

Drone Pemadam Kebakaran dengan Sistem Monitoring *Realtime* Berbasis *Internet of Things*

M. Alwi Hasyim *, Mhd. Zulfansyuri Siambaton, Antoni

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Islam Sumatera Utara, Medan, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 17 Juni 2025
Revisi Akhir: 19 September 2025
Diterbitkan Online: 14 Oktober 2025

KATA KUNCI

Drone Pemadam Kebakaran
Internet of Things
Flame Sensor
MPU6050
Motor Brushless

KORESPONDENSI (*)

Phone: +62 857-617-5072
E-mail : alwih256@gmail.com

A B S T R A K

Kebakaran merupakan bencana yang memerlukan penanganan cepat untuk meminimalkan kerugian material dan risiko korban jiwa. Penelitian ini merancang Drone Pemadam Kebakaran dengan Sistem Monitoring Realtime Berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan komponen utama ESP32 sebagai pengendali utama, Baterai Li-ion 4000mAh sebagai sumber daya, Flame Sensor untuk deteksi api multidirectional, Sensor MPU6050 untuk stabilisasi orientasi drone, Motor Brushless A2212 930KV sebagai penggerak, dan ESC BEC30A 2s-4s untuk kontrol kecepatan motor. Sistem ini memadukan kemampuan deteksi api, pemantauan realtime via IoT, dan memadamkan api dengan air. Data dari sensor flame dan MPU6050 diproses oleh ESP32, lalu dikirim ke antarmuka pengguna melalui jaringan Wi-Fi, menstabilkan diri selama operasi pemadaman berkat integrasi MPU6050. Inovasi ini berpotensi menjadi solusi efektif untuk penanganan awal kebakaran di area berisiko tinggi seperti gedung dan bangunan bertingkat lainnya.

PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan salah satu kejadian yang berpotensi terjadi pada berbagai tempat, baik pada perkantoran maupun pada perumahan masyarakat. Kebakaran merupakan kejadian berkobarnya api yang tidak dikehendaki dan dapat menimbulkan kerugian materil. (Napu dkk., 2022). Kebakaran dapat disebabkan oleh faktor alam misalnya, sambaran petir yang mengenai rumah atau pohon, gempa bumi, kekeringan yang panjang, dan gunung meletus. Selain itu, kebakaran dapat juga disebabkan oleh faktor kelalaian manusia. Contoh faktor kelalaian manusia misalnya, instalasi listrik yang tidak layak, instalasi pipa gas yang tidak sesuai, lupa mematikan kompor, pembakaran sampah sembarangan, serta merokok di tempat yang tidak semestinya. (Hartono & Widjaja, 2022; Putra & Pramudita, 2021).

Dalam penanganan kebakaran, terutama yang terjadi di area yang sulit dijangkau seperti gedung bertingkat, teknologi konvensional sering kali mengalami keterbatasan dalam hal waktu respons, akurasi deteksi, dan kapasitas pemantauan yang real-time. Keterbatasan akses ke lokasi kebakaran dan waktu tanggap yang lambat sering memperburuk situasi, menyebabkan kebakaran meluas sebelum dapat ditangani secara efektif. (Nuruddin, 2022).

Untuk mengatasi tantangan ini, inovasi teknologi memainkan peran penting sebagai solusi yang sangat dibutuhkan. Salah satu teknologi yang dapat diterapkan adalah penggunaan drone yang dilengkapi dengan sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini memungkinkan deteksi kebakaran secara dini melalui sensor-sensor yang terintegrasi dalam jaringan IoT, yang dapat memantau kondisi secara langsung, serta memungkinkan respons cepat untuk pemadaman.

TINJAUAN PUSTAKA

Penanggulangan kebakaran adalah upaya yang sangat penting dalam menjaga keselamatan dan mengurangi kerugian materil yang ditimbulkan. Kebakaran dapat disebabkan oleh berbagai faktor, baik alam maupun kelalaian manusia. Kebakaran di area yang sulit dijangkau, seperti hutan atau daerah pegunungan, memiliki tantangan tersendiri, terutama dalam hal waktu respons, akurasi deteksi, dan kapasitas pemantauan secara *real-time*. (Nuruddin, 2022).

Teknologi IoT memungkinkan pemantauan kebakaran secara *real-time*, dengan sensor yang terintegrasi untuk mendeteksi kebakaran sejak dini. Penggunaan drone dapat menjangkau area yang sulit dijangkau oleh manusia, seperti daerah yang terkena kebakaran hutan (Putra & Pramudita, 2021). Drone pemadam kebakaran yang dilengkapi dengan kamera termal dapat mendeteksi titik api dengan lebih cepat dan akurat, membantu tim pemadam kebakaran merencanakan tindakan yang lebih efektif. (Hartono & Widjaja, 2022).

