

# Rancang Bangun Alat Simulasi Sistem Distribusi Kelistrikan pada Pesawat Narrow Body

Shaugi Rahkman Maulana<sup>1</sup>, Teguh Wibowo<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

<sup>1</sup>E-mail : shaugi.rahkman.aer22@polban.ac.id

<sup>2</sup>E-mail : teguh.wibowo@polban.ac.id

## ABSTRAK

Sistem kelistrikan pada pesawat udara merupakan salah satu aspek penting yang mendukung keselamatan dan kelancaran operasional penerbangan. Namun, pemahaman mengenai sistem ini sering kali terbatas karena kurangnya media pembelajaran yang interaktif. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat simulasi distribusi kelistrikan pada pesawat narrow body yang menggabungkan komponen perangkat keras dan pemrograman Arduino. Proyek ini mencakup tahapan desain fisik, pemrograman sistem distribusi daya listrik, serta pengujian dengan skenario normal dan darurat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini dapat berfungsi dengan baik dalam dua mode, yaitu manual dan otomatis, serta mampu menampilkan alur distribusi daya dari berbagai sumber. Dengan adanya alat ini, proses pembelajaran di bidang sistem kelistrikan pesawat menjadi lebih aplikatif dan mudah dipahami.

### Kata Kunci

Simulasi, Distribusi Kelistrikan, Arduino Mega2560, *Narrow Body*.

*Understanding electrical power distribution systems in narrow-body aircraft is essential in aviation engineering education. However, many students struggle to comprehend this system due to the lack of practical simulation tools. This study aims to design and develop a simulation tool using Arduino microcontroller technology. The development includes hardware design, power distribution logic programming, and testing in both manual and automatic modes. The results show that the tool effectively simulates power flow from multiple sources. This simulation device enables students to interactively explore the aircraft's electrical system, enhancing their learning experience.*

### Keywords

*Simulation, Electrical Distribution, Arduino Mega2560, narrow body aircraft.*

## 1. PENDAHULUAN

Dalam dunia penerbangan, sistem kelistrikan berperan penting sebagai penunjang berbagai sistem utama, mulai dari instrumen penerbangan hingga kenyamanan penumpang. Pesawat *narrow body* seperti Airbus A320 menggunakan berbagai sumber daya listrik yang bekerja saling mendukung, seperti *Generator*, *Auxiliary Power Unit*, *Ground Power Unit*, baterai, hingga *Ram Air Turbine*, agar dapat menjamin pasokan daya selama penerbangan (1,2).

Namun, kompleksitas sistem ini menjadi tantangan tersendiri dalam pembelajaran. Mahasiswa teknik aeronautika seringkali kesulitan memahami alur distribusi daya hanya dari teori atau gambar skematik. Oleh karena itu, dibutuhkan media pembelajaran yang dapat memperlihatkan simulasi alur distribusi secara nyata dan interaktif (3).

Melalui tugas akhir ini, tim penulis merancang dan membuat sebuah alat simulasi sistem distribusi kelistrikan berbasis Arduino, yang bertujuan untuk memudahkan mahasiswa dalam memahami fungsi serta alur kerja sistem kelistrikan pesawat *narrow body*. Alat ini dikembangkan sebagai solusi untuk memperkuat pembelajaran praktikum di hanggar Aeronautika Politeknik Negeri Bandung.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Sulaeman, A., dalam judulnya "Rancang Bangun Alat Simulasi Sistem Distribusi Daya Listrik pada Pesawat Terbang B737-6/7/8/900," merancang alat praktikum untuk mendemonstrasikan sistem distribusi daya listrik pesawat. Penelitian ini mencakup pengembangan komponen utama seperti *Transformer Rectifier Unit (TRU)*, *Battery Charger*, dan Inverter yang diuji untuk memastikan fungsinya. Alat simulasi yang dibuat berfungsi baik sebagai media pembelajaran, dengan mengacu pada regulasi CASR Part 21 dan FAR 25 (3).

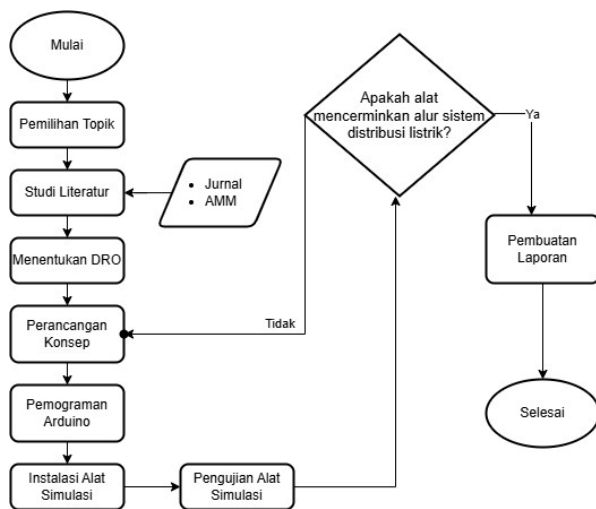
Achmad Frebrian, B., dalam judulnya "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Distribusi Tegangan Listrik AC di Pesawat Udara Berbasis Arduino Uno," merancang alat trainer untuk mendukung pembelajaran sistem kelistrikan pesawat, khususnya distribusi listrik AC. Alat ini menggunakan sensor ZMPT101B, LCD, dan LED bicolor untuk mensimulasikan kerusakan pada generator. Hasil pengujian menunjukkan alat dapat mengukur tegangan hingga 115 V AC secara akurat. Penelitian ini menunjukkan efektivitas integrasi Arduino dalam simulasi sistem kelistrikan pesawat (4).

Rickza M., dalam tugas akhirnya yang berjudul "Rancang Bangun Trainer Distribusi Aliran Listrik DC pada Pesawat

Udara" merancang alat peraga untuk mensimulasikan alur distribusi listrik DC pada pesawat kecil. Alat ini menggunakan beberapa jenis LED (merah, kuning, hijau, dan biru) untuk merepresentasikan beban vital, esensial, non-esensial, dan AC. Sistem dikendalikan secara manual menggunakan *toggle switch*, dan aliran daya disimulasikan melalui busbar serta terminal *block*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua simulasi berhasil dilakukan sesuai dengan kondisi nyata seperti *normal operation* maupun kegagalan *generator*. Alat ini dinilai berhasil menjadi media pembelajaran interaktif bagi mahasiswa (5).

### 3. METODE PENYELESAIAN MASALAH

Metode pemecahan masalah pada penelitian ini dilakukan dengan cara yang terstruktur dan sistematis, diawali dengan studi literatur sebagai dasar pemahaman teori, hingga tahap pengujian untuk memastikan bahwa program yang dirancang dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan sistem. Seluruh tahapan dijalankan secara berurutan agar proses perancangan dan implementasi sistem berlangsung efektif dan terarah. Rangkaian langkah-langkah tersebut ditampilkan pada Gambar 1 berupa flowchart berikut:



Gambar 1. Flowchart Penyelesaian Masalah

#### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh pemahaman teoritis mengenai sistem distribusi kelistrikan pada pesawat *narrow body*, karakteristik sumber daya listrik, komponen pendukung, dan sistem kontrol berbasis mikrokontroler Arduino. Sumber referensi yang digunakan meliputi jurnal ilmiah, buku teknis, *Aircraft Maintenance Manual* (AMM) (6), serta laporan tugas akhir sebelumnya yang membahas desain dan implementasi sistem kelistrikan pesawat. Hasil dari studi ini menjadi dasar dalam menentukan pendekatan perancangan alat simulasi dan pemilihan komponen utama yang tepat.

#### 3.2 Design Requirements and Objectives (DRO)

*Design Requirements and Objectives* (DRO) merupakan aspek fundamental dalam proses perancangan. Rincian spesifikasi yang dirumuskan dalam tahap ini menjadi dasar

dalam setiap keputusan teknis selama proses perancangan. Informasi lengkap mengenai DRO ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Design Requirements and Objectives

Kategori	Kebutuhan/ Tujuan Desain	Nilai
<b>Fungsional</b>		
M	Sistem harus mampu mensimulasikan alur distribusi kelistrikan dari semua sumber daya pesawat ( <i>Engine GEN, APU, External, Battery, EMER GEN</i> ).	-
M	Input tegangan dari Arduino dan output relay digunakan untuk mengalirkan daya ke LED indikator.	± 5 V DC (Input), ± 12 V DC (Output).
M	Tersedia mode manual dan otomatis untuk skenario distribusi daya dengan delay bergantian.	1 detik
W	Setiap jalur distribusi daya dapat diaktifkan dan dinonaktifkan secara otomatis.	-
<b>Operasional</b>		
M	Sistem mampu berjalan terus menerus pada tegangan tertentu.	4 jam pada 12 V DC
M	Sistem dilengkapi dengan panduan/manual penggunaan untuk pengguna.	-
M	Status distribusi daya listrik diindikasikan oleh LED strip untuk menunjukkan sumber daya listrik yang aktif dan jalur distribusi yang digunakan.	-
<b>Keamanan</b>		
W	Rangkaian sistem dirancang agar aman digunakan oleh mahasiswa.	-
<b>Material</b>		
M	Panel dirancang dari bahan mild steel dan mendukung instalasi komponen dengan stabil	-
M	Menggunakan akrilik untuk memudahkan penglihatan dan melindungi komponen elektronik	-
<b>Dimensi</b>		
M	Ukuran fisik alat tidak melebihi batas maksimum untuk keperluan praktikum dan mobilitas.	70 × 50 × 20 cm

#### 3.3 Alat Dan Bahan Yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi berbagai komponen elektronik dan perangkat pendukung yang dirancang untuk membangun sistem simulasi distribusi kelistrikan pesawat *narrow body* yang masing-masing ditunjukkan oleh Tabel 2 dan Tabel 3. Setiap komponen dipilih berdasarkan fungsi, kestabilan, dan kesesuaiannya dengan rancangan sistem.

Tabel 2. Alat yang digunakan

No	Nama Alat	Fungsi	Tahap Penggunaan
1	Laptop	1. Studi Literatur 2. Membuat Rancangan menggunakan software 3. Menulis laporan	Proses studi literatur, Perancangan, Penulisan laporan.
2	Solder	Menyambungkan kabel pada komponen yang pemasangannya harus disolder.	Proses perakitan.
3	Screwdriver	Mengencangkan screw.	Proses perakitan.

4	Cutter	Membuka lapisan isolator dan konduktor kabel.	Proses perakitan.
5	Bor Listrik	Membuat ulir pada box komponen.	Proses perakitan.
6	Mesin gerinda tangan	Memotong dan menghaluskan bagian yang kasar.	Proses perakitan.
7	Vernier Kaliper	Mengukur benda kerja yang perlu diukur.	Proses perakitan.

Tabel 3. Bahan yang digunakan

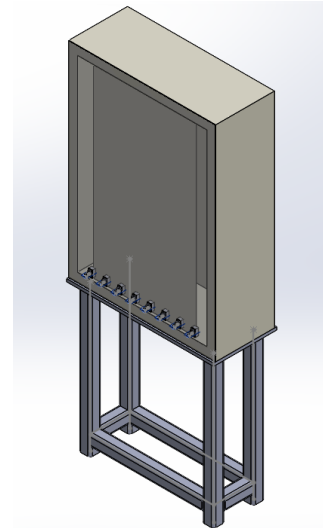
No	Nama Bahan	Fungsi	Tahap Pengerjaan
1	Arduino Mega2560	Mikrokontroler yang berperan sebagai prosessor penghubung antara toggle switch dengan relay dan sebagai perangkat yang dapat mensimulasikan distribusi kelistrikan.	Proses perakitan.
2	Project Board	Memiliki fungsi sebagai alat penghubung kabel dan komponen elektronika.	Proses perakitan.
3	Relay	Berfungsi sebagai saklar otomatis yang memungkinkan perpindahan sumber daya listrik dari satu jalur ke jalur lain	Proses perakitan.
4	Toggle Switch	Berfungsi untuk memutuskan dan menyambungkan aliran listrik.	Proses perakitan.
5	LED Strip	Berfungsi sebagai alat yang dapat memvisualisasikan alur distribusi kelistrikan.	Proses perakitan.
6	Adaptor 12V 5A	Berfungsi untuk memberikan sumber tegangan listrik kedua setelah arduino.	Proses perakitan.
7	Box Komponen	Berfungsi sebagai tempat penyimpanan komponen elektronik.	Proses perakitan.
8	Akrilik	Berfungsi untuk melindungi komponen dari potensi kerusakan.	Proses perakitan.
9	Terminal Blok	Berfungsi untuk menggambarkan komponen nyata di pesawat	Proses perakitan.

### 3.4 Perancangan Komponen dan Rangkaian Sistem Kontrol

Perancangan komponen dan rangkaian sistem kontrol merupakan tahap krusial dalam pengembangan alat simulasi sistem distribusi kelistrikan pesawat narrow body. Pada tahap ini, seluruh komponen elektronik dan kelistrikan dipilih, dirancang, serta diintegrasikan agar dapat berfungsi sesuai skenario distribusi daya. Rangkaian kontrol meliputi mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali, modul *relay* untuk *switching* distribusi daya, hingga LED strip sebagai indikator visual yang merepresentasikan jalur distribusi listrik pesawat. Desain sistem dibuat agar mendukung dua mode kerja, yaitu manual dan otomatis, sehingga alat simulasi dapat menggambarkan kondisi normal maupun darurat secara interaktif dan edukatif (7).

### 3.4.1 Rancangan Panel Alat Simulasi

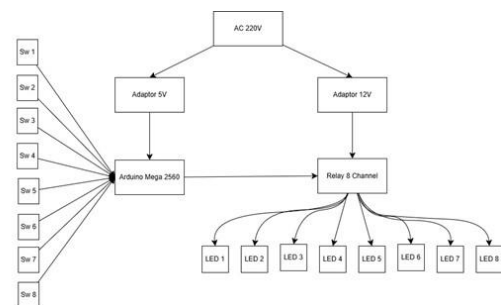
Hasil assembly sistem pada Gambar 2 menunjukkan integrasi seluruh komponen ke dalam panel simulasi distribusi kelistrikan pesawat. *Layout* komponen dirancang untuk memudahkan pengoperasian dan visualisasi alur distribusi daya secara nyata.



Gambar 2. Rancangan Panel Alat Simulasi

### 3.4.2 Block Diagram

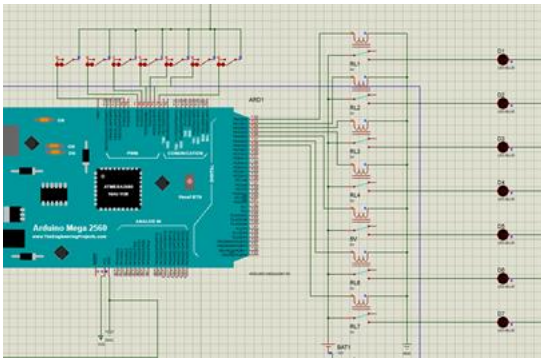
Sistem simulasi distribusi daya listrik ini terdiri dari tiga bagian utama: input berupa *toggle switch* yang mewakili kondisi aktif atau tidaknya sumber daya; kontrol menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang memproses logika distribusi; serta *output* berupa 8 channel relay board dan LED strip yang menampilkan jalur distribusi daya secara visual. LED strip berfungsi sebagai indikator *real-time* yang menunjukkan jalur distribusi daya yang aktif. *Block diagram* secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Block Diagram.

### 3.4.3 Wiring diagram

Wiring diagram disusun untuk menggambarkan koneksi antar komponen dalam sistem simulasi, mulai dari toggle switch sebagai *input*, Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali, hingga relay dan LED strip sebagai *output*. *Diagram* ini berfungsi sebagai acuan dalam proses perakitan fisik, memastikan setiap koneksi sesuai dengan logika distribusi daya yang telah dirancang. *Wiring diagram* ditunjukkan pada Gambar 4.

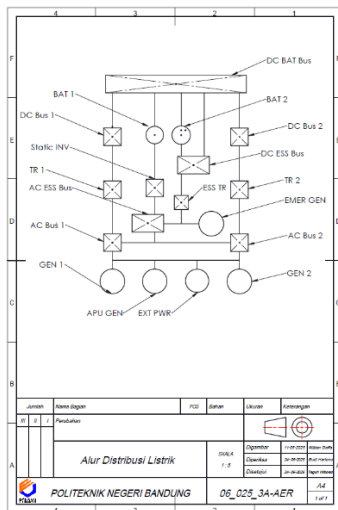


Gambar 4. Wiring Diagram

Pada Gambar 4 ditunjukkan wiring diagram yang menggambarkan hubungan antar komponen dalam sistem simulasi distribusi daya listrik pesawat *narrow body*. *Toggle switch* terhubung ke *pin digital* Arduino Mega 2560 sebagai *input*, sementara *output* Arduino mengontrol modul relay 8 channel yang bekerja sebagai saklar elektronik. *Relay* kemudian mengalirkan arus ke LED strip 12 V sebagai indikator visual jalur distribusi daya. Sistem mendapat suplai daya eksternal 12 V untuk memastikan kestabilan operasi, dan seluruh *ground* komponen dihubungkan menjadi satu untuk menjaga integritas sinyal. Konfigurasi ini memungkinkan pembacaan *input* dan pengendalian *output* secara *real-time*, baik pada mode manual maupun otomatis.

### 3.4.4 Diagram Alur Schematic

Diagram alur schematic ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alur schematic

Perancangan alur dimulai dengan menentukan sumber daya utama yang akan disimulasikan. Setiap sumber daya tersebut akan dihubungkan dengan jalur distribusi daya utama yang diwakili oleh LED strip. Sistem akan mengatur distribusi berdasarkan *input* dari *toggle switch* maupun sinyal otomatis dari Arduino yang dikendalikan oleh program. Untuk memperjelas konsep distribusi, jalur-jalur LED dirancang agar menyala sesuai urutan penyalan sumber daya.

### 3.4.5 Pemograman

Sistem dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang diprogram menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Bahasa ini dipilih karena efisien, ringan, dan kompatibel langsung dengan perangkat Arduino tanpa memerlukan interpreter tambahan (8).

#### 1. Logika Mode Manual

Dalam mode manual, sistem membaca status masing-masing *toggle switch* menggunakan fungsi **digitalRead()**. Jika kondisi aktif terdeteksi (LOW), maka **digitalWrite()** akan mengaktifkan *relay* sesuai dengan logika *aktif-LOW*. Variabel **gen1Active** dan **gen2Active** digunakan untuk mengatur logika *fail-safe*, sehingga salah satu *generator* tetap dapat beroperasi sebagai cadangan apabila sumber utama tidak tersedia (9).

#### 2. Logika Mode Otomatis

Mode otomatis menggunakan pendekatan *non-blocking delay* dengan fungsi **millis()** untuk menghindari penggunaan **delay()** yang dapat menghambat proses pembacaan *input*. Sistem mengaktifkan *relay* satu per satu setiap 1 detik berdasarkan indeks **currentRelay**, dan siklus akan diulang secara terus-menerus menggunakan operator **modulus (%)** terhadap jumlah relay yang digunakan. Keseluruhan logika pemrograman, mulai dari struktur dasar hingga implementasi mode manual dan otomatis, telah dirangkum dalam satu diagram yang ditampilkan pada Gambar 6. Gambar ini mempermudah pemahaman alur kerja sistem simulasi distribusi kelistrikan secara menyeluruh.

```

1 // --- Pin Input Switch (Input) ---
2 const int swGen1 = 21;
3 const int swGen2 = 22;
4 const int swApu = 23;
5 const int swExt = 24;
6 const int swBatt1 = 25;
7 const int swBatt2 = 26;
8 const int swEmer = 27; // MODE OTOMATIS
9 const int swAuto = 28;
10
11 // --- Pin Relay Output (LED Strip) ---
12 const int relayPins[] = {
13   22, // Generator 1
14   23, // Generator 2
15   24, // APU
16   25, // External (GPU)
17   26, // Battery 1
18   27, // Battery 2
19   28, // Emergency Generator
20 };
21 const int numRelays = sizeof(relayPins) / sizeof(relayPins[0]);
22
23 // --- Status dan Timing ---
24 unsigned long lastSwitchTime = 0;
25 int currentRelay = 0;
26 bool lastAutoState = false;
27 bool gen1Active = false;
28 bool gen2Active = false;
29
30 void setup() {
31   // Setup semua switch sebagai input pull-up
32   pinMode(swGen1, INPUT_PULLUP);
33   pinMode(swGen2, INPUT_PULLUP);
34   pinMode(swApu, INPUT_PULLUP);
35   pinMode(swExt, INPUT_PULLUP);
36   pinMode(swBatt1, INPUT_PULLUP);
37   pinMode(swBatt2, INPUT_PULLUP);
38   pinMode(swEmer, INPUT_PULLUP);
39   pinMode(swAuto, INPUT_PULLUP);
40
41   // Setup semua relay sebagai output dan matikan (aktif LOW)
42   for (int i = 0; i < numRelays; i++) {
43     pinMode(relayPins[i], OUTPUT);
44     digitalWrite(relayPins[i], HIGH); // Matikan semua relay
45   }
46
47   Serial.begin(9600);
48   Serial.println("Sistem distribusi dengan mode otomatis reset saat aktif.");
49 }
50
51 void loop() {
52   bool autoMode = digitalRead(swAuto) == LOW;
53
54   // Mode otomatis baru aktif, reset ke awal
55   if (autoMode && !lastAutoState) {
56     currentRelay = 0;
57     lastSwitchTime = millis();
58     Serial.println("Mode Otomatis AKTIF - Reset Urutan");
59   }
60
61   if (autoMode) {
62     unsigned long currentMillis = millis();
63     if (currentMillis - lastSwitchTime >= 4000) {
64       // Matikan semua relay dulu
65       for (int i = 0; i < numRelays; i++) {
66         digitalWrite(relayPins[i], HIGH);
67       }
68
69       // Aktifkan relay saat ini
70       digitalWrite(relayPins[currentRelay], LOW);
71       Serial.print("Otomatis: Aktifkan Relay Ke-");
72       Serial.print(currentRelay + 1);
73       Serial.print(" (Pin ");
74       Serial.print(relayPins[currentRelay]);
75       Serial.println(")");
76
77       currentRelay = (currentRelay + 1) % numRelays;
78       lastSwitchTime = currentMillis;
79     }
80   } else {
81     // --- MODE MANUAL ---
82     bool swGen1State = digitalRead(swGen1) == LOW;
83     bool swGen2State = digitalRead(swGen2) == LOW;
84
85     // Aktifkan status jika tombol ditekan
86     if (swGen1State) gen1Active = true;
87     if (swGen2State) gen2Active = true;
88
89     // Jika dua-duanya tidak ditekan, matikan
90     if (!swGen1State && !swGen2State) {
91       gen1Active = false;
92       gen2Active = false;
93     }
94
95     // Kontrol relay sesuai status
96     digitalWrite(relayPins[0], gen1Active ? LOW : HIGH); // Relay Gen1
97     digitalWrite(relayPins[1], gen2Active ? LOW : HIGH); // Relay Gen2
98
99     // Relay lain langsung dari switch
100    digitalWrite(relayPins[2], digitalRead(swApu) == LOW ? LOW : HIGH);
101    digitalWrite(relayPins[3], digitalRead(swExt) == LOW ? LOW : HIGH);
102    digitalWrite(relayPins[4], digitalRead(swBatt1) == LOW ? LOW : HIGH);
103    digitalWrite(relayPins[5], digitalRead(swBatt2) == LOW ? LOW : HIGH);
104    digitalWrite(relayPins[6], digitalRead(swEmer) == LOW ? LOW : HIGH);
105  }
106
107   lastAutoState = autoMode;
108 }

```

Gambar 6. Hasil Pemrograman

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Perakitan

Tahap ini mencakup pengecekan ulang setiap komponen dan koneksi, penyempurnaan sistem distribusi kelistrikan sesuai dengan *schematic*, serta penataan ulang kabel agar lebih rapi dan aman saat digunakan. Selain itu, dilakukan juga pelabelan pada setiap terminal *block* dan *toggle switch* untuk memudahkan identifikasi fungsi masing-masing bagian oleh pengguna.

Pemasangan komponen seperti Arduino Mega 2560, modul *relay*, LED strip, adaptor 12 V, terminal *block*, dan *project board* telah dilakukan sesuai dengan rancangan. Komponen

tersebut berhasil diintegrasikan didalam *box* panel yang telah dibuat, dengan posisi yang mempermudah proses operasional maupun perawatan.

Pada menunjukkan tampilan fisik hasil perakitan alat simulasi distribusi kelistrikan, di mana seluruh komponen seperti Arduino Mega 2560, *relay*, LED strip, adaptor 12 V, dan terminal *block* telah terpasang rapi di dalam *box* panel. Penempatan komponen disusun sesuai rancangan untuk memastikan kemudahan pengoperasian, perawatan, dan keamanan pengguna.



Gambar 7. Hasil Perakitan

### 4.2 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dalam dua tahap utama, yaitu pengujian komponen secara individual dan pengujian fungsional secara keseluruhan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memverifikasi bahwa setiap komponen berfungsi dengan baik dan seluruh alur distribusi daya dapat disimulasikan secara akurat. Pada Tabel 4 hasil data pengujian fungsional alat peraga.

Tabel 4. Hasil Pengujian

No	Nama Simulasi	Hasil yang diharapkan	Status Keberhasilan	
			YA	TIDAK
1	Kondisi <i>OFF</i> pada alat peraga.	Tidak ada arus listrik yang mengalir pada seluruh komponen.	✓	
2	Simulasi sumber <i>generator 1</i> menyala.	Memastikan <i>toggle switch</i> GEN 1 pada kondisi <i>ON</i> maka LED strip alur <i>generator 1</i> akan menyala.	✓	
3	Simulasi sumber <i>generator 2</i> menyala.	Memastikan <i>toggle switch</i> GEN 2 pada kondisi <i>ON</i> maka LED strip alur <i>generator 2</i> akan menyala.	✓	
4	Simulasi sumber APU menyala.	Memastikan <i>toggle switch</i> APU pada kondisi <i>ON</i> maka LED strip alur APU akan menyala.	✓	
5	Simulasi sumber <i>external</i>	Memastikan <i>toggle switch</i> EXT POWER pada kondisi <i>ON</i> maka LED	✓	

	<i>power</i> menyala.	strip alur <i>external power</i> akan menyala.	
6	Simulasi sumber <i>battery</i> 1 menyala.	Memastikan <i>toggle switch</i> BAT 1 pada kondisi <i>ON</i> maka LED strip alur <i>battery</i> 1 akan menyala.	✓
7	Simulasi sumber <i>battery</i> 2 menyala.	Memastikan <i>toggle switch</i> BAT 2 pada kondisi <i>ON</i> maka LED strip alur <i>battery</i> 2 akan menyala.	✓
8	Simulasi sumber <i>emergency generator</i> (RAT) menyala.	Memastikan <i>toggle switch</i> RAT pada kondisi <i>ON</i> maka LED strip alur <i>emergency generator</i> akan menyala.	✓
9	Simulasi mode <i>auto</i> .	Memastikan <i>toggle switch auto</i> pada kondisi <i>ON</i> maka seluruh LED strip alur distribusi kelistrikan akan menyala secara berurutan dan bergantian dengan <i>delay</i> 1 detik.	✓
10	Simulasi kombinasi.	Memastikan <i>toggle switch</i> GEN 1 dan GEN 2 menyala maka LED strip alur distribusi GEN 1 dan GEN 2 menyala dan jika salah satu <i>switch</i> pada kondisi <i>OFF</i> maka LED akan tetap pada kondisi <i>ON</i> .	✓

### 4.3 Pembahasan

Pembahasan pada bagian ini bertujuan untuk menganalisis dari proses perancangan, perakitan, dan pengujian alat simulasi sistem distribusi kelistrikan yang telah dilakukan. Penilaian dilakukan terhadap kesesuaian alat terhadap *Design Requirement and Objectives*, efektivitas visualisasi distribusi daya, dan aspek fungsional alat dalam mendukung proses pembelajaran.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa alat peraga berhasil merepresentasikan sistem distribusi kelistrikan pesawat *narrow body* dengan baik. Setiap sumber daya listrik seperti GEN 1, GEN 2, APU, EXT POWER, BAT 1, BAT 2, dan EMER GEN dapat disimulasikan secara terpisah melalui *toggle switch* manual, serta secara otomatis melalui mode *auto*. Sistem berhasil menjalankan alur distribusi daya secara visual dengan menggunakan LED strip sebagai indikator, sesuai *schematic* kelistrikan yang dirancang (3).

Dalam pengujian fungsional, setiap skenario yang diuji memberikan hasil yang sesuai dengan ekspektasi. Tidak ditemukan keterlambatan respon atau kesalahan *switching* antar jalur. LED strip menyala dengan terang dan stabil, menunjukkan bahwa penggunaan *power supply* tambahan 12 V untuk sistem *output* sangat tepat, mengingat Arduino tidak cukup kuat untuk menghidupkan LED langsung dalam jumlah besar.

Namun demikian, terdapat beberapa kekurangan yang menjadi catatan, antara lain:

1. Alat belum mensimulasikan kondisi gangguan sistem seperti arus lebih atau kegagalan sumber daya.
2. *Output* hanya bersifat visual tanpa integrasi pembacaan digital (misalnya LCD display tegangan).

Secara keseluruhan, alat telah memenuhi sebagian besar tujuan dari rancang bangun dan mampu berfungsi dengan baik sebagai alat bantu praktikum untuk memahami sistem distribusi kelistrikan pesawat *narrow body*.

Proses pemrograman dilakukan menggunakan perangkat lunak Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++ untuk mengatur logika distribusi daya kelistrikan pada pesawat *narrow body*. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560 karena memiliki jumlah pin digital *input/output* yang memadai untuk menangani seluruh input dari *toggle switch* serta *output* menuju *relay* (8).

Struktur program dibagi ke dalam beberapa bagian utama sebagai berikut:

#### 1. Inisialisasi Pin

Seluruh *pin input* dan *output* dideklarasikan menggunakan variabel agar lebih mudah dibaca, dipahami, dan diubah jika diperlukan. Input berasal dari *toggle switch*, sedangkan *output* berfungsi untuk mengendalikan *relay* yang terhubung dengan LED strip sebagai indikator distribusi daya (8).

#### 2. Fungsi *setup()*

Pada fungsi ini, seluruh pin dikonfigurasi menggunakan perintah *pinMode()*. *Pin input* diatur sebagai *INPUT\_PULLUP* karena sistem *toggle switch* bekerja dengan logika *LOW* saat aktif. Sementara itu, *pin output* diatur sebagai *OUTPUT* untuk mengontrol *relay* (8).

#### 3. Fungsi *loop()*

Bagian inti program terletak di fungsi ini. Sistem akan membaca status *toggle switch* dan menjalankan logika distribusi daya berdasarkan mode operasi yang dipilih, yaitu:

1. Mode manual: Jika *toggle swAuto* dalam kondisi *OFF*, sistem hanya mengaktifkan jalur distribusi sesuai dengan posisi masing-masing *toggle switch* secara individual.
2. Mode otomatis: Jika *toggle swAuto* dalam kondisi *ON*, sistem akan secara otomatis mengaktifkan jalur distribusi secara berurutan, dimulai dari GEN 1 hingga EMER GEN, dengan jeda waktu sekitar 1 detik sebelum kembali mengulang siklus.

Selain itu, sistem juga dilengkapi logika *fail-safe* pada jalur GEN 1 dan GEN 2. Jika salah satu *toggle switch* diaktifkan, sistem tetap menjaga jalur tersebut tetap menyala sebagai bentuk redundansi distribusi daya, sesuai prinsip sistem kelistrikan pesawat.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perancangan, perakitan, dan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat simulasi sistem distribusi kelistrikan telah berhasil dirancang dan dibuat yang dapat mensimulasikan alur daya dari berbagai sumber kelistrikan.
2. Program pengendali sistem berbasis Arduino Mega 2560 telah berhasil dikembangkan dan diimplementasikan. Program tersebut memiliki dua mode kerja, yaitu mode manual yang memungkinkan pengendalian langsung melalui saklar, serta mode otomatis yang mengaktifkan jalur distribusi secara berurutan dengan jeda waktu antaraktivasi.
3. Berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi, sistem telah memenuhi kriteria yang ditentukan dalam *Design Requirement and Objective* (DRO), antara lain kestabilan operasional minimal selama empat jam, tegangan kerja yang sesuai ( $\pm 5$  V DC untuk *input* Arduino dan  $\pm 12$  V DC untuk *output* LED), serta dimensi panel yang masih dalam batas wajar untuk kegiatan praktikum.
4. Sistem indikator visual menggunakan LED strip berhasil merepresentasikan status aktif dari masing-masing jalur distribusi, sehingga mempermudah pengguna dalam memahami kondisi sistem kelistrikan pesawat secara praktis dan interaktif.
5. Secara umum, alat ini dapat berfungsi dengan baik dan layak digunakan sebagai sarana bantu pembelajaran di

lingkungan pendidikan vokasi, khususnya pada mata kuliah yang berkaitan dengan sistem kelistrikan pesawat udara.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Wiralestari, Arum EDP, Wijaya R, Friyani R. Edukasi Integrated Drive Generator pada Sistem Kelistrikan Pesawat Terbang Bagi Siswa di SMK Penerbangan AAG Adisutjipto Integrated. *Abdimas Galuh*. 2024;6(1):1–8.
2. Madonna V, Giangrande P, Galea M. Electrical power generation in aircraft: Review, challenges, and opportunities. *IEEE Trans Transp Electrification*. 2018;4(3):646–59.
3. Sulaeman A. Rancang Bangun Alat Simulasi Sistem Distribusi Daya Listrik pada Pesawat Udara B737-6/7/8/900. *Digilib POLBAN*. 2016;1–48.
4. Ahmad F B. Rancang bangun sistem pengukuran distribusi tegangan listrik ac di pesawat udara berbasis arduino uno. 2024;
5. Rickza M. Rancang Bangun Trainer Distribusi Aliran Listrik DC pada Pesawat Udara. 2022;
6. Airbus. *Aircraft Maintenance Manual - A318,A319,A320,A321*.
7. Woodburn D. *Modeling And Simulation Of All-electric Aircraft Power Generation And Actuation*. 2013;
8. Ismailov AS, Jo'rayev ZB. Study of arduino microcontroller board. "Science Educ Sci J [Internet].
9. Ghani. Fungsi `pinMode()`, `digitalRead()` dan `digitalWrite()` pada Arduino – purwarupa3d [Internet].