

## Pengembangan Mini Drone Berbasis ESP32 dengan *Roll* dan *Pitch Control* Menggunakan Algoritma PID

Muhammad Dzaki Al Haidar<sup>1</sup>, Elshinta Adelia Ryzty<sup>2</sup>, Rizky Ramadhan<sup>3</sup>, Theodorich Brian Putra Marpaung<sup>4</sup>, Ariq Rifki Kurniawan<sup>5</sup>, Ardy Seto Priambodo<sup>6</sup>

Jurusan Teknik Elektronika Universitas Negeri Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta  
Jalan Colombo No.1 Caturtunggal, Depok, Yogyakarta

<sup>1</sup>muhammaddzaki.2021@student.uny.ac.id

<sup>2</sup>elshintaadelia.2021@student.uny.ac.id

<sup>3</sup>rizkyramadhan.2021@student.uny.ac.id

<sup>4</sup>theodorichbrian.2021@student.uny.ac.id

<sup>5</sup>ariqrifki.2021@student.uny.ac.id

<sup>6</sup>ardyseto@uny.ac.id

**Intisari** — Drone, atau UAV (Unmanned Aerial Vehicle), adalah kendaraan udara yang dapat dioperasikan dari jarak jauh. Dikendalikan oleh seorang pilot melalui remote control atau memiliki kemampuan otonom. Drone beroperasi berdasarkan prinsip daya angkat yang dihasilkan oleh rotasi baling-baling yang dikendalikan oleh rotor atau motor listrik. Ketika drone diaktifkan, sistem kendali akan menstabilkan drone dengan menggunakan fitur stabilize. Selanjutnya, ketika pengguna mengendalikan drone melalui perangkat remote control, perubahan sudut pada sensor akan terdeteksi. Apabila sumbu x pada joystick lebih positif, drone secara otomatis akan bergerak pada sumbu x negatif. Sebaliknya, jika sumbu x pada joystick lebih negatif, drone akan otomatis bergerak pada sumbu x positif begitupun untuk sumbu y. Dalam pengimplementasian PID controller, kecepatan motor pada saat maksimum digunakan untuk batas maksimum agar pada saat nilai digunakan motor tidak berlebihan saat membalas respon ketika nilai error pada sensor saat maksimal. Namun hasil dari penentuan nilai PWM maksimum tidak berjalan dengan baik, dikarenakan mekanik yang dibuat tidak presisi sehingga saat percobaan pertama hingga akhir terdapat perbedaan posisi pada saat awal dilakukan penentuan nilai PWM maksimum. Adapun sistem kendali PID yang diterapkan pada drone ini masih menunjukkan kecenderungan untuk mengalami pergerakan yang melebihi nilai yang diinginkan, khususnya pada sumbu pitch dan roll.

**Kata kunci** — Drone, Kendaraan udara tak berawak, PID, Pitch, Roll

**Abstract** — A drone, or UAV (Unmanned Aerial Vehicle), is an aircraft that can be operated from a distance. Controlled by a pilot through remote control or having autonomy capabilities. Drones operate on the principle of the lifting power generated by the rotation of the beam-beam controlled by a rotor or electric motor. When the drones are activated, the control system will stabilize the drone using the stabilize feature. Furthermore, when the user controls the drone through a remote control device, the change in the angle of the sensor will be detected. When the x-axis on the joystick is more positive, the drone will automatically move on the negative x axis. On the contrary, if the x -axis of the joystick is more negative, the Drone automatically moves on the positive x as well for the y axis. In the implementation of PID controllers, the motor speed at the maximum moment is used for the maximum limit so that at the time of use the motor values are not excessive when responding when the error value on the sensor is at maximum. However, the result of the determination of the maximum PWM value did not work properly, because the mechanics made were not accurate so that at the first to final trial there was a difference of position at the initial determination. The PID control system applied to this drone still shows a tendency to experience movements that exceed the desired values, especially in the pitch and roll axes.

**Keywords**— Drone, UAV(Unmanned Aerial Vehicle), PID, Pitch, Roll

## I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi di era modern telah berkembang pesat untuk menunjang berbagai kebutuhan manusia. Pada saat ini multirotor dapat digunakan oleh banyak orang dari berbagai kalangan dan umur sehingga multirotor dapat digunakan pada berbagai aspek dimulai dari hobi sampai dengan pekerjaan [1]. Sebuah sistem rotor quad matang dapat digunakan untuk pelatihan dan eksperimental [2] [3]. Drone tidak hanya membantu kita dalam masyarakat tetapi juga hal yang mengancam, karena banyak negara maju menggunakannya sebagai senjata penghancuran mereka. Jadi drone memiliki kemampuan mereka untuk pekerjaan yang ditentukan sebelumnya sehingga menjadi penting di dunia saat ini [4]. Penciptaan, pengembangan atau penemuan teknologi baru seiring berjalannya waktu membawa manusia dalam segala hal yang bersifat lebih instan [5].

Drone atau dapat disebut Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) merupakan salah satu topik penelitian yang signifikan di berbagai bidang, termasuk pemantauan lingkungan, survei pertanian, pemetaan tanah, aplikasi hiburan, dan yang lainnya. Kemampuan drone untuk berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya dan menyediakan data secara real-time telah menjadikan drone alat yang sangat efektif dan serbaguna. Tidak seperti pesawat konvensional, drone dapat melihat ke ruang pribadi dari jarak yang sangat dekat [5]. Drone memiliki banyak kepentingan tetapi juga menimbulkan beberapa pertanyaan tentang privasi. Jadi, untuk masalah ini, pemerintah menyatakan beberapa aturan dan peraturan untuk terbang drone untuk tujuan yang berbeda [6].

Untuk mengatasi masalah estimasi keadaan, UAV biasanya dilengkapi dengan sensor inertial yang tertanam, sensor ketinggian sonar (atau barometer), dan, seringkali, sensor posisi mutlak atau kecepatan seperti GPS atau kamera yang memberi makan algoritma penglihatan, dikombinasikan dalam algoritma fusi data, perangkat-perangkat ini telah memungkinkan untuk mendapatkan hasil yang relatif baik dari estimasi negara dan stabilisasi pada sayap rotasi, helikopter skala kecil, sayap tetap,

sehingga menjamin penerbangan yang stabil dengan kesalahan residual dari urutan magnitud sensor [7].