Selain aspek teknis, penggunaan drone untuk kebakaran juga berpotensi mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang tersedia. Pengumpulan data secara *real-time* memungkinkan tim pemadam kebakaran untuk menentukan prioritas tindakan dan lokasi yang memerlukan perhatian lebih cepat. Beberapa studi juga menyoroti pentingnya kestabilan penerbangan drone dan kendala komunikasi di area yang terpencil sebagai tantangan utama yang perlu diatasi dalam pengembangan teknologi ini. (Putra & Pramudita, 2021).

Secara keseluruhan, penelitian mengenai penggunaan drone dalam pemadam kebakaran dengan sistem IoT menjadi sangat relevan mengingat tantangan yang dihadapi dalam penanganan kebakaran di daerah yang sulit dijangkau dan kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi operasional.

1. ESP32

ESP32 merupakan *microcontroller* SoC (*System on Chip*) terpadu dengan dilengkapi WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth versi 4.2, dan berbagai *peripheral*. ESP32 adalah chip yang cukup lengkap, terdapat prosesor, penyimpanan dan akses pada GPIO (*General Purpose Input Output*). ESP32 bisa digunakan untuk rangkaian pengganti pada Arduino, ESP32 memiliki kemampuan untuk mendukung terkoneksi ke WI-FI secara langsung. (Wagya, 2019).

2. Flame Sensor

Flame Sensor adalah perangkat yang dirancang untuk mendeteksi keberadaan titik api dengan memanfaatkan satu buah penerima inframerah (IR) pada modulnya. Sensor ini memberikan output digital sebagai penanda deteksi api. Berbeda dengan sensor panas, *flame* sensor mendeteksi api berdasarkan panjang gelombang cahaya inframerah yang dipancarkan oleh nyala api, bukan berdasarkan suhu atau temperatur. (Wijaya dkk., 2022).

3. Sensor MPU6050

Sensor MPU6050 adalah perangkat sensor yang terdapat 3-axis *accelerometer* (sensor *percepatan*), 3-axis *gyroscope* (sensor keseimbangan) atau yang dikenal dengan 6DOF (*Degrees of Freedom*), suhu, dan magnetometer. (Wai Hin Ko & Soe Lwin, 2014). Sensor MPU6050 merupakan salah satu jenis alat elektronik yang digunakan sebagai pengukur inersia atau yang disebut dengan *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang dapat mengukur kecepatan, orientasi, dan gaya gravitasi. Nilai yang dihasilkan sensor didapat dari gerakan tiga sumbu yaitu x, y, dan z. Sensor ini mampu membaca kemiringan sudut berdasarkan data sensor yang termuat pada modul MPU6050. (Al-Mashhadani, 2013). Akses modul sensor ini menggunakan jalur data I2C.

4. Motor BLDC A2212/15T 930KV

Motor Brushless Direct Current (BLDC) adalah jenis motor DC yang tidak menggunakan brush, dan memiliki kinerja yang sangat efisien, keandalan tinggi, umur lebih Panjang. (Yuliyanto & Asrori, 2024). Motor jenis ini memiliki banyak keunggulan daripada motor DC biasa. (Naseri et al., 2016). Motor ini mempunyai komponen utama terdiri dari Rotor dan Stator. Pada bagian berputar disebut Rotor sebagai tempat magnet permanen dan bagian yang diam disebut Stator. (Pramono & Pratama, 2016). Stator adalah komponen tempat gulungan kawat tembaga yang berfungsi menghantarkan aliran magnet ke setiap kumparan, yang memungkinkan rotor berputar. (Harbintoro & Krisnadi, 2020).

5. Propeller

Baling-baling (*Propeller*) adalah alat penggerak, salah satu bentuknya yang paling umum ialah baling-baling ulir. Baling-baling ini memiliki daun yang berjumlah dua atau lebih dengan posisi yang menjorok dari hub atau bosh. Daun baling-baling tersebut dapat merupakan bagian yang menyatu dengan hub, atau merupakan bagian yang dapat dilepas dari dan dipasang pada hub atau merupakan daun yang dapat dikendalikan. Sedangkan hub baling-baling ini diposisikan pada poros agar dapat digerakkan oleh mesin penggerak kapal. (Sapto &

Noviandi, 2021). Prinsip dasar pada gaya dorong yang dihasilkan oleh sistem penggerak hingga mencapai ketinggian tertentu yang diinginkan adalah menggunakan turunan dari hukum newton yang kedua, yaitu sebuah benda dengan massa (m) mengalami resultan gaya sebesar (F) akan mengalami percepatan (a) yang arahnya akan sama dengan arah gaya dan besarnya akan berbanding lurus terhadap F dan berbanding terbalik terhadap (m). (Hurmuzi et al., 2022).

