Rancang Bangun Alat Peraga Dinamika Terbang Pesawat Udara: Implementasi Sistem Kelistrikan

Kusnandar[1], Muhammad Thariq Abdullah[2], Muhammad Rizki Zuhri[3]

[1]*Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail: kusnandar.aer23@polban.ac.id
[2]*Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail: muhammad.thariq.aer23@polban.ac.id
[3]*Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail: muhammad.rizki@polban.ac.id

ABSTRAK

Dinamika terbang pesawat udara merupakan salah satu materi penting dalam bidang aeronautika karena mempelajari perubahan sikap pesawat pada sumbu *roll*, *pitch*, dan *yaw* akibat gaya aerodinamika yang bekerja selama penerbangan. Penyampaian materi tersebut umumnya masih menggunakan media berupa gambar atau simulasi komputer sehingga kurang memberikan visualisasi perubahan orientasi pesawat secara nyata. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kelistrikan pada alat peraga dinamika terbang pesawat udara berbasis Arduino Uno sebagai media pembelajaran interaktif. Sistem dikembangkan menggunakan tiga motor servo yang merepresentasikan gerakan pada sumbu *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Arduino Uno berfungsi sebagai pengendali utama yang menerima data sudut dari MATLAB melalui komunikasi serial, kemudian mengubah data tersebut menjadi sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengendalikan masing-masing servo. Pengujian dilakukan dalam dua tahap, yaitu menggunakan *Serial Monitor* Arduino IDE dan melalui integrasi dengan MATLAB. Hasil pengujian menggunakan *Serial Monitor* menunjukkan bahwa ketiga servo dapat bekerja sesuai dengan data masukan. Sementara itu, pada pengujian integrasi dengan MATLAB, servo pada sumbu *pitch* dan *yaw* mampu memberikan **respons** sesuai data yang dikirimkan, sedangkan servo pada sumbu *roll* belum memberikan **respons** sehingga masih memerlukan penyempurnaan pada proses komunikasi data. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan telah mampu merealisasikan integrasi antara MATLAB dan Arduino serta memvisualisasikan perubahan sikap pesawat pada alat peraga sebagai media pembelajaran dinamika terbang pesawat udara.

Kata Kunci:
Arduino Uno, MATLAB, dinamika terbang pesawat

Aircraft Flight dynamics is one of the fundamental subjects in the field of aeronautics, as it studies changes in aircraft attitude along the roll, pitch, and yaw axes caused by aerodynamic forces during flight. This topic is generally delivered through static images or computer simulations, which provide limited visualization of the aircraft's actual attitude changes. This study aims to design and implement an electrical system for an Arduino Uno-based aircraft flight dynamics demonstration model as an interactive learning medium. The system was developed using three servo motors representing the roll, pitch, and yaw axes. The Arduino Uno functions as the main controller by receiving angular position data from MATLAB through serial communication and converting the data into Pulse Width Modulation (PWM) signals to control the servo motors. System performance was evaluated through two testing stages: using the Arduino IDE Serial Monitor and through integration with MATLAB. The results showed that all three servo motors operated correctly during the Serial Monitor test. However, during MATLAB integration, the pitch and yaw servos responded correctly to the transmitted data, while the roll servo did not respond and therefore requires further improvement in the serial communication process. Overall, the developed system successfully demonstrated the integration between MATLAB and Arduino and was able to visualize aircraft attitude changes, making it suitable as a learning medium for aircraft flight dynamics.

Keywords:
Arduino Uno, MATLAB, flight dynamics

1. PENDAHULUAN

Dinamika terbang pesawat udara merupakan salah satu cabang ilmu dalam bidang aeronautika yang mempelajari perilaku gerak pesawat sebagai akibat dari interaksi gaya aerodinamika selama penerbangan. Perubahan gaya angkat (*lift*), gaya hambat (*drag*), gaya dorong (*thrust*), dan gaya berat (*weight*) akan memengaruhi perubahan sikap pesawat pada tiga sumbu utama, yaitu *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Pemahaman terhadap perubahan sikap tersebut menjadi kompetensi dasar yang harus dikuasai oleh mahasiswa teknik aeronautika karena berkaitan langsung dengan prinsip kestabilan, pengendalian, dan keselamatan penerbangan (1,2).

Dalam proses pembelajaran, materi dinamika terbang umumnya disampaikan menggunakan buku ajar, gambar, animasi, maupun simulasi berbasis komputer. Media tersebut cukup membantu dalam menjelaskan konsep teoritis, namun masih memiliki keterbatasan dalam memperlihatkan hubungan antara data masukan dengan perubahan orientasi pesawat secara fisik. Akibatnya, mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam memahami bagaimana perubahan sudut pada masing-masing sumbu memengaruhi sikap pesawat secara langsung (3,4).

Beberapa penelitian telah mengembangkan simulator maupun alat peraga sebagai media pembelajaran dinamika terbang. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan media pembelajaran interaktif mampu meningkatkan pemahaman konsep dibandingkan penyampaian materi secara konvensional (5,6). Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada simulasi berbasis perangkat lunak atau visualisasi gerakan tertentu sehingga implementasi sistem kelistrikan dan integrasi antara perangkat lunak dengan perangkat keras masih relatif terbatas (7,8). Oleh karena itu, masih diperlukan pengembangan alat peraga yang mampu menghubungkan hasil simulasi dengan visualisasi gerakan pesawat secara nyata.

Salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem kendali adalah mikrokontroler Arduino Uno. Arduino memiliki keunggulan berupa kemudahan pemrograman, biaya yang relatif rendah, serta kemampuan berkomunikasi dengan berbagai perangkat lunak, termasuk MATLAB, melalui komunikasi serial (9,10). Pada penelitian ini, Arduino Uno digunakan sebagai pengendali utama yang menerima data sudut hasil simulasi dari MATLAB, kemudian mengubah data tersebut menjadi sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengendalikan tiga motor servo sebagai representasi gerakan *roll*, *pitch*, dan *yaw*.

Penelitian ini merupakan bagian dari pengembangan alat peraga dinamika terbang pesawat udara dengan fokus pada implementasi sistem kelistrikan. Ruang lingkup penelitian meliputi perancangan rangkaian kelistrikan, pemrograman Arduino, integrasi komunikasi serial dengan MATLAB, serta pengujian kinerja sistem berdasarkan respons motor servo terhadap perubahan sudut yang diberikan. Melalui integrasi tersebut diharapkan alat peraga mampu memperlihatkan perubahan sikap pesawat secara lebih nyata sehingga dapat mendukung proses pembelajaran dinamika terbang.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kelistrikan berbasis Arduino Uno untuk mengendalikan tiga motor servo berdasarkan data simulasi dari MATLAB, serta mengevaluasi kinerja sistem sebagai media demonstrasi dinamika terbang pesawat udara.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kajian mengenai dinamika terbang pesawat udara telah banyak dilakukan sebagai dasar untuk memahami perilaku pesawat pada sumbu roll, pitch, dan yaw. Salah satu referensi utama adalah buku Dynamics of Flight: Stability and Control karya Etkin dan Reid (10) yang menjelaskan prinsip kestabilan dan kendali pesawat secara matematis. Meskipun memberikan landasan teori yang kuat, pembahasannya belum dilengkapi dengan media visual maupun alat peraga fisik sebagai sarana pembelajaran.

Berbagai penelitian telah mengembangkan simulator dan alat peraga untuk mendukung pembelajaran dinamika terbang. Al Rauf dkk.(2) mengembangkan platform gerak simulator pesawat berbasis sistem kelistrikan, Darmawan dan Wibowo(3) merancang miniatur control surface pesawat Cessna 172, sedangkan Junaidin dkk.(4) mengembangkan simulator semi real-world. Penelitian tersebut berkontribusi sebagai media pembelajaran, namun masih berfokus pada simulasi atau fungsi permukaan kendali dan belum memvisualisasikan perubahan sikap pesawat akibat gangguan selama fase penerbangan.

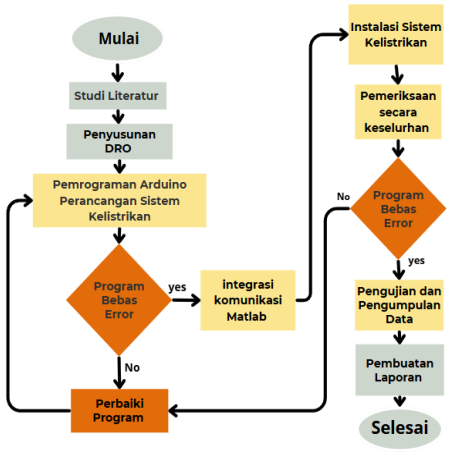
Implementasi sistem kendali berbasis Arduino juga telah banyak diterapkan. Taryana dkk.(7) menunjukkan bahwa Arduino mampu mengendalikan aktuator servo secara andal, sedangkan Chaeroni(8) dan Junaidin(2) menunjukkan bahwa alat peraga berbasis sistem kelistrikan dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep gerak dan kendali pesawat. Namun, implementasinya masih terbatas pada kondisi penerbangan normal. Penelitian Hantoro dkk. menunjukkan bahwa Arduino Uno juga dapat digunakan sebagai pengendali pada simulator flight control pesawat dengan servo motor sebagai aktuator. Simulator tersebut dirancang untuk mendukung kegiatan pembelajaran dan mampu memperagakan gerakan rudder berdasarkan perintah yang diberikan. (15)

Kajian mengenai kestabilan pesawat juga dilakukan oleh Hauzaan dan Zuhri(6) menggunakan DATCOM, serta Zuhri(9) dan Zuhri, Islami, dan Rosalia(10) melalui simulasi gangguan dan kegagalan sistem kendali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gangguan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan sikap pesawat, tetapi implementasinya masih terbatas pada simulasi perangkat lunak.

Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini mengembangkan alat peraga dinamika terbang pesawat udara berbasis sistem kelistrikan yang mengintegrasikan sistem kendali Arduino dengan visualisasi gerakan roll, pitch, dan yaw sebagai media pembelajaran dinamika terbang.

3. METODE PENYELESAIAN MASALAH

Metodologi penelitian disusun sebagai pedoman dalam proses perancangan, implementasi, dan pengujian alat peraga dinamika terbang pesawat udara berbasis sistem kelistrikan. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari studi literatur, penyusunan Design Requirements and Objectives (DRO), perancangan sistem, implementasi, integrasi MATLAB dengan Arduino, hingga pengujian dan evaluasi sistem. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1
Flowchart metodologi penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh dasar teori mengenai dinamika terbang, sistem kendali, komunikasi serial, Arduino Uno, motor servo, dan MATLAB. Selanjutnya disusun Design Requirements and Objectives (DRO) sebagai acuan dalam menentukan spesifikasi sistem yang harus dipenuhi.