Pada proyek ini, mikrokontroler ESP32 dipadukan dengan sensor MPU6050 untuk mengontrol drone. ESP32 berfungsi sebagai pengolah data untuk mengontrol gerakan drone, sedangkan accelerometer dan gyroscope yang ada pada sensor MPU6050 akan menyediakan informasi mengenai posisi dan orientasi drone secara real-time. Gabungan ESP32 dan MPU6050 membuka peluang untuk mengembangkan drone yang cerdas dan responsif. Proyek ini diharapkan dapat berkontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi drone dan membuka jalan bagi penerapan yang lebih kompleks dan beragam di masa depan.

Pada penelitian ini kami mencoba untuk rancang bangun drone ESP32 agar dapat dikendalikan melalui smartphone serta menggunakan algoritma PID agar pergerakan drone lebih halus. Sistem kendali PID untuk mengendalikan untuk gerakan sudut pitch dan roll pada drone diharapkan mampu mengembalikan posisi pitch dan roll sesuai dengan referensi yang diberikan ketika mendapat gangguan dari luar. Sudut roll dikendalikan dengan cara menambah atau mengurangi kecepatan salah satu motor kiri atau kanan [8].

Implementasi dengan menggunakan konfigurasi quadcopter yang kemudian diintegrasikan dengan metode PID sehingga lebih mudah untuk dikendalikan dan mampu dilakukan pengujian di luar ruangan. Lalu untuk metode PID yang digunakan pada penelitian kali ini yakni menggunakan metode Fine Tuning.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Drone

Drone, atau UAV (Unmanned Aerial Vehicle), adalah kendaraan udara yang dapat dioperasikan dari jarak jauh. Dikendalikan oleh seorang pilot melalui remote control atau memiliki kemampuan otonom. Menggunakan prinsip aerodinamika untuk menciptakan gaya angkat, drone dapat dioperasikan berulang dan membawa berbagai muatan, termasuk senjata atau barang lainnya. Penggunaan drone semakin

luas, tidak hanya di militer, tetapi juga di sektor bisnis, industri, dan logistik.

Dalam dunia bisnis dan industri, drone digunakan untuk pengawasan infrastruktur, pengiriman paket, pemadam kebakaran hutan, eksplorasi tambang, pemetaan pertanian, dan industri. Terdapat dua jenis utama drone, yaitu fixed-wing dan multicopter. Fixed-wing menyerupai pesawat terbang dengan desain aerodinamika kompleks, sementara multicopter mengandalkan putaran baling-baling untuk terbang. Dalam proyek ini, kami menciptakan mini drone yang dapat dikendalikan menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler dan terhubung melalui Bluetooth [9].



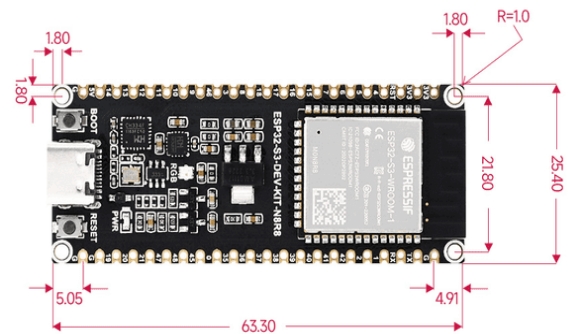
Gbr. 1 Drone

### B. Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler merupakan sistem mikroprosesor terintegrasi dalam memori, input/output (I/O), dan perangkat elektronik lainnya. Digunakan untuk mengontrol sistem elektronik dan dapat diprogram untuk tugas tertentu. Dalam proyek ini, mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pengolah data untuk mengontrol pergerakan drone. Jika dilihat dari spesifikasi pada tabel maka mikrokontroler ESP32 dapat dijadikan pilihan untuk digunakan pada alat peraga interface mikrokontroler karena mikrokontroler ini memiliki interface yang lengkap [10].

ESP32 memiliki kemampuan bawaan untuk berkomunikasi melalui Bluetooth. Ini memungkinkan ponsel pintar untuk terhubung dan mengendalikan drone tanpa kabel fisik, memberikan fleksibilitas dalam pengendalian jarak jauh. Selain itu ESP32

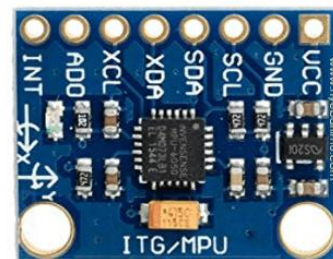
dikenal efisien dalam hal konsumsi energi. Hal ini sangat penting dalam proyek drone, dimana ketersediaan daya harus dijaga agar drone dapat terbang untuk periode yang lebih lama.



Gbr. 2 Mikrokontroler ESP32

### C. Sensor IMU MPU-6050

MPU6050 adalah sensor gerak sembilan axis dengan gyroscopes 3 axis dan accelerometer 3 axis. Antarmuka prosesor gerakan digital dapat diperluas DMP, IIC atau SPI dan dapat dihubungkan ke sensor lain, outputnya adalah sinyal 9 sumbu. MPU6050 memiliki tiga buah 16 bit ADC untuk mengumpulkan nilai akselerasi dari 3 sumbu atau nilai gyro, yang dikonversi menjadi output digital [11].



Gbr. 3 Sensor MPU6050

### D. Baterai LiPo 1S

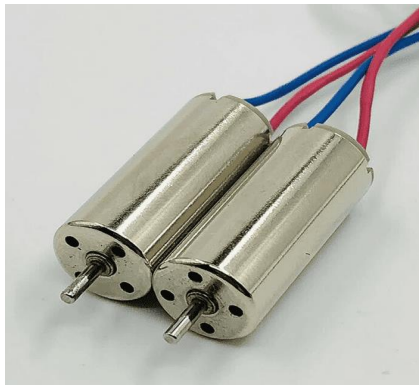
Merupakan baterai polimer lithium dengan tegangan pengenal 3,7V dan umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk kendaraan yang dikendalikan dari jarak jauh, drone, dan perangkat elektronik lainnya. Penunjukan “1S” mengacu pada jumlah sel dalam baterai, dengan “S” berarti “seri”. Baterai LiPo 1S memiliki satu sel, sedangkan baterai 2S memiliki dua sel secara seri, dan seterusnya. Diperlukan prosedur keselamatan yang benar saat menangani dan mengisi daya baterai LiPo, karena dapat berbahaya jika salah penanganan atau rusak.