6. ESC

Kendali kecepatan elektronik (*Electronic speed Controller*) adalah sebuah sirkuit elektronik dengan tujuan untuk memvariasi dan mengatur kecepatan motor BLDC, arahnya dan bisa berfungsi sebagai rem dinamis. ESC menginterpretasikan informasi bagaimana memvariasikan kecepatan switch dari transistor / Mosfet yang menyebabkan motor berubah kecepatannya. Hal ini dapat memungkinkan variasi kecepatan motor lebih halus dan tepat dengan efisiensi tinggi. ESC menerima input pulsa PWM dari Flight controller dan mengkonversikan pulsa ke dalam bentuk pengaturan daya yang akan disuplai dari catu daya ke motor BLDC. (Sofwan et al., 2023). Rangkaian driver motor yang terdiri dari pengatur kecepatan putar motor dan pengatur posisi sudut putaran motor. Pada pengaturan kecepatan putar motor pulsa PWM digunakan dalam mengatur tegangan, tegangan beban diatur dengan cara mengatur duty cycle dari gelombang kotak yang disupplykan ke basis dari transistor/mosfet. Duty cycle adalah persentase besar siklus aktif didalam satu frekuensi pita tegangan. (Sofwan et al., 2023).

7. Firebase

Firebase merupakan salah satu platform yang dikembangkan oleh Google dan dikenal karena kemudahan serta efektivitasnya dalam mendukung pengembangan aplikasi. Platform ini dirancang untuk menjembatani berbagai kebutuhan lintas platform tanpa mengharuskan pengembang membangun infrastruktur server secara mandiri. (Setyawan, 2024). Salah satu komponennya, Cloud Firestore, adalah basis data dokumen schemaless yang sepenuhnya serverless. Firestore didesain untuk skala besar; ia mampu menangani jutaan kueri per detik dan menampung petabyte data. Firestore dibangun di atas Google Spanner: setiap dokumen Firestore disimpan sebagai satu entri baris pada tabel Spanner, dengan konten dokumen dalam bentuk protocol buffer ter-encode. Pendekatan ini menjamin konsistensi kuat dan isolasi antar-ruang-kerja (multi-tenant). Arsitektur multi-tenant Firestore memungkinkan sumber daya (CPU, memori) dibagi bersama bagi banyak basis data, sehingga beban tinggi pada satu basis tidak mengganggu basis lain. Firestore juga menggunakan routing global: permintaan klien yang masuk ke titik keberadaan Google terdekat akan diarahkan ke region basis data sesuai metadata yang disimpan di Spanner, menjamin ketersediaan tinggi secara global. (Kesavan, 2023). Keunggulan utama Firebase adalah kelengkapan fitur yang ditawarkannya. Firebase menyediakan berbagai layanan seperti autentikasi, Firestore Database, Realtime Database, Google Cloud Messaging, hingga fitur machine learning. Keseluruhan fitur tersebut dirancang untuk memudahkan proses pengembangan, khususnya dalam pengelolaan basis data yang menggunakan pendekatan NoSQL (Romadoni dkk., 2023).

METODOLOGI

Kerangka Konseptual Sistem

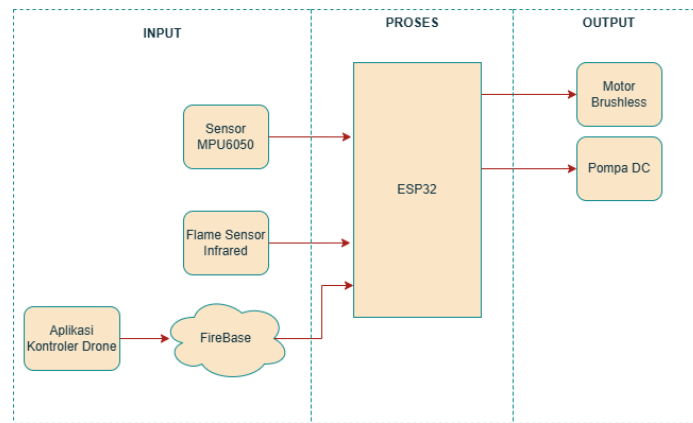
Sistem yang dirancang dalam penelitian ini merupakan sebuah drone otomatis yang dapat dikendalikan secara jarak jauh melalui platform cloud Firebase Realtime Database. Sistem ini mengadopsi dua microcontroller, yaitu ESP32 sebagai modul komunikasi WiFi dan ESP32 sebagai flight controller utama. Pemisahan tugas ini bertujuan untuk memaksimalkan performa sistem, di mana ESP32 bertanggung jawab penuh terhadap proses komunikasi cloud, sedangkan ESP32 fokus pada pemrosesan data sensor dan pengendalian aktuator.

Diagram Blok

Diagram blok sistem terdiri atas beberapa komponen utama. Firebase bertindak sebagai pusat kendali berbasis cloud yang menerima dan mengirim data kendali. ESP32 terkoneksi ke Firebase dan bertugas membaca data perintah serta nilai throttle dari path

/DroneAlwi/command dan /DroneAlwi/Throttle. Data tersebut diteruskan ke ESP32 melalui komunikasi serial UART.

ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali drone. Microcontroller ini menerima data dari ESP32 dan sensor internal seperti MPU6050 (untuk mendeteksi orientasi drone) dan dua sensor flame (untuk deteksi api). Berdasarkan data tersebut, ESP32 akan mengatur kecepatan motor melalui ESC serta mengaktifkan relay untuk pompa jika diperlukan.

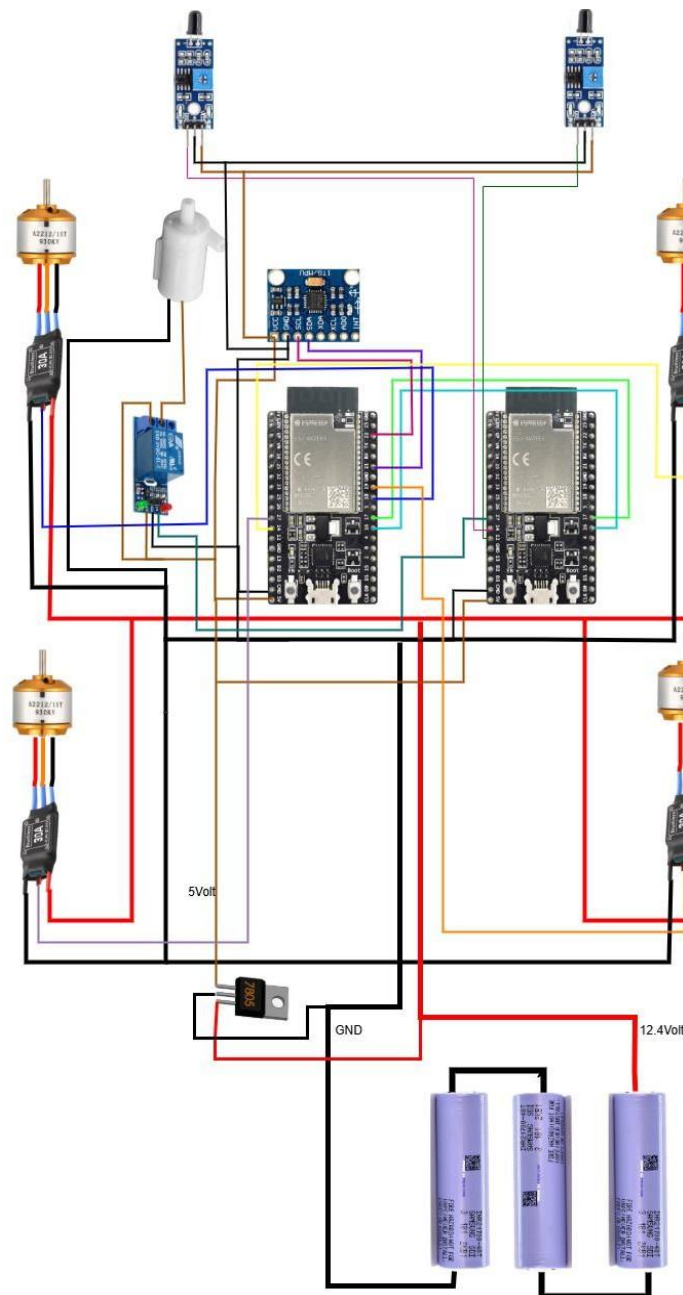


Gambar 1. Blok Diagram

Tahapan yang dilalui dalam penelitian, pembangunan konsep, atau penyelesaian kasus, dituliskan pada bagian metodologi.

Perancangan Hardware

Perangkat keras terdiri dari rangka X-frame kayu komposit untuk kekakuan optimal, mikrokontroler ESP32-WROOM-32 sebagai *flight controller*, IMU MPU6050 untuk data inersial, dan sensor flame UV/IR untuk deteksi api. Tegangan Li-Ion tiga sel (12,4 V) diukur melalui voltage divider (1:3) ke ADC ESP32, sedangkan ESP32 menghasilkan sinyal PWM untuk empat ESC 30 A yang menggerakkan motor brushless A2212.



Gambar 2. Rangkaian Hardware

Perancangan Software

Perangkat lunak sistem “Drone Pemadam Kebakaran Dengan Sistem Monitoring Realtime Berbasis Internet of Things” terdiri atas dua aplikasi ESP32 yang berjalan paralel Modul Komunikasi dan Modul *Flight controller* serta antarmuka pengguna (UI) berbasis web atau mobile. Arsitektur ini memberikan pemisahan tugas yang jelas, memudahkan pengembangan unit per unit, dan memastikan pertukaran data dua arah yang andal.

Pada perancangan ini, terdapat pin komunikasi serial yang menghubungkan pin 16 dan pin 17 ESP32 Flight ke pin rx/tx ESP32 Komunikasi. Sebagai web server yang disediakan oleh google, firebase memberikan fasilitas terhadap pengembangan teknologi Iot terkhusus dalam hal ini merupakan aplikasi online berbasis android yang dapat diakses oleh siapa saja. Dengan program Drone dapat dikontrol melalui aplikasi, sebagai berikut :

```
#include <WiFi.h> #include
<FirebaseESP32.h> #define SSID "ALWI123"
#define PASSWORD ""
#define FIREBASE_HOST "drone-alwi-default-
```

```

rtdb.firebaseio.com" #define FIREBASE_AUTH "AlzaSy..."
FirebaseData fbdo; FirebaseConfig config;
FirebaseAuth auth; void setup() { WiFi.begin(SSID,
PASSWORD);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) delay(100);
config.host = FIREBASE_HOST;
config.signer.tokens.legacy_token = FIREBASE_AUTH;
Firebase.begin(&config, &auth);}
void loop() { float tegangan = bacaVoltase(); bool apiTerdeteksi =
bacaSensorApi(); FirebaseJson data; data.set("voltase", tegangan);
data.set("flame", apiTerdeteksi ? "Api_Terdeteksi" :
"Api_Tidak_Terdeteksi"); Firebase.updateNode(fbdo, "/DRONE_ALWI",
data); FirebaseJson json;
if (Firebase.getJSON(fbdo, "/DRONE_ALWI", &json)) {
int throttle = ambilThrottle(json); int command =
ambilCommand(json); float pidPitch = ambilPID(json,
"Pitch"); } delay(100);}

```

ESP32 Flight merupakan unit mikrokontroler yang bertanggung jawab dalam mengendalikan seluruh proses penerbangan drone. Perangkat ini menerima masukan dari berbagai komponen sensor, termasuk data orientasi dari sensor MPU6050, serta data perintah dari Firebase Realtime Database yang dikirimkan melalui modul komunikasi. Berdasarkan data yang diperoleh, ESP32 Flight melakukan perhitungan kontrol menggunakan algoritma PID (Proportional-Integral-Derivative) untuk menjaga kestabilan drone pada sumbu pitch, roll, dan yaw.

Selain melakukan pengendalian kestabilan, ESP32 Flight juga menjalankan perintah-perintah operasional seperti pengaturan kecepatan motor (throttle), manuver arah, serta respon terhadap kondisi tertentu seperti deteksi api atau penurunan tegangan baterai. Komunikasi dua arah dengan Firebase memungkinkan sistem untuk menerima perintah kendali secara real-time serta mengirimkan data sensor ke cloud untuk keperluan monitoring.

Berikut merupakan kode program yang menunjukkan fungsi utama ESP32 Flight dalam sistem kendali penerbangan :

```

#include <Wire.h> #include <Adafruit_MPU6050.h> #include <ESP32Servo.h>
Adafruit_MPU6050 mpu; Servo m1, m2, m3, m4;
float kpP=0, kiP=0, kdP=0; float kpR=0, kiR=0, kdR=0; float kpY=0, kiY=0,
kdY=0; float pitchFilt=0, rollFilt=0;
float gyroX_offset=0, gyroY_offset=0,
gyroZ_offset=0; float intP=0, intR=0, intY=0;
int throttleTarget = 1000, throttleCurrent =
1000; const float alpha = 0.88, I_MAX = 1.0, DZ
= 0.25;
const int MAX_CORR = 100, THROTTLE_STEP = 2;
unsigned long lastSensorMillis =
0; void setup() {
Serial.begin(115200);
m1.attach(18); m2.attach(14); m3.attach(27); m4.attach(19);
mpu.begin(); mpu.setFilterBandwidth(MPU6050_BAND_21_HZ);
// Kalibrasi offset gyro dan akselerometer
// ...}
void loop() {
if (millis() - lastSensorMillis >= 5) { lastSensorMillis = millis();
sensors_event_t a, g, t; mpu.getEvent(&a, &g, &t);
float gyroX = g.gyro.x - gyroX_offset;
float gyroY = g.gyro.y - gyroY_offset;
float gyroZ = g.gyro.z - gyroZ_offset;
float rawP = atan2(a.acceleration.x,

```

```

    sqrt(pow(a.acceleration.y,2) + pow(a.acceleration.z,2))) *
    180/PI; float rawR = atan2(a.acceleration.y,
    a.acceleration.z) * 180/PI; pitchFilt = alpha * (pitchFilt +
    gyroY * 0.005) + (1 - alpha) * rawP; rollFilt = alpha *
    (rollFilt + gyroX * 0.005) + (1 - alpha) * rawR;
    if (fabs(pitchFilt) < DZ) pitchFilt = 0; if (fabs(rollFilt) < DZ)
    rollFilt = 0; float errP = -pitchFilt; intP += errP * 0.005;
    intP = constrain(intP, -I_MAX, I_MAX);
    float outP = kpP * errP + kiP * intP + kdP *
    (errP); float errR = -rollFilt; intR += errR *
    0.005;
    intR = constrain(intR, -I_MAX, I_MAX);
    float outR = kpR * errR + kiR * intR + kdR *
    (errR); float errY = -gyroZ; intY += errY * 0.005;
    intY = constrain(intY, -I_MAX, I_MAX);
    float outY = kpY * errY + kiY * intY + kdY *
    (errY); outP = constrain(outP, -MAX_CORR,
    MAX_CORR); outR = constrain(outR, -
    MAX_CORR, MAX_CORR); outY =
    constrain(outY, -MAX_CORR, MAX_CORR);
    m1.writeMicroseconds(throttleCurrent - outP - outR + outY);
    m2.writeMicroseconds(throttleCurrent - outP + outR - outY);
    m3.writeMicroseconds(throttleCurrent + outP + outR + outY);
    m4.writeMicroseconds(throttleCurrent + outP - outR - outY);}}

```

Tampilan antarmuka ini dirancang untuk mendukung pemantauan dan kendali jarak jauh terhadap platform udara tak berawak (drone) yang berfungsi sebagai sistem pemantauan kebakaran. Pada bagian atas antarmuka, ditampilkan identitas pengembang (“M.Alwi Hasyim”), diikuti judul “PEMANTAUAN KEBAKARAN” yang menegaskan fokus aplikasi pada deteksi dini fenomena kebakaran. Indikator status deteksi api (“Api_Terdeteksi”) diperoleh dari sensor flame atau kamera inframerah, dan diperbarui secara real-time untuk memberikan umpan balik visual mengenai keberadaan panas atau nyala api di area pantau.

Selanjutnya, parameter tegangan baterai ditampilkan melalui teks “VOLTASE BATERAI 1.1 VOLT”, yang merepresentasikan hasil pembacaan Voltase pada mikrokontroler ESP32 setelah melewati rangkaian pembagi tegangan. Nilai ini digunakan untuk memantau kondisi daya pada paket baterai Lithium Ion (sekitar 12,4 V nominal untuk konfigurasi tiga sel), sehingga operator dapat menentukan batas misi sebelum tegangan mencapai ambang kritis.

Untuk kendali penerbangan, antarmuka menyediakan dua mekanisme input. Pertama, kontrol throttle menggunakan slider horizontal dengan rentang nilai 0–100 %, yang secara kontinu memodulasi sinyal PWM ke ESC motor sesuai perintah operator. Perubahan nilai slider dikomunikasikan melalui Firebase Realtime Database pada path /DroneAlwi/Throttle, dan direspons oleh ESP32 dalam loop kontrol sehingga drone dapat melakukan hover atau manuver vertikal. Kedua, tersedia tombol perintah arah—“MAJU”, “MUNDUR”, “KIRI”, dan “KANAN”—yang memetakan sinyal angka (misalnya 4, 5, 6, 7) ke perintah pitch dan roll. Perintah tersebut dipublikasikan pada path /DroneAlwi/command dan dieksekusi oleh modul flight controller untuk mengatur distribusi thrust antar motor, menghasilkan gerakan translasi sesuai instruksi.



Gambar 3. Perancangan Aplikasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini dirancang untuk memverifikasi dan memvalidasi kinerja sistem Drone Pemadam Kebakaran dengan Sistem Monitoring Realtime Berbasis Internet of Things agar memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan pada aspek perangkat keras maupun perangkat lunak. Secara khusus, tujuan pengujian meliputi :

1. Evaluasi Kinerja Kendali Penerbangan
Memastikan mekanisme *feedback control* PID (Proportional Integral Derivative) mampu mempertahankan kestabilan *hover* dan merespons variasi perintah throttle dan arah sesuai input operator.
2. Verifikasi Keandalan Komunikasi Data
Mengukur latensi dan *throughput* transmisi kontrol dan telemetry melalui Firebase Realtime Database, serta memastikan integritas data selama proses baca-tulis (read-write) antara antarmuka pengguna dan modul ESP32.
3. Pengujian Sensitivitas Sensor Api
Menentukan ambang deteksi flame sensor atau kamera inframerah pada rentang jarak tertentu, serta menghitung waktu respons sistem terhadap kemunculan nyala api.
4. Validasi Akurasi Real-Time
Menilai ketepatan pembacaan tegangan baterai dan orientasi (MPU6050), serta keakuratan dan konsistensi pengiriman data telemetry (status deteksi api, voltase, sudut pitch/roll) secara kontinu dalam interval waktu yang telah ditentukan.

Metode Pengujian

Pengujian sistem dilaksanakan dengan pendekatan pengujian fungsional (*functional testing*) dan pengujian performa (*performance testing*) untuk menjamin kesesuaian operasional dan responsivitas perangkat keras maupun perangkat lunak drone pemadam kebakaran.

Pengujian fungsional bertujuan memverifikasi bahwa setiap modul termasuk modul komunikasi, modul kendali (*flight controller*), dan modul sensor beroperasi sesuai dengan spesifikasi desain. Berikut ini adalah gambar Drone secara keseluruhan.



Gambar 4. Tampilan Drone Secara Keseluran

Prosedur pengujian meliputi sebagai berikut :

1. Verifikasi Alur Kendali
 - a. Slider throttle saya geser kekanan sampai ketengah dimana kalau digeser semakin kekanan akan

menambah kecepatan putaran ke-4 motor



Gambar 5. Slider Thottle

Berikut ini adalah keadaan dimana setelah saya slider thorttle tadi maka nilai di database firebase juga akan ikut berubah.



Gambar 6. Data Throttle Dari Firebase

- b. Tombol arah pada UI ditekan salah satunya misalkan saya menekan tombol Maju pada aplikasi, maka nilai tersebut langsung ditulis ke Firebase.



Gambar 7. Nilai dari Tombol Maju yang ditulis ke Firebase

- c. ESP32-Komunikasi membaca perintah, meneruskannya Jalur Serial *Flight controller*, dan drone mengubah sinyal PWM motor.

```

Firebase resp: 665ms | Throttle: 1000 µs | Cmd: 0
Firebase resp: 624ms | Throttle: 1000 µs | Cmd: 0
Firebase resp: 672ms | Throttle: 1000 µs | Cmd: 0
Firebase resp: 435ms | Throttle: 1000 µs | Cmd: 0
Firebase resp: 417ms | Throttle: 1260 µs | Cmd: 0
Firebase resp: 491ms | Throttle: 1260 µs | Cmd: 0
Firebase resp: 432ms | Throttle: 1260 µs | Cmd: 0

```

Gambar 8. Nilai Throttle yang diterima ESP32 Komunikasi

- d. Keberhasilan alur dinilai jika perubahan throttle/tombol memicu gerakan motor sesuai instruksi, disini saya mengirim perintah maju yang dimana kode untuk maju itu 4, M1 dan M3 adalah motor depan jadi untuk agar drone bisa maju maka motor M2 dan M4 harus lebih tinggi maka dari itu hasil nya seperti gambar berikut :

```

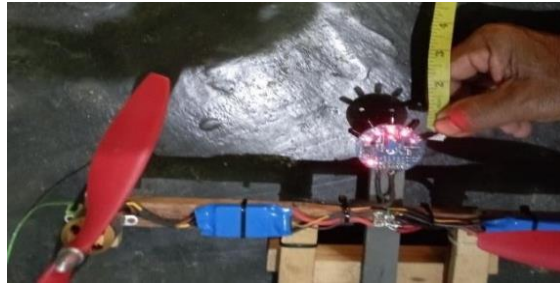
| M1:1240 M3:1240 M4:1280 M2:1280 Cmd:4 |
| M1:1240 M3:1240 M4:1280 M2:1280 Cmd:4 |
| M1:1240 M3:1240 M4:1280 M2:1280 Cmd:4 |
| M1:1240 M3:1240 M4:1280 M2:1280 Cmd:4 |
| M1:1240 M3:1240 M4:1280 M2:1280 Cmd:4 |
| M1:1240 M3:1240 M4:1280 M2:1280 Cmd:4 |

```

Gambar 9. Respon Motor drone

2. Uji Deteksi Api

- a. Flame sensor diuji pada jarak 150 cm ke sumber api (korek gas).



Gambar 10. Posisi Meteran Dibawah Sensor di jarak 0cm



Gambar 11. Posisi Meteran Dibawah Sensor di jarak 44cm

- b. Status “Api_Terdeteksi” dan “Tidak_Terdeteksi_Api” dicatat ke Firebase.

M. Alwi Hasyim

PEMANTAUAN KEBAKARAN

Api_Terdeteksi

Gambar 12. Api Terdeteksi

|

Tabel 1. Pengujian Flame Sensor

No	Jarak	Kondisi Sensor
1	44cm	Api_Terdeteksi
2	150cm	Api_Terdeteksi
3	>150cm	Api_Tidak_Terdeteks i

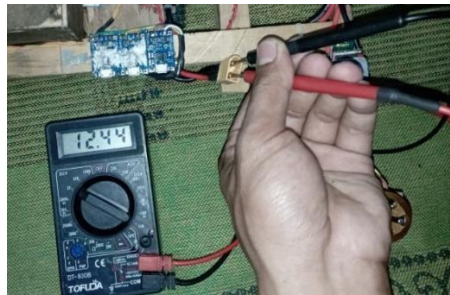
3. Uji Akurasi Tegangan Baterai

- Tegangan baterai diukur oleh ADC ESP32 dan oleh voltmeter eksternal pada tiga titik: 4,2 V; 3,8 V; 3,4 V.
- Pembacaan dari hasil sensor voltase di Drone dengan multimeter yang digunakan untuk mengukur voltase baterai selisih pembacaan sensor voltase ± 0.1 Volt dari multimeter.

VOLTASE BATERAI

12.3 VOLT

Gambar 14. Pembacaan Sensor Voltase



Gambar 15. Pembacaan Multimeter

Pengujian Performa

1. Respon Time

Respon waktu dicatat saat slider/tombol diubah (UI) Timestamp diambil saat *flight controller* mengeksekusi perubahan PWM (log serial).

```

Firebase resp: 423ms | Throttle: 1000  $\mu$ s | Cmd: 0
Firebase resp: 630ms | Throttle: 1000  $\mu$ s | Cmd: 0
Firebase resp: 665ms | Throttle: 1000  $\mu$ s | Cmd: 0
Firebase resp: 624ms | Throttle: 1000  $\mu$ s | Cmd: 0
Firebase resp: 672ms | Throttle: 1000  $\mu$ s | Cmd: 0
Firebase resp: 435ms | Throttle: 1000  $\mu$ s | Cmd: 0
Firebase resp: 417ms | Throttle: 1260  $\mu$ s | Cmd: 0
Firebase resp: 491ms | Throttle: 1260  $\mu$ s | Cmd: 0
Firebase resp: 432ms | Throttle: 1260  $\mu$ s | Cmd: 0

```

Gambar 16. Respon time antara ESP32 Komunikasi ke Firebase

Waktu Respon Time Antara ESP32 komunikasi dan ESP32 *Flight controller*

```

05:32:04.956 .
05:32:04.987 .
05:32:05.020 .
05:32:05.020 .
05:32:05.053 .
05:32:05.053 .
05:32:05.084 .
05:32:05.084 .

```

Gambar 17. Respon Time

2. Kestabilan Drone Saat Mengudara

Posisi Drone saat Idle atau nilai throttle rendah yang berkisar 10-15% dari daya maksimum



Gambar 18. Drone Saat Idle

Drone saat posisi hovering atau berada diatas udara pada kondisi ini nilai throttle yang saya berikan sekitar 60% dari daya maksimum.



Gambar 19. Drone Saat Hovering

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pengujian sistem pemantauan kebakaran ini menunjukkan bahwa flame sensor mampu mendeteksi nyala api kecil dalam batas jarak tertentu. Berdasarkan spesifikasi modul KY-026, tiap sensor mendeteksi api hingga sekitar 1 meter dengan sudut deteksi $\sim 60^\circ$. Dengan dua sensor terpasang, total cakupan sudut pandang menjadi sekitar 120° , memungkinkan pendeteksian api di depan drone dalam rentang tersebut. Hal ini membuat sistem dapat mengenali keberadaan api skala kecil (misalnya lilin) selama api berada dalam garis pandang sensor, meskipun area di luar sudut tersebut tidak terpantau.

Stabilisasi penerbangan drone dijaga oleh integrasi sensor IMU MPU6050 pada kendali penerbangan. Data akselerasi dan rotasi dari MPU6050 diolah oleh pengendali PID sehingga drone mampu melakukan hover stabil. Penelitian terkait membuktikan bahwa implementasi MPU6050 dalam kontrol PID membuat quadcopter dapat terbang dan mempertahankan posisi dengan stabil. Oleh karena itu, dalam sistem ini drone berhasil mempertahankan orientasi dan posisi yang stabil selama operasi, penting untuk akurasi manuver dan penyemprotan pemadam.

Komunikasi data sensor ke antarmuka pengguna berjalan secara real time menggunakan Firebase Realtime Database. Firebase adalah basis data cloud-hosted yang menyimpan data dalam format JSON dan secara otomatis mensinkronisasi setiap perubahan ke semua klien yang terhubung ke firebase. Dengan demikian, pembacaan sensor flame dan MPU6050 yang baru langsung diperbarui di dashboard monitoring tanpa penundaan berarti. Fitur ini memastikan operator selalu mendapat informasi situasi kebakaran terkini, sehingga pemantauan IoT berjalan responsif dan andal.

Sistem penyemprotan otomatis dilengkapi pompa air yang terpicu saat api terdeteksi. Saat sensor flame menangkap keberadaan api, drone segera mengaktifkan pompa untuk menyemprotkan air ke sumber api, sebagaimana dikonsepkan dalam prototipe drone pemadam cerdas ijsret.com. Dalam pengujian skala kecil, mekanisme ini efektif menyemprot air ke api kecil sehingga pemadaman awal dapat terjadi. Meskipun jumlah air terbatas, penyemprotan otomatis ini memberikan intervensi pemadaman awal yang membantu meredam nyