYwDQYJ\n" \
"KoZlhvcNAQELBQADggIBABKMav9JzGHfs9oJKjvX1gkL2q6B4Av+Grz7
8y9dz3VR\n" \
"OYb+MdQZ4kKhg/1lbHiVZs6J+uR6NH8ykFEpe8drZxZHLX+xTzBBvW+b
KCAo2vqA\n" \
"cZ9mI/nX10XPOTi+NopC63AYhPbG8fYmUJFTXUj+8YtwxUHZGb9t3bVD
r6CA1oxR\n" \
"TT8iRME2vHvAmHdT\n" \
"-----END CERTIFICATE-----\n";

// SSL/TLS client
WifiClientSecure espClient;
PubSubClient client(espClient);

// HC-12 (UART ke Mega)
#define HC12_RX 16
#define HC12_TX 17
HardwareSerial hc12(2);

// Optional: skip certificate validation (NOT secure for production!)
void setupTLS() {

```

```

    espClient.setInsecure(); // Gunakan ini dulu jika belum pakai sertifikat CA

    // espClient.setCACert(root_ca);
}

void setup_wifi() {
    delay(10);

    Serial.println("Connecting to Wifi...");
    Wifi.begin(ssid, password);
    while (Wifi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }

    Serial.println("\nWifi connected. IP: " + Wifi.localIP().toString());
}

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {

    String msg = "";
    for (int i = 0; i < length; i++) msg += (char)payload[i];

    String area = String(topic).substring(6); // "lampu/areaX"
    String command = area + ":" + msg;
    hc12.println(command);

    Serial.println("Command to Mega: " + command);
}

```

```

}

void reconnect() {

while (!client.connected()) {

    Serial.print("Connecting to MQTT over TLS...");

    // Buat client ID unik dari MAC Address

    String clientId = "ESP32Client-" + Wifi.macAddress();

    clientId.replace(":", ""); // hapus titik dua dari MAC agar valid

    if (client.connect(clientId.c_str(), mqtt_user, mqtt_pass)) {

        Serial.println("connected.");

        client.subscribe(topic_sub);

    } else {

        Serial.print("failed, rc=");

        Serial.print(client.state());

        Serial.println(" retry in 5 seconds");

        delay(5000);

    }

}

}

void setup() {

    Serial.begin(115200);

```

```

hc12.begin(9600, SERIAL_8N1, HC12_RX, HC12_TX);

setup_wifi();
setupTLS();
client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);
client.setCallback(callback);
}

void loop() {
  if (!client.connected()) reconnect();
  client.loop();

  // Baca data arus dari Mega
  if (hc12.available()) {
    String data = hc12.readStringUntil('}');
    data += "}";

    StaticJsonDocument<256> doc;

    DeserializationError err = deserializeJson(doc, data);
    if (!err) {
      String output;

      serializeJson(doc, output);

      client.publish(topic_data, output.c_str());

      Serial.println("Published: " + output);
    } else {

```

```
Serial.println("JSON error.");
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```




Features

▪ ATmega2560 Processor

- Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
- 256k bytes (of which 8k is used for the bootloader)
- 4k bytes EEPROM
- 8k bytes Internal SRAM
- 32 × 8 General Purpose Working Registers
- Real Time Counter with Separate Oscillator
- Four 8-bit PWM Channels
- Four Programmable Serial USART
- Controller/Peripheral SPI Serial Interface

▪ ATmega16U2

- Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
- 16k bytes ISP Flash Memory
- 512 bytes EEPROM
- 512 bytes SRAM
- USART with SPI master only mode and hardware flow control (RTS/CTS)
- Master/Slave SPI Serial Interface

▪ Sleep Modes

- Idle
- ADC Noise Reduction
- Power-save
- Power-down
- Standby
- Extended Standby

▪ Power

- USB Connection
- External AC/DC Adapter

▪ I/O

- 54 Digital
- 16 Analog
- 15 PWM Output

Lampiran N *DataSheet* ESP 32.

Features

Wi-Fi

- 802.11b/g/n
- 802.11n (2.4 GHz), up to 150 Mbps
- WMM
- TX/RX A-MPDU, RX A-MSDU
- Immediate Block ACK
- Defragmentation
- Automatic Beacon monitoring (hardware TSF)
- 4 × virtual Wi-Fi interfaces
- Simultaneous support for Infrastructure Station, SoftAP, and Promiscuous modes
Note that when ESP32 is in Station mode, performing a scan, the SoftAP channel will be changed.
- Antenna diversity

Bluetooth®

- Compliant with Bluetooth v4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specifications
- Class-1, class-2 and class-3 transmitter without external power amplifier
- Enhanced Power Control
- +9 dBm transmitting power
- NZIF receiver with -94 dBm Bluetooth LE sensitivity
- Adaptive Frequency Hopping (AFH)
- Standard HCI based on SDIO/SPI/UART
- High-speed UART HCI, up to 4 Mbps
- Bluetooth 4.2 BR/EDR and Bluetooth LE dual mode controller
- Synchronous Connection-Oriented/Extended (SCO/eSCO)
- CVSD and SBC for audio codec
- Bluetooth Piconet and Scatternet
- Multi-connections in Classic Bluetooth and Bluetooth LE
- Simultaneous advertising and scanning

CPU and Memory

- Xtensa® single-/dual-core 32-bit LX6 microprocessor(s)
- CoreMark® score:
 - 1 core at 240 MHz: 504.85 CoreMark; 2.10 CoreMark/MHz



ACS712

Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kV_{RMS} Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

FEATURES AND BENEFITS

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC-8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



PACKAGE: 8-Lead SOIC (suffix LC)



Not to scale

DESCRIPTION

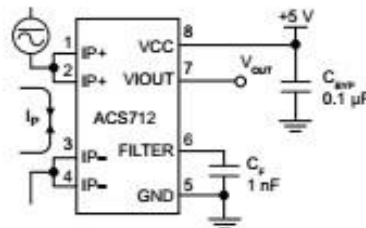
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{\text{OUT}(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_P , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.



Pin	Definition	I/O direction	Notes
1	Vcc		Power supply input, DC3.2V-5.5V, with load capacity not less than 200mA. Note: if the module is working in the transmitting state for an extended time, it is suggested that a 1N4007 diode be connected in series if the supply voltage is greater than 4.5V, to avoid overheating the onboard LDO regulator
2	GND		Common ground
3	RxD	Input (weak pullup)	UART data input, TTL level. 1k resistor connected in series inside the module
4	TxD	Output	UART data output, TTL level. 1k resistor connected in series inside the module
5	SET	Input (10k pullup)	Parameter setting control pin, active low level. 1k resistor connected in series inside the module
6	ANT	Input/Output	433MHz antenna pin
7	GND		Common ground
8	GND		Common ground
9	NC		No connection, used in mechanical fixing, compatible with NC-11 module pin position
ANT1	ANT	Input/Output	IPXEH20279-001E-03 antenna socket
ANT2	ANT	Input/Output	433MHz spring antenna solder eye

92

Lampiran Q Dokumentasi Pengujian



Lampiran R Hasil Turnitin

Similarity Report ID: oid:24600:108978345

PAPER NAME	AUTHOR
RANCANG BANGUN KONTROL DAN MONITORING FLOODLIGHT APRON BERBASIS MIKROKONTROLER .pdf	I Made Dwi Pramudya Darma

WORD COUNT	CHARACTER COUNT
10488 Words	66057 Characters
PAGE COUNT	FILE SIZE
66 Pages	2.9MB
SUBMISSION DATE	REPORT DATE
Aug 20, 2025 9:49 AM GMT+7	Aug 20, 2025 9:50 AM GMT+7

● **14% Overall Similarity**

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 9% Internet database
- 3% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database
- 11% Submitted Works database

PERPUSTAKAAN PPI
CIRIUD TANGERANG

Summary

14% Overall Similarity

Top sources found in the following databases:

- 9% Internet database
- 3% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database
- 11% Submitted Works database

TOP SOURCES

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	scholar.unand.ac.id Internet	<1%
2	ciptakind-publisher.com Internet	<1%
3	Telkom University on 2025-07-04 Submitted works	<1%
4	unimal on 2025-07-17 Submitted works	<1%
5	Universitas Muhammadiyah Purwokerto on 2025-07-10 Submitted works	<1%
6	Telkom University on 2025-07-01 Submitted works	<1%
7	Telkom University on 2025-07-03 Submitted works	<1%
8	Politeknik Negeri Bandung on 2020-09-24 Submitted works	<1%

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



I MADE DWI PRAMUDYA DARMA lahir pada tanggal 4 Juli 2002 di Denpasar, merupakan anak kedua dari pasangan I Wayan Sudarma dan Ni Wayan Narwati, yang beralamat di Jl. Nusakambangan No. 104 G, DPS, Br/Link Beraban, Kelurahan Dauh Puri Kauh, Kecamatan Denpasar Barat, Kota Denpasar, Provinsi Bali. Pendidikan formal penulis dimulai pada tahun 2008 di SD Negeri 2 Dauh Puri dan diselesaikan pada tahun 2014, kemudian dilanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Pertama di SMP Sapta Andika Denpasar pada tahun 2014 hingga 2017. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan di SMK Penerbangan Cakra Nusantara pada tahun 2017 sampai 2020. Pada tahun 2021, penulis melanjutkan studi di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug pada Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara. Selama masa pendidikan, pada tahun 2023/2024 penulis dipercaya menjadi bagian dari struktur pengurus Resimen Korps Taruna dengan menjabat sebagai Polisi Taruna, yang memberikan pengalaman berharga dalam kepemimpinan, kedisiplinan, dan pengelolaan organisasi taruna. Selain itu, penulis juga mendapatkan kesempatan melaksanakan On The Job Training (OJT) di Bandara Halim Perdanakusuma serta di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai, yang memberikan pengalaman praktis dalam bidang kelistrikan bandara.