Gbr. 4 Baterai LiPo 1S

#### E. Motor DC 8520

Motor DC 8520 dikenal dengan kebisingan rendah, kecepatan tinggi, efisiensi tinggi, dan resistansi rendah. Biasanya beroperasi pada tegangan pengenal 3,7V atau 7,4V, dengan kecepatan pengenal 53.000 rpm. Diameter motor kira-kira 8,5 mm (0,33 inci). Motor DC 8520 adalah tipe motor listrik yang membutuhkan suplai tegangan arus searah (Direct Current) pada kumparan medan untuk berfungsi [12]. Motor ini tersedia untuk dibeli dalam jumlah yang bervariasi dari pemasok yang berbeda dan biasanya digunakan dalam proyek elektronik dan robotika buatan sendiri karena ukurannya yang ringkas dan karakteristik kinerjanya.



Gbr. 5 Motor DC 8520

#### F. Mosfet Si2302

Merupakan komponen yang dapat digunakan pada rangkaian kendali motor drone. MOSFET Si2302 dikenal dengan performanya yang baik dalam pengendalian motor dan sering digunakan dalam kombinasi dengan mikrokontroler seperti ESP32. Namun perlu diperhatikan bahwa pemilihan pengontrol motor untuk drone bergantung pada berbagai faktor seperti jenis motor, kebutuhan tegangan dan arus, serta sistem kendali yang digunakan. Disarankan untuk mengacu pada spesifikasi motor dan sistem

kontrol untuk memilih driver motor yang sesuai untuk proyek drone.



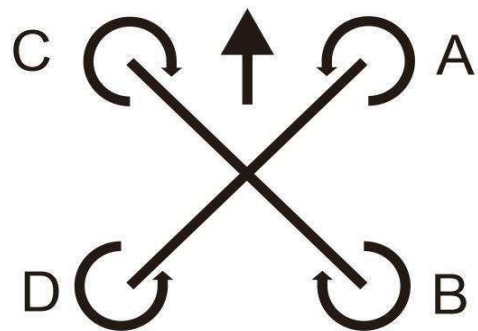
Gbr. 6 Driver Si2302

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Konsep Drone

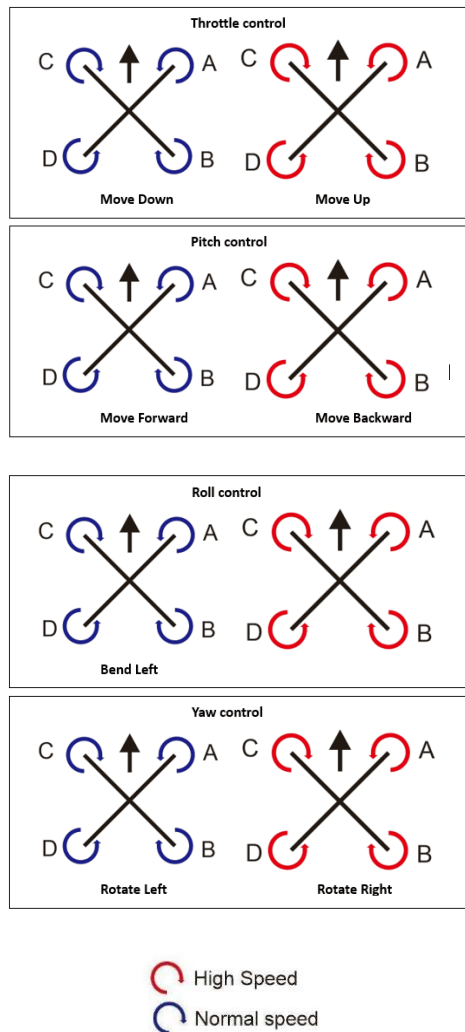
Drone beroperasi berdasarkan prinsip daya angkat yang dihasilkan oleh rotasi baling-baling yang dikendalikan oleh rotor atau motor listrik. Meskipun umumnya lift dikaitkan dengan sayap pada model airfoil fixed-wing, drone dapat menggunakan propeller untuk menciptakan gaya angkat. Selain dari propeller, lift juga dapat diciptakan oleh berbagai bentuk seperti layang-layang, helikopter, perahu layar, dan bahkan bentuk mobil.

Dalam ilustrasi di bawah, tergambar konsep baling-baling atau propeller pada drone dengan empat rotor atau Quadcopter. Rotasi propeller dibagi menjadi dua arah yang berbeda: searah jarum jam (Clockwise/CW) dan berlawanan arah jarum jam (Counter Clockwise/CCW). Motor yang berputar searah jarum jam (CW) adalah motor C dan B, sedangkan motor yang berputar berlawanan arah jarum jam adalah motor A dan D. Varian putaran ini direncanakan untuk menghindari terjadinya momen putar pada badan quadcopter.



Gbr. 7 Varian putaran quadcopter

Quadcopter memiliki empat gerakan dasar yang meliputi Roll (bergerak menyamping), Pitch (bergerak maju mundur), Yaw (bergerak secara rotasi), dan Throttle (bergerak ke atas untuk lepas landas dan turun untuk mendarat). Ilustrasi dan keterangan mengenai pergerakan quadcopter adalah seperti berikut:



Gbr. 8 Gerakan dasar quadcopter

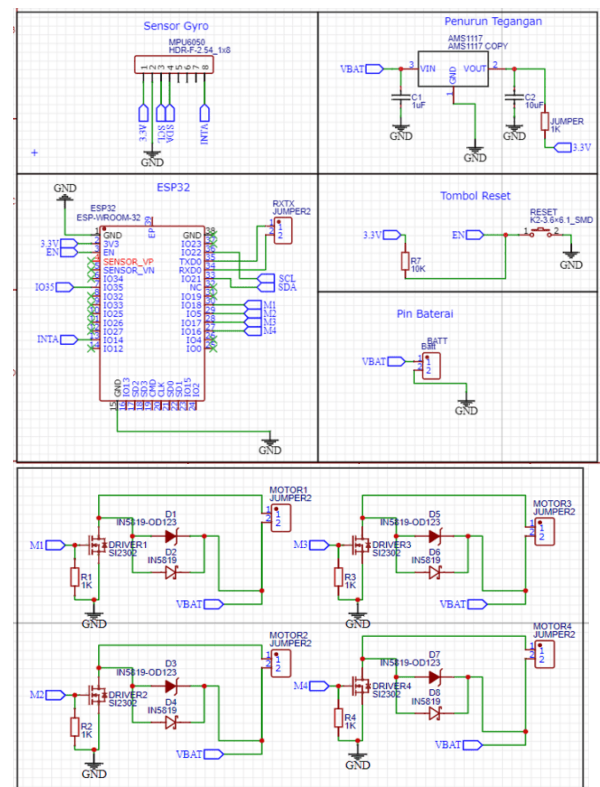
1. Throttle adalah peningkatan kecepatan total motor; ketika motor berada pada full throttle, quadcopter akan mengalami kenaikan angkat pada bodi quadcopter. Sebaliknya, penurunan kecepatan motor akan menyebabkan posisi quadcopter turun.
2. Pitch merupakan pergerakan maju dan mundur pada quadcopter. Dua motor belakang berputar lebih cepat daripada motor di bagian depan, menyebabkan kemiringan ke depan dan mendorong quadcopter maju. Begitu juga sebaliknya untuk pergerakan mundur.

3. Roll adalah gerakan menyamping, baik ke kiri atau kanan. Untuk bergerak menyamping, perubahan kecepatan pada satu pasang motor diperlukan; misalnya, untuk bergerak ke samping kanan, motor di sebelah kiri meningkatkan kecepatan, menciptakan momen miring dan menghasilkan gerakan ke samping kanan, dan sebaliknya.
4. Yaw adalah pergerakan di mana quadcopter berputar sekitar satu sumbu. Ini dilakukan dengan menurunkan kecepatan pada sepasang motor (atas-bawah atau kiri-kanan) dan meningkatkan kecepatan pada satu pasang motor yang memiliki kecepatan sedikit lebih lambat daripada pasangan motor yang lain.

### B. Perancangan hardware dan mekanik

Proses perencanaan pembuatan drone ESP32 melibatkan pembuatan schematic dan layout PCB. Pemilihan perangkat lunak yang tepat sangat penting untuk mempermudah desain. EasyEDA adalah salah satu software yang kami gunakan karena dapat menyajikan visualisasi optimal dan mendukung kolaborasi online.

Berikut adalah hasil schematic dan layout PCB dari drone ESP32.

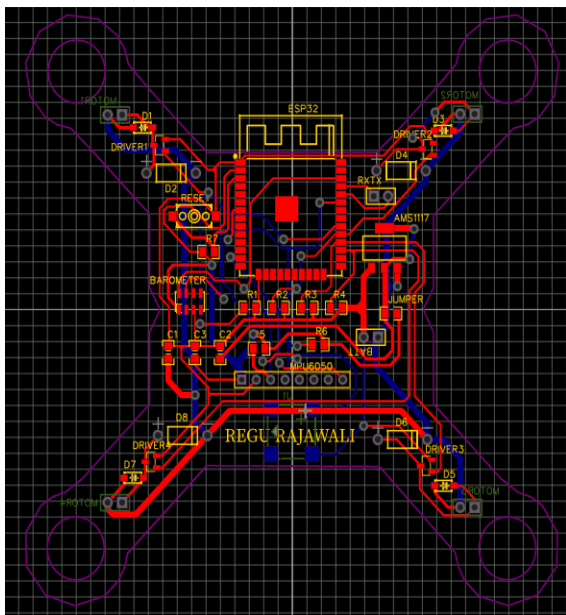


Gbr. 9 Rangkaian skematik drone



Gambar di atas menampilkan tahapan awal perancangan skematik drone dengan penggunaan ESP32 sebagai inti sistem. Berbagai komponen yang saya terapkan dalam desain ini mencakup IC ESP32, sensor MPU6050 untuk pemantauan posisi dan gerakan, AMS1117 sebagai regulator tegangan, tombol push button untuk fungsi reset, Mosfet SI2302, Motor DC 8520 untuk propulsi, serta sejumlah komponen pasif seperti resistor, dioda, kapasitor, dan komponen lainnya yang mendukung fungsi keseluruhan drone ini.

Pembuatan PCB layout menggunakan perangkat lunak EasyEDA. Dalam proses ini, perhatian terhadap jalur sirkuit menjadi krusial untuk memastikan tata letak yang baik. Untuk desain tersebut harus meminimalisir penggunaan jumper kabel agar beban drone menjadi lebih ringan, memungkinkan drone untuk terbang dengan performa maksimal.



Gbr. 10 Desain PCB drone

Dalam perancangan layout PCB untuk drone ESP32 dengan dimensi PCB 10 x 10 cm, Detail spesifik yang mencakup lebar jalur sirkuit sebesar 0.3mm hingga 1mm, dan diameter lubang motor berkisar antara 8.5mm hingga 1mm. Jarak antar jalur (*clearance*) minimal sebesar 0.5 mm untuk menghindari potensi masalah seperti short circuit.



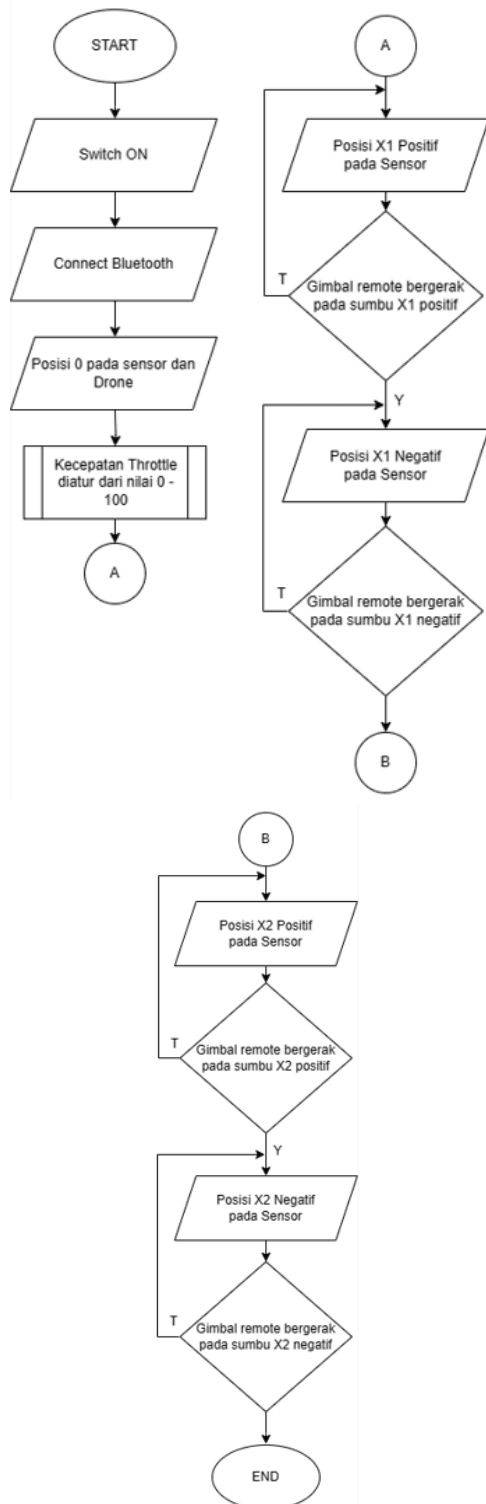
Gbr. 11 Konstruksi Drone

Untuk mencetak PCB dapat melakukannya secara mandiri atau menggunakan jasa pencetakan kustom. Meskipun hasil cetakan PCB mungkin belum sempurna, tetapi perbaikan dapat dilakukan melalui pengikisan dan pengeboran. Proses perakitan hardware drone melibatkan beberapa tahap, termasuk soldering komponen ke PCB. Pemasangan komponen memerlukan kehati-hatian dan ketelitian, terutama karena komponen yang digunakan adalah tipe SMD. Pastikan solder yang digunakan memiliki suhu yang tepat, tidak terlalu panas maupun terlalu dingin, agar tidak merusak komponen. Perlu diperhatikan bahwa sensor MPU6050 harus diletakkan pada titik tengah dari UAV, hal ini dikarenakan sensor tersebut harus berada ditengah-tengah agar dapat membaca pergerakan baik *roll* dan *pitch* dengan baik.

Ketika mendesain layout PCB, beberapa kesalahan mungkin terjadi, dan dalam hal ini, penyesuaian perlu dilakukan melalui penggunaan jumper kabel. Ini adalah langkah yang wajar, karena dalam pengembangan suatu proyek, revisi yang cukup banyak seringkali diperlukan sebelum mencapai hasil akhir yang diinginkan.

### C. Perancangan Sistem

Perancangan sistem algoritma pemrograman untuk membuat drone quadcopter melibatkan beberapa tahapan penting untuk mengendalikan pergerakan dan stabilitas drone.



Gbr. 12 Flowchart Drone

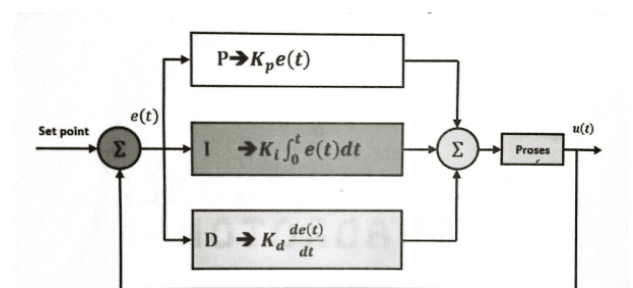
Berikut adalah penjelasan mengenai diagram alur program. Konsep dasar dari

flowchart ini adalah ketika drone diaktifkan, sistem kendali akan menstabilkan drone dengan menggunakan fitur stabilize. Selanjutnya, ketika pengguna mengendalikan drone melalui perangkat remote control, perubahan sudut pada sensor akan terdeteksi. Apabila sumbu x pada joystick lebih positif, drone secara otomatis akan bergerak pada sumbu x negatif; sebaliknya, jika sumbu x pada joystick lebih negatif, drone akan otomatis bergerak pada sumbu x positif. Hal serupa juga berlaku untuk sumbu y, di mana jika sumbu y pada joystick lebih positif, drone akan bergerak pada sumbu y negatif, dan sebaliknya jika sumbu y pada joystick lebih negatif, drone akan bergerak pada sumbu y positif.

Selanjutnya, untuk mengatur ketinggian drone, pengguna dapat memanfaatkan saluran Throttle yang terdapat pada perangkat remote control.

### D. Sistem Kendali PID

Untuk memudahkan dalam memahami konsep kendali PID, dapat dilihat melalui blok diagram pengendali PID pada gambar berikut ini.



Gbr. 13 Blok Diagram Kendali PID

Dari gambar di atas, maka dapat didefinisikan bahwa sistem kendali PID adalah sistem kendali yang merupakan gabungan antara aksi kendali proporsional ditambah aksi kendali integral ditambah aksi kendali turunan. Sebelum menjelaskan tentang sistem kendali PID, kiranya perlu dipahami terlebih dahulu karakter masing-masing aksi kendali penyusun sistem kendali PID secara terpisah. Lebih lanjut, berikut ini penjelasan singkat tentang aksi kendali proporsional (P), integral (I), dan turunan (D).

### 1) Sistem Kendali Proporsional (P)

Persamaan hubungan antara keluaran sistem dalam sinyal error pada aksi kendali proporsional adalah sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) \quad (1)$$

Sedangkan persamaan sinyal error adalah:

$$e(t) = SP - PV \quad (2)$$

Dimana,

$u(t)$  = Sinyal keluaran sistem kendali  
 $K_p$  = Konstanta penguatan proporsional  
 $e(t)$  = Sinyal error  
 $SP$  = Set point  
 $PV$  = Process Value  
 $t$  = Waktu

Aksi kendali proporsional (P) memiliki karakter dapat mengurangi waktu naik (rise time), tetapi tidak menghilangkan kesalahan keadaan tunak (steady state error).

### 2) Sistem Kendali Integral (I)

Persamaan hubungan antara keluaran sistem dengan sinyal error pada aksi kendali Integral adalah sebagai berikut:

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (3)$$

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (4)$$

Di mana  $K_i$  adalah konstanta penguatan integral. aksi kendali (I) memiliki karakter akan menghilangkan kesalahan keadaan tunak tetapi memperburuk respon transien.

### 3) Sistem Kendali Derivative (D)

Persamaan hubungan antara keluaran sistem dengan sinyal error pada aksi kendali derivatif adalah sebagai berikut:

$$u(t) = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (5)$$

Di mana  $K_d$  adalah konstanta penguatan derivative. aksi kendali derivative (D) memiliki karakter mampu meningkatkan stabilitas sistem, mengurangi overshoot, dan menaikkan respon transfer.

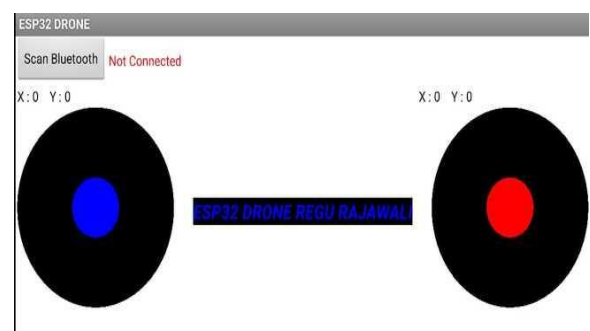
Aksi kendali derivative tidak pernah digunakan sendirian, yaitu harus dikombinasikan dengan aksi kendali yang lain. Karena aksi kendali derivative hanya efektif digunakan selama periode transien. Aksi kendali derivative memiliki karakter antisipasi. Namun demikian aksi kendali dari derivatif tidak dapat mengantisipasi aksi lain yang belum pernah dilakukan. Aksi kendali derivatif disebut juga laju kendali.

### E. Perancangan Remote Control

Tahapan perancangan remote control dimulai dengan menciptakan sebuah aplikasi smartphone yang akan bertindak sebagai alat pengendali untuk drone yang telah dibuat. Aplikasi ini dikembangkan menggunakan platform pembuat aplikasi MIT App Inventor yang memudahkan proses pengembangan tanpa memerlukan keahlian pemrograman yang mendalam.

Untuk mengakses aplikasi ini dapat mencoba mengunduhnya melalui tautan yang tersedia dan menjalankannya pada perangkat smartphone. Dengan begitu akan dapat mengendalikan drone secara langsung melalui antarmuka yang telah dirancang dengan baik.

Berikut ini adalah tampilan aplikasi saat dijalankan di smartphone, memberikan gambaran visual mengenai kemudahan navigasi dan fungsi kontrol yang dapat Anda akses untuk mengoperasikan drone sesuai keinginan. Dengan aplikasi ini, diharapkan pengguna dapat mengendalikan drone secara intuitif dan efisien.



Gbr. 14 Aplikasi MIT App Inventor

Dengan menggunakan aplikasi tersebut, pengguna perlu mengaktifkan opsi Bluetooth agar dapat terhubung antara drone ESP32 dan aplikasi remote control dari MIT App Inventor yang telah diunduh di ponsel pintar pengguna.



Melalui aplikasi ini, pengguna dapat memantau status koneksi Bluetooth antara perangkat smartphone dan drone serta mengontrol pergerakan drone.

Joystick di sisi kanan memberikan kemampuan untuk mengatur pergerakan roll dan pitch dari drone, memungkinkan pengguna untuk menggerakkan drone ke samping dan ke depan-belakang. Sementara itu, Joystick di sisi kiri memungkinkan pengendalian gerak yaw dan throttle drone, memungkinkan pengguna untuk mengontrol ketinggian penerbangan dan memutar drone searah atau berlawanan arah jarum jam saat dalam penerbangan.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bagian ini, akan dijelaskan hasil pengujian dan analisis dari perangkat yang telah dikembangkan. Pengujian dilaksanakan untuk mengevaluasi kinerja perangkat yang telah dibuat dan menilai sejauh mana perangkat tersebut memenuhi tujuannya. Berikut adalah beberapa parameter uji dari perangkat:

##### A. Pengujian Sensor IMU MPU6050 dalam Penstabilan UAV

Pengujian dilakukan dengan menjabarkan nilai sudut MPU6050 terhadap sudut gerak yang diberikan. Gerak roll baik ke kanan dan ke kiri dengan nilai positif(+) ke kanan dan nilai (-) ke kiri. Gerak pitch baik keatas maupun kebawah dengan nilai (+) ke bawah dan nilai (-) ke atas dengan waktu yang diberikan selama 10 detik dengan jeda 0.5 second. Pada pengujian tersebut memberikan gerak roll ke kiri dan kekanan dengan perubahan sudut 0 derajat sampai 50 derajat dengan bantuan penggaris bujur. Perubahan nilai sudut MPU6050 terhadap waktu dengan variabel sumbu roll dan pitch baik pada nilai data kalman filter di mikrokontroler. Pada tabel di atas, hasil pembacaan sensor pitch memiliki rata-rata error sebesar 0,23 derajat. Hasil pengujian dengan membandingkan pembacaan sensor pitch terhadap nilai busur derajat, data yang didapat masih memiliki nilai error. Untuk menghitung nilai error digunakan persamaan (6) :

$$\text{Error sensor pitch} = \frac{\text{Pitch busur derajat} - \text{sensor pitch}}{\text{Sensor pitch}} \quad (6)$$

Tabel 1. Data hasil perbandingan pembacaan sensor sumbu pitch dengan alat ukur busur derajat

Busur Derajat	Nilai Sensor	Error
0°	0°	0°
10°	9.25°	0.08°
20°	19.20°	0.04°
30°	29.28°	0.02°
40°	39.94°	0.001°
50°	49.20°	0.01°
Rata-Rata Error		0.23°

Tabel 2. Data hasil perbandingan pembacaan sensor sumbu roll dengan alat ukur busur derajat

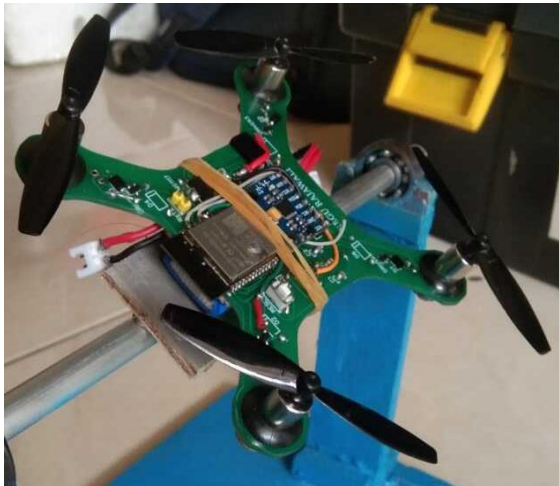
Busur Derajat	Nilai Sensor	Error
0°	0°	0°
10°	9.28°	0.07°
20°	19.25°	0.03°
30°	29.38°	0.02°
40°	39.90°	0.002°
50°	49.74°	0.90°
Rata-Rata Error		0.17°

Pada tabel diatas hasil pembacaan sensor roll memiliki rata-rata error sebesar 0,17 derajat. Hasil pengujian dengan membandingkan pembacaan sensor roll terhadap nilai busur derajat, data yang didapat masih memiliki nilai error. Untuk menghitung nilai error digunakan persamaan (7) berikut.

$$\text{Error sensor roll} = \frac{\text{Pitch busur derajat} - \text{sensor roll}}{\text{Sensor pitch}} \quad (7)$$

##### B. Pengujian Motor

Pengujian motor dilakukan dengan tujuan untuk menentukan nilai PWM yang diberikan pada motor saat alat setimbang berada dalam keadaan stabil, untuk menetapkan batasan minimum PWM. Selain itu, pengujian dilakukan ketika alat berada dalam posisi tertentu di bawah untuk menentukan nilai maksimum PWM yang diperlukan. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang kisaran PWM yang dapat diaplikasikan pada motor dalam berbagai kondisi operasional.



Gbr. 15 Pengujian motor untuk PWM Maksimum.

Kondisi saat alat posisi 30 derajat ke kiri dan kekanan, terlihat bahwa beberapa percobaan telah dilakukan untuk menetapkan nilai PWM maksimum untuk kendali depan dan belakang, yang nantinya akan digunakan sebagai batasan PWM pada pengontrol PID. Namun, selama proses pengujian dan penentuan nilai PWM maksimum, beberapa kendala muncul. Hal ini disebabkan oleh nilai PWM yang tetap konstan, tetapi motor yang digunakan tidak dapat dengan pasti membalikkan alat. Oleh karena itu, nilai PWM maksimum depan dan belakang yang telah ditetapkan tidak dapat diterapkan secara efektif karena hasilnya bervariasi meskipun menggunakan nilai yang sama pada waktu yang berbeda. Rincian hasil penentuan nilai maksimum dapat ditemukan dalam Tabel 1.2 dan Tabel 1.3, di mana LF menunjukkan kiri depan, RF menunjukkan kanan depan, LB menunjukkan kiri belakang, dan RB menunjukkan kanan belakang.

Tabel 3. Pengujian PWM Motor Maksimum Depan

PWM Maksimum Motor DEPAN				
Percobaan	PWM_LF	PWM_RF	PWM_LB	PWM_RB
1	254	255	0	0
2	253	254	0	0
3	255	253	0	0

Dari hasil Tabel 3 dan 4 terdapat nilai PWM yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor, dilakukan percobaan untuk menentukan kecepatan motor yang digunakan pada alat perancangan.

Tabel 4. Pengujian PWM Motor Maksimum Belakang

PWM Maksimum Motor BELAKANG				
Percobaan	PWM_LF	PWM_RF	PWM_LB	PWM_RB
1	0	0	254	255
2	0	0	255	254
3	0	0	253	253

Kecepatan motor pada saat maksimum digunakan untuk batas maksimum pada implementasi PID agar pada saat nilai digunakan motor tidak berlebihan saat membalas respon ketika nilai error pada sensor saat maksimal. Namun hasil dari penentuan nilai PWM maksimum tidak berjalan dengan baik, dikarenakan mekanik yang dibuat tidak presisi sehingga saat percobaan pertama hingga akhir terdapat perbedaan posisi pada saat awal dilakukan penentuan nilai PWM maksimum.



Gbr. 16 Pengujian Motor untuk PWM Minimum dengan *set point* awal di tengah.

Gambar di atas menunjukkan kondisi saat perangkat dalam posisi seimbang, di mana beberapa percobaan dilakukan untuk menetapkan nilai PWM minimum untuk kendali depan dan belakang, yang akan dijadikan batasan PWM pada kontrol PID. Namun, selama proses pengujian dan penentuan nilai PWM minimum pada perangkat, beberapa kendala muncul. Hal ini disebabkan oleh nilai PWM yang konstan dan tetap, tetapi motor yang digunakan tidak dapat mempertahankan posisi dengan pasti. Oleh karena itu, nilai PWM minimum yang telah ditetapkan tidak dapat diterapkan secara efektif karena menghasilkan variasi hasil meskipun menggunakan nilai yang sama pada

waktu yang berbeda. Rincian hasil penentuan nilai minimum dapat ditemukan dalam Tabel 1.3, di mana LF mengacu pada kiri depan, RF mengacu pada kanan depan, LB mengacu pada kiri belakang.

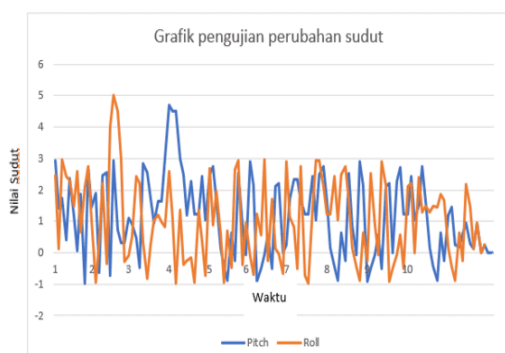
Tabel 5. Pengujian PWM motor Minimum

PWM Minimum (Microsecond)				
Percobaan	PWM_ LF	PWM_ RF	PWM_ LB	PWM_ RB
1	196	193	194	189
2	187	195	197	187
3	189	199	190	191

### C. Implementasi PID

Konstanta  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  memiliki peran krusial dalam menentukan nilai kecepatan motor yang optimal. Ini dilakukan dengan melakukan inisialisasi awal yang diperlukan untuk seluruh perhitungan program, termasuk dalam kalkulasi PID. Nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  diinisialisasi untuk setiap aksi (pitch dan roll) dengan nilai set point masing-masing untuk pitch dan roll sama dengan 0. Program juga menyertakan nilai referensi yang menjadi pedoman untuk memulai atau menghentikan proses yang telah ditetapkan dengan nilai variabel awal. Ketika program dimulai, variabel awal diatur ke 0, menandakan bahwa program belum memulai pemrosesan.

Dalam implementasi PID pada program, perhitungan dilakukan dengan langkah-langkah yang serupa untuk setiap aksinya. Hal ini karena berasal dari satu rumus yang sama, sehingga perhitungan PID juga dilakukan secara terpisah untuk setiap aksi (pitch dan roll). Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan kendali yang tidak saling mengganggu untuk setiap pergerakan yang terjadi pada quadcopter.



Gbr. 17 Grafik Pengujian Perubahan Sudut

Berdasarkan pembacaan dan analisis grafik pengujian pada gambar, durasi pengujian ini mencapai 11 detik. Selama periode tersebut, teramati bahwa nilai pengukuran pitch dan roll berada dalam keadaan steady state dari detik pertama hingga akhir pengujian. Namun, pada sumbu pitch tercatat overshoot sebesar 5 derajat, sementara pada sumbu roll overshoot mencapai 4.8 derajat.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, kemampuan drone untuk bermanuver secara efektif dipengaruhi oleh tingkat stabilitasnya dalam mempertahankan posisi kemiringan. Penggunaan algoritma PID merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menjaga posisi kemiringan yang diinginkan. Adapun sistem kendali PID yang diterapkan pada drone ini masih menunjukkan kecenderungan untuk mengalami pergerakan yang melebihi nilai yang diinginkan, khususnya pada sumbu pitch dan roll selama fase pengujian. Informasi ini memberikan wawasan yang penting terkait performa drone, dan perlu dipertimbangkan untuk pengembangan lebih lanjut guna meminimalkan overshoot dan meningkatkan stabilitas selama operasi.

## REFERENSI

- [1] H. H. Raydina, "RANCANG BANGUN 'SELF-AWEAR DRONE'," Skripsi Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, 2019.
- [2] D. Mellinger, M. Shomin, and V. Kumar, "Control of quadrotors for robust perching and landing," in International Powered Lift Conference, October 5-7, 2010, 2010.
- [3] N. Michael, D. Mellinger, Q. Lindsey, and V. Kumar, "The grasp multiple micro-uav testbed," Robotics & Automation Magazine, IEEE, vol. 17, no. 3, pp. 56–65, 2010.
- [4] Y. E. Prasetyo, "Implementasi Kebijakan Tentang Pengendalian Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak Di Kabupaten Ponorogo (Peraturan Menteri Perhubungan No. 90 Tahun 2015)," Skripsi Program Studi Ilmu Pemerintahan Fakultas Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik Universitas Muhammadiyah Ponorogo, 2020.

- [5] E. P. Esahstiansyah, “Penggunaan Drone Sebagai Pesawat Udara Menurut Hukum Internasional Dan Hukum Nasional,” *UNJA Journal of LegalStudies* vol. 01 no. 01, 2023 (01-27).
- [6] T. C. Mallick, M. A. I. Bhuyan, M. S. Munna. “Design & implementation of an UAV (Drone) with flight data record”. *IEEE Conference Publication*. Accessed: Nov, 27, 2023. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7856519>
- [7] P.-J. Bristeau, F. Callou, D. Vissière, and N. Petit, “The Navigation and Control technology inside the AR.Drone micro UAV,” *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 44, no. 1, pp. 1477–1484, Jan. 2011, doi: <https://doi.org/10.3182/20110828-6-it-1002.02327>.
- [8] R. H. Subrata, R. Tarumasely, and C. D. Setiawan, “PERANCANGAN PENGENDALI PID UNTUK GERAKAN PITCH DAN ROLL PADA QUADCOPTER,” *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, pp. 1–16, Feb. 2017, doi: <https://doi.org/10.25105/jetri.v14i2.1604>
- [9] Suroso, I., “Peran drone/unmanned aerial vehicle (UAV) buatan sttkd dalam dunia penerbangan”, In *Prosiding Seminar Nasional" Pengembangan Kebijakan dan Regulasi Penerbangan dan Antariksa: Problema dan Tantangan"* (pp. 104-112), LAPAN, 2016
- [10] Kusumah, H., & Pradana, R. A., “Penerapan Trainer Interfacing Mikrokontroler Dan Internet Of Things Berbasis ESP32 Pada Mata Kuliah Interfacing”, *Journal Cerita*, 5(2), 120-134, 2019.
- [11] H. Jian, “Design of Angle Detection System Based on MPU6050,” *Advances in Computer Science Research (ACSR)*, volume 73, 2016.
- [12] Steven. (2017). “MOTOR DC DAN JENIS-JENISNYA”. *Himpunan Mahasiswa Teknik Komputer*. Accessed: Nov, 27, 2023. [Online]. Available: <https://student-activity.binus.ac.id/himtek/2017/05/08/motor-dc-dan-jenis-jenisnya/>