Berdasarkan DRO, dilakukan perancangan sistem kelistrikan dan pengembangan program Arduino. Sistem kelistrikan meliputi pemilihan komponen, perancangan distribusi catu daya, dan pengkabelan, sedangkan program Arduino dikembangkan untuk menerima data sudut dari MATLAB melalui komunikasi serial dan mengubahnya menjadi sinyal **Pulse Width Modulation (PWM)** guna mengendalikan tiga motor servo.

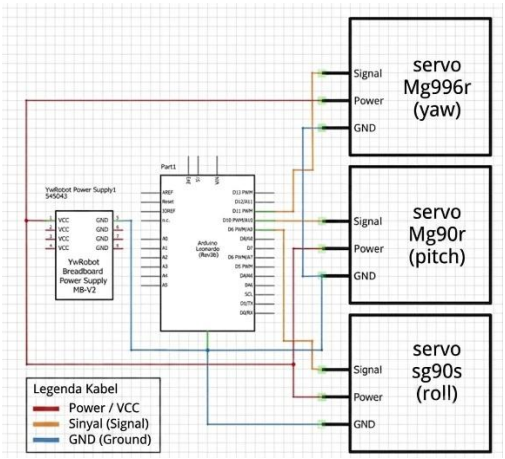
Tahap berikutnya adalah integrasi MATLAB dengan Arduino Uno. MATLAB mengirimkan data sudut **roll**, **pitch**, dan **yaw** melalui komunikasi serial, kemudian Arduino memproses data tersebut menjadi sinyal PWM untuk menggerakkan servo. Setelah proses integrasi selesai, seluruh komponen dipasang pada alat peraga sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

Tahap terakhir adalah pengujian dan evaluasi sistem. Pengujian dilakukan dalam dua tahap, yaitu menggunakan **Serial Monitor** Arduino IDE untuk memverifikasi fungsi program, kemudian dilanjutkan dengan pengujian setelah integrasi MATLAB untuk mengevaluasi respon alat peraga terhadap perubahan sudut pada sumbu **roll**, **pitch**, dan **yaw**. Hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian sistem terhadap spesifikasi yang telah ditetapkan pada DRO.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem Kelistrikan

Implementasi sistem kelistrikan merupakan tahap realisasi dari rancangan yang telah disusun pada tahap metodologi. Pada tahap ini seluruh komponen dirangkai menjadi satu sistem yang berfungsi mengendalikan alat peraga dinamika terbang pesawat udara. Sistem dirancang agar mampu menyediakan catu daya yang stabil bagi aktuator sekaligus memungkinkan Arduino Uno mengendalikan pergerakan servo berdasarkan data sudut yang dikirimkan dari MATLAB. Skematik sistem kelistrikan ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Skematik sistem kelistrikan

Berdasarkan Gambar 4.1, Arduino Uno berfungsi sebagai pengendali utama yang menerima data sudut dari MATLAB melalui komunikasi serial, kemudian mengonversi data tersebut menjadi sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang dikeluarkan melalui pin digital 9, 10, dan 11 untuk mengendalikan servo pada sumbu *yaw*, *pitch*, dan *roll*. Servo MG996R digunakan pada sumbu yaw, MG90R pada sumbu pitch, sedangkan SG90S digunakan pada sumbu roll. Seluruh servo memperoleh catu daya dari modul MB102, sedangkan Arduino hanya menghasilkan sinyal kendali. Ground Arduino dan catu daya eksternal dihubungkan menggunakan common ground agar sinyal PWM dapat diterima dengan baik oleh seluruh servo.

Pada implementasinya terdapat perubahan jenis servo dibandingkan rancangan awal. Servo pada sumbu yaw diganti menjadi MG996R karena membutuhkan torsi yang lebih besar, sedangkan servo pada sumbu pitch menggunakan MG90R untuk memperoleh keseimbangan antara ukuran dan torsi. Servo SG90S tetap digunakan pada sumbu roll karena beban mekaniknya relatif ringan. Perbandingan spesifikasi ketiga servo ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan spesifikasi servo

Parameter	MG996R (Yaw)	MG90r (Pitch)	SG90S (Roll)
Tegangan kerja	4,8–7,2 V	4,8–6 V	4,8–6 V
Torsi maksimum	±11 kg·cm	±2,2 kg·cm	±1,8 kg·cm
Kecepatan	±0,17 s/60°	±0,10 s/60°	±0,12 s/60°
Jenis gear	Metal gear	Metal gear	Plastic gear
Sudut operasi	0–180°	0–180°	0–180°
Fungsi pada alat peraga	Yaw	Pitch	Roll

Berdasarkan Tabel 4.1, pemilihan servo pada setiap sumbu disesuaikan dengan kebutuhan torsi dan beban mekanik yang berbeda. Servo MG996R digunakan pada sumbu *yaw* karena memiliki torsi paling besar, servo MG90S digunakan pada sumbu *pitch* untuk memperoleh keseimbangan antara dimensi dan kemampuan menahan beban, sedangkan servo SG90S masih memadai untuk sumbu *roll* yang menerima beban relatif ringan. Meskipun memiliki karakteristik mekanik yang berbeda, ketiga servo menggunakan metode pengendalian PWM dengan rentang operasi yang sama sehingga tidak diperlukan perubahan pada algoritma program Arduino.

Untuk menjaga kestabilan sistem, ketiga servo menggunakan catu daya eksternal 5 V dengan konfigurasi paralel, sedangkan Arduino Uno hanya berfungsi menghasilkan sinyal PWM. Pemisahan jalur daya dan jalur kendali dilakukan karena kebutuhan arus servo relatif lebih besar dibandingkan kemampuan keluaran Arduino. Selain itu, penerapan *common ground* memastikan Arduino dan seluruh servo memiliki referensi tegangan yang sama sehingga sinyal PWM dapat diterima dengan baik selama sistem beroperasi.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem kelistrikan telah bekerja sesuai dengan rancangan yang telah disusun. Penggunaan catu daya eksternal, konfigurasi paralel, serta penerapan *common ground* mampu menjaga kestabilan suplai daya dan komunikasi antara Arduino dengan ketiga servo. Dengan konfigurasi tersebut, sistem mampu mengendalikan servo pada sumbu *yaw*, *pitch*, dan *roll* secara stabil sehingga alat peraga dapat memvisualisasikan perubahan sikap pesawat sesuai dengan data sudut yang diberikan.

4.2 Implementasi Pemrograman Arduino

Implementasi pemrograman Arduino merupakan tahap pengembangan perangkat lunak sebagai sistem kendali utama pada alat peraga dinamika terbang pesawat udara. Program dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C++ dan berfungsi menerima data sudut dari MATLAB melalui komunikasi serial, kemudian mengubahnya menjadi sinyal Pulse Width Modulation (PWM) untuk mengendalikan tiga servo pada sumbu yaw, pitch, dan roll.

Program diawali dengan inisialisasi komunikasi serial, konfigurasi servo, serta penentuan posisi awal servo pada sudut 90° sebagai kondisi netral. Komunikasi serial menggunakan baud rate 115200 bps, sedangkan data sudut dikirim dalam format *float*. Struktur FloatUnion digunakan untuk mengonversi data serial bertipe byte menjadi nilai *float* sehingga dapat diproses oleh Arduino,untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam gambar 4.2 Inisialisasi komunikasi serial dan servo.

```
#include <Servo.h>

Servo servoYaw;
Servo servoPitch;
Servo servoRoll;

const int pinYaw = 9;
const int pinPitch = 10;
const int pinRoll = 11;

const unsigned long baudrate = 115200;
```

Gambar 4.2 Inisialisasi komunikasi serial dan servo

Selanjutnya Arduino membaca data yang dikirim MATLAB secara periodik. Data hanya diproses apabila seluruh paket data telah diterima, yaitu sebanyak 12 byte yang mewakili tiga nilai *float*. Setiap nilai kemudian divalidasi agar tetap berada pada rentang operasi servo (0°–180°) sebelum digunakan sebagai sudut target,untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam gambar 4.3 Pembacaan dan validasi data serial.

```
  float inputYaw = bacaFloat32();
  float inputPitch = bacaFloat32();
  float inputRoll = bacaFloat32();

  if (!targetValid(inputYaw) ||
      !targetValid(inputPitch) ||
      !targetValid(inputRoll)) {
    while (Serial.available() > 0) {
      Serial.read();
    }
    return;
  }

  targetYaw = inputYaw;
  targetPitch = inputPitch;
  targetRoll = inputRoll;
}
```

Gambar 4.3 Pembacaan dan validasi data serial

Data yang telah divalidasi kemudian dikonversi menjadi sinyal PWM menggunakan fungsi writeMicroseconds(). Metode ini menghasilkan lebar pulsa sebesar 1000–2000 µs sehingga posisi servo dapat dikendalikan dengan lebih presisi dibandingkan penggunaan fungsi write(),untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam gambar 4.4 Pengiriman sinyal PWM ke servo.

```
void tulisServo() {
  servoYaw.writeMicroseconds(sudutKePulsa(sudutYaw));
  servoPitch.writeMicroseconds(sudutKePulsa(sudutPitch));
  servoRoll.writeMicroseconds(sudutKePulsa(sudutRoll));
}
```

Gambar 4.4 Pengiriman sinyal PWM ke servo

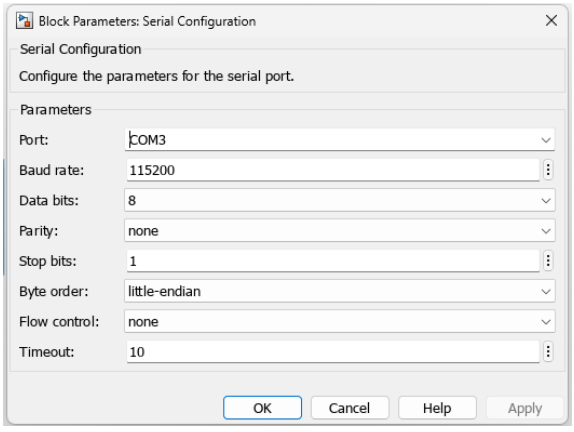
Seluruh proses dijalankan secara berulang dalam fungsi loop() dengan interval pembaruan 10 ms. Pada setiap siklus, Arduino membaca data terbaru, memperbarui sudut target, kemudian menghasilkan sinyal PWM untuk menggerakkan ketiga servo secara independen.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa program mampu menerima dan memvalidasi data sudut dari MATLAB, mengonversinya menjadi sinyal PWM, serta mengendalikan servo sesuai dengan sudut yang diberikan. Pengujian awal menggunakan Serial Monitor juga menunjukkan bahwa algoritma komunikasi serial dan pengendalian servo telah berjalan dengan baik sebelum dilakukan integrasi dengan MATLAB.

4.3 Implementasi Integrasi MATLAB

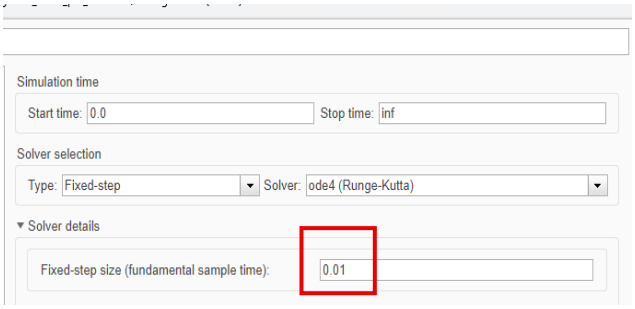
Setelah implementasi sistem kelistrikan dan pemrograman Arduino selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah mengintegrasikan Arduino Uno dengan MATLAB melalui komunikasi serial. Integrasi ini bertujuan menghubungkan data hasil simulasi pada MATLAB dengan alat peraga sehingga perubahan sikap pesawat dapat divisualisasikan melalui pergerakan servo pada sumbu yaw, pitch, dan roll.

Tahap awal dilakukan dengan mengonfigurasi parameter komunikasi, meliputi COM Port, baud rate, dan sample time, agar MATLAB dan Arduino dapat berkomunikasi secara sinkron. Konfigurasi COM Port pada Simulink disesuaikan dengan port Arduino yang terdeteksi pada komputer, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Konfigurasi COM Port Arduino pada MATLAB

Selain COM Port, baud rate pada MATLAB dan Arduino disamakan sebesar 115200 bps untuk menjaga kesesuaian kecepatan pengiriman dan pembacaan data. Selanjutnya, *sample time* pada Simulink disesuaikan dengan interval pembacaan data Arduino, yaitu 0,01 detik (10 ms) agar proses komunikasi berlangsung secara sinkron. Pengaturan *sample time* ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Penyamaan *sample time* pada MATLAB dan Arduino

Setelah konfigurasi selesai, MATLAB mengirimkan tiga data sudut yang merepresentasikan sumbu yaw, pitch, dan roll melalui komunikasi serial. Arduino kemudian membaca dan memvalidasi data tersebut sebelum mengonversinya menjadi sinyal Pulse Width Modulation (PWM) menggunakan fungsi writeMicroseconds() untuk mengendalikan servo pada masing-masing sumbu.

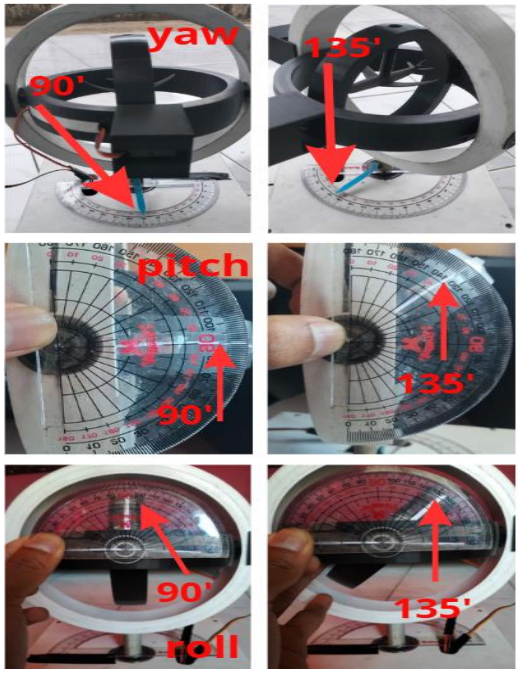
Hasil implementasi menunjukkan bahwa komunikasi serial antara MATLAB dan Arduino telah berhasil direalisasikan sesuai dengan rancangan. Kesesuaian COM Port, baud rate, *sample time*, dan format data memungkinkan Arduino menerima data hasil simulasi dan menerjemahkannya menjadi sinyal kendali servo. Evaluasi terhadap kinerja sistem selanjutnya dilakukan melalui pengujian menggunakan Serial Monitor Arduino IDE dan pengujian setelah integrasi MATLAB sebagaimana dibahas pada subbab berikutnya.

4.4 Pengujian Sistem Menggunakan Serial Monitor Arduino

Pengujian awal dilakukan menggunakan Serial Monitor Arduino IDE untuk memverifikasi fungsi program, komunikasi serial, sistem kelistrikan, dan aktuator. Pada tahap ini, nilai sudut diberikan secara manual melalui Serial Monitor, kemudian dibaca oleh Arduino Uno dan diubah menjadi sinyal PWM untuk mengendalikan servo MG996R (yaw), MG90R (pitch), dan SG90S (roll).

Melalui Serial Monitor, pengguna dapat memasukkan nilai sudut secara langsung ke Arduino sebagai data masukan siste Data yang diterima Arduino diproses sebagai sudut target masing-masing servo, kemudian digunakan untuk menggerakkan aktuator sesuai nilai masukan yang diberikan.

Hasil pengamatan pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa replika pesawat mampu mengikuti perubahan posisi yang dihasilkan oleh ketiga servo. Perubahan nilai sudut menghasilkan perubahan orientasi pesawat pada sumbu yaw, pitch, dan roll sesuai dengan masukan yang diberikan. Selain itu, pergerakan servo terlihat stabil tanpa gangguan yang berarti selama proses pengujian.



Gambar 4.7 Kondisi alat peraga saat pengujian menggunakan Serial Monitor

Untuk mengevaluasi respon sistem, dilakukan pengujian menggunakan beberapa variasi nilai sudut dengan posisi awal servo sebesar 90°. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Program Arduino Menggunakan Serial Monitor

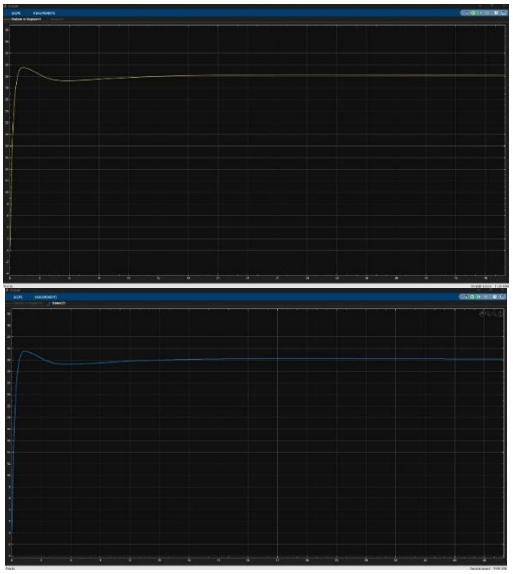
No	Sumbu	Input (°)	Respon Servo	Keterangan
1	Yaw	45	135°	Sesuai
2	Pitch	45	135°	Sesuai
3	Roll	45	135°	Sesuai
4	Yaw	20	110°	Sesuai
5	Pitch	20	110°	Sesuai
6	Roll	20	110°	Sesuai
7	Yaw	15	105°	Sesuai
8	Pitch	15	105°	Sesuai
9	Roll	15	105°	Sesuai

Berdasarkan Tabel 4.2, seluruh servo mampu merespon perubahan nilai sudut sesuai dengan data masukan. Servo MG996R, MG90R, dan SG90S bergerak menuju posisi yang diharapkan pada setiap pengujian, sehingga menunjukkan bahwa proses pembacaan data serial, konversi sudut menjadi sinyal PWM, dan pengendalian servo telah berjalan sesuai perancangan.

Selama pengujian, tidak ditemukan gejala *voltage drop*, getaran berlebihan, maupun *reset* pada Arduino ketika ketiga servo bekerja secara bersamaan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan catu daya eksternal dan penerapan *common ground* mampu menjaga kestabilan sistem. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat keras dan perangkat lunak telah bekerja dengan baik serta siap untuk tahap integrasi dengan MATLAB.

4.5 Pengujian Sistem Setelah Integrasi dengan MATLAB

Untuk memastikan bahwa data hasil simulasi telah dikirim dengan benar menuju Arduino, dilakukan pengamatan terhadap sinyal keluaran pada model Simulink menggunakan Scope. Pada pengujian ini diberikan masukan sebesar 30° pada model simulasi, kemudian dibandingkan antara gerakan pesawat hasil simulasi dengan data yang dikirim melalui komunikasi serial menuju Arduino.



Gambar 4.8 Perbandingan gerakan hasil simulasi dengan sinyal yang dikirim ke Arduino

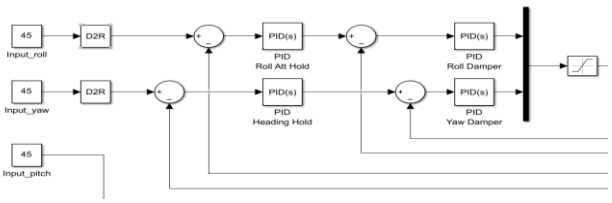
Berdasarkan Gambar 4.8, kurva berwarna kuning menunjukkan gerakan pesawat hasil simulasi di MATLAB, sedangkan kurva berwarna biru menunjukkan data yang dikirim menuju Arduino melalui komunikasi serial. Terlihat bahwa kedua kurva memiliki bentuk yang sama dan saling berhimpit selama proses simulasi berlangsung. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa nilai sudut yang dihasilkan oleh model Simulink telah berhasil dikirim tanpa mengalami perubahan yang signifikan.

Kesesuaian kedua kurva tersebut menunjukkan bahwa proses pembangkitan data pada MATLAB serta proses pengiriman data melalui komunikasi serial telah berjalan sesuai dengan perancangan. Dengan demikian, data sudut yang diterima Arduino telah merepresentasikan gerakan pesawat yang dihasilkan oleh simulasi. Hasil ini juga mengindikasikan bahwa apabila terjadi perbedaan respon pada aktuator, penyebabnya bukan berasal dari model simulasi MATLAB, melainkan diduga berada pada proses pembacaan data serial atau pengolahan data di sisi Arduino.

Setelah pengujian menggunakan Serial Monitor menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan ketiga servo dengan baik, tahap berikutnya adalah pengujian integrasi antara MATLAB dan Arduino Uno. Pengujian ini

bertujuan untuk memastikan bahwa data hasil simulasi pada MATLAB dapat dikirim melalui komunikasi serial, diterima oleh Arduino, kemudian diubah menjadi sinyal PWM untuk mengendalikan servo pada sumbu yaw, pitch, dan roll.

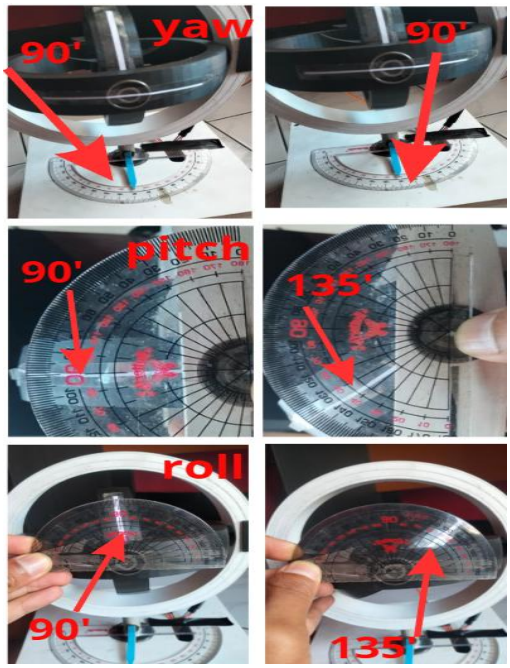
Pada pengujian ini, data sudut dikirim secara otomatis menggunakan model Simulink dengan nilai masukan 45°, 20°, dan 15° pada setiap sumbu. MATLAB berperan sebagai sumber data, sedangkan Arduino menerima dan memproses data tersebut untuk mengendalikan ketiga servo. Konfigurasi masukan pada model Simulink ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.9 Pemberian nilai masukan pada model Simulink

Berdasarkan Gambar 4.9, data sudut dikirim secara periodik dengan *sample time* 0,01 detik sesuai dengan interval pembacaan data pada Arduino. Sinkronisasi ini bertujuan agar proses pengiriman dan pembacaan data berlangsung secara berurutan selama simulasi.

Setelah simulasi dijalankan, Arduino menerima data sudut dari MATLAB, memvalidasi data tersebut, kemudian mengubahnya menjadi sinyal PWM untuk menggerakkan servo. Kondisi alat peraga selama pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Kondisi alat peraga saat menerima data hasil simulasi MATLAB

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa servo pada sumbu pitch dan yaw mampu bergerak sesuai dengan data yang dikirimkan oleh MATLAB, sedangkan servo pada sumbu roll tidak memberikan respon. Kondisi ini menunjukkan bahwa komunikasi serial antara MATLAB dan Arduino telah berhasil diimplementasikan, meskipun belum seluruh aktuator dapat bekerja sesuai perancangan.

Hasil pengujian untuk setiap variasi masukan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Integrasi MATLAB dengan Arduino

No	Sumbu	Input MATLAB (°)	Sudut awal	Respon Alat Peraga	Keterangan
1	Roll	45	90	Servo tidak bergerak	Tidak sesuai
2	Pitch	45	90	Servo bergerak ke 135°	Sesuai
3	Yaw	45	90	Servo bergerak ke 135°	Sesuai
4	Roll	20	90	Servo tidak bergerak	Tidak sesuai
5	Pitch	20	90	Servo bergerak ke 110°	Sesuai
6	Yaw	20	90	Servo bergerak ke 110°	Sesuai
7	Roll	15	90	Servo tidak bergerak	Tidak sesuai
8	Pitch	15	90	Servo bergerak ke 105°	Sesuai
9	Yaw	15	90	Servo bergerak ke 105°	Sesuai

Berdasarkan Tabel 4.3, servo pada sumbu pitch dan yaw mampu mencapai sudut yang diharapkan untuk seluruh variasi masukan, sedangkan servo pada sumbu roll tidak memberikan respon. Karena servo roll dapat bekerja dengan baik pada pengujian menggunakan Serial Monitor, permasalahan diduga tidak berasal dari aktuator maupun sistem kelistrikan, melainkan dari proses integrasi komunikasi antara MATLAB dan Arduino. Kemungkinan penyebabnya meliputi urutan pengiriman data, proses pembacaan data serial, konversi tipe data, atau sinkronisasi waktu komunikasi.

Secara keseluruhan, pengujian menunjukkan bahwa integrasi MATLAB dan Arduino telah berhasil diterapkan untuk mengendalikan dua dari tiga servo sesuai data simulasi. Meskipun masih diperlukan penyempurnaan pada mekanisme komunikasi data untuk sumbu roll, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem telah mampu memvisualisasikan perubahan sikap pesawat dan berpotensi digunakan sebagai media pembelajaran dinamika terbang.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem kelistrikan pada alat peraga dinamika terbang pesawat udara berhasil direalisasikan menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama dan tiga motor servo sebagai aktuator yang merepresentasikan gerakan pada sumbu **yaw**,

pitch, dan **roll**. Implementasi sistem kelistrikan yang menggunakan catu daya eksternal dengan konfigurasi **common ground** mampu menyediakan suplai daya yang stabil sehingga Arduino dan seluruh servo dapat beroperasi dengan baik selama proses pengujian.

Pengujian menggunakan **Serial Monitor** pada Arduino IDE menunjukkan bahwa program yang dikembangkan mampu menerima data masukan, memproses perubahan sudut, serta mengendalikan ketiga motor servo sesuai dengan algoritma yang telah dirancang. Hasil tersebut menunjukkan bahwa komunikasi serial, pembangkitan sinyal Pulse Width Modulation (PWM), serta sistem kendali berbasis Arduino telah bekerja sesuai dengan perancangan.

Setelah sistem diintegrasikan dengan MATLAB, komunikasi serial antara MATLAB dan Arduino berhasil direalisasikan sehingga data hasil simulasi dapat diterima dan diproses oleh Arduino. Hasil pengujian menunjukkan bahwa servo pada sumbu **pitch** dan **yaw** mampu memberikan respons sesuai dengan data sudut yang dikirimkan, sedangkan servo pada sumbu **roll** belum memberikan respons sebagaimana yang diharapkan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kendala yang terjadi lebih berkaitan dengan proses integrasi komunikasi data antara MATLAB dan Arduino, bukan pada sistem kelistrikan maupun perangkat keras yang digunakan.

Secara keseluruhan, penelitian ini telah berhasil mengembangkan sistem kendali berbasis Arduino Uno yang mampu menghubungkan data simulasi dari MATLAB dengan alat peraga dinamika terbang pesawat udara. Meskipun masih diperlukan penyempurnaan pada proses integrasi untuk salah satu sumbu gerak, alat peraga yang dikembangkan telah mampu memperlihatkan konsep perubahan sikap pesawat secara visual dan memiliki potensi untuk digunakan sebagai media pembelajaran yang lebih interaktif dalam membantu mahasiswa memahami konsep dinamika terbang pesawat udara. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menyempurnakan mekanisme komunikasi serial dan pengolahan data sehingga seluruh servo dapat bekerja secara bersamaan sesuai dengan hasil simulasi yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. M. Drela, “Introduction to Flight Dynamics,” *Flight Veh. Aerodyn.*, pp. 201–219, 2014.
2. P. R. F. Al Rauf, M. F. Subekti, M. A. Mufti, and S. S. Wibowo, “Pengembangan Platform Gerak Simulator Pesawat Udara : Implementasi Sistem Listrik Dan Elektronika,” *Pros. 16th Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp. 208–214, 2025,(Online). Available: Politeknik Negeri Bandung
3. S. P. D. P. Darmawan and S. S. Wibowo, “Rancang Bangun Miniatur Alat Peraga Control Surface Pesawat Fixed Wing Cessna 172 Skyhawk,” *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 14, no. 1, pp. 419–424, 2023, doi: 10.35313/irwns.v14i1.5421.
4. I. Kendali, P. Untuk, P. Siswa, and B. Sudibya, “SEMI REAL-WORLD SIMULATOR : MEDIA PEMBELAJARAN,” vol. 9, no. 01, pp. 59–65, 2025.
5. M. Rizki Zuhri, Z. Sidqi Islami, and C. Asti Rosalia, “Linear and Nonlinear Simulation for Quadrotor Dynamics Encompassing Induced Disturbance,” *J. Jaring SainTek*, vol. 6, no. 1, pp. 9–16, 2024, doi: 10.31599/mtj88e71.
6. Muhammad Daffa Hauzaan and Muhammad Rizki Zuhri, “Analisis Kestabilan Statik Longitudinal dan Lateral-Direksional pada Pesawat Cessna 172N Skyhawk PK-SDQ dengan Menggunakan Aplikasi DATCOM,” *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 15, no. 1, pp. 259–266, 2024, doi: 10.35313/irwns.v15i1.6224.
7. N. TARYANA, U. A. ALBAYUMI, and A. ROHIM, “Implementasi Prototype Alat Uji Flight Control Actuator Pesawat Berbasis Mikrokontroller Arduino Uno,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 5, no. 2, p. 169, 2018, doi: 10.26760/elkomika.v5i2.169.
8. A. Chaeroni, I. ZA, and A. Sugiharto, “Pelatihan Perancangan Hidrolik Sederhana Sebagai Alat Peraga Penggerak Flap Pada Sayap Pesawat Terbang,” *An-Nizam*, vol. 4, no. 3, pp. 12–20, 2025, doi: 10.33558/an-nizam.v4i3.11610.
9. M. R. Zuhri, “Flight Control Design for Rudder Failure Event on Cessna 172 Aircraft,” *Indones. J. Aerosp.*, vol. 23, no. 1, pp. 45–56, 2025, doi: 10.55981/ijoa.2025.9106.
10. R. M. Howard, “Dynamics of Flight: Stability and Control; Third Edition,” *J. Guid. Control. Dyn.*, vol. 20, no. 4, pp. 839–840, 1997, doi: 10.2514/2.4126.
11. Arduino, *Arduino® UNO R3 User Manual*, Rev. A000066, May 2026.(Online). Available: https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf
12. TowerPro, *SG90 Analog Servo Motor Specifications*.(Online). Available: https://towerpro.com.tw/product/sg90-analog/
13. Federal Aviation Administration, *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*, FAA-H-8083-25C, Washington, DC, USA, 2023.(Online). Available: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak
14. M. T. Abdullah, *Rancang Bangun Alat Peraga Dinamika Terbang Pesawat Udara: Implementasi Sistem Mekanik*. Tugas Akhir D3, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia, 2026.
15. Hantoro R, Dwi Cahyo B, Faizah F. Design of a flight control system rudder simulator on an Arduino Uno-based Boeing 737-900ER aircraft as a supporting facility for practical activities at the Surabaya Aviation Polytechnic. Proceeding of International Conference of Advanced Transportation, Engineering, and Applied Social Science. 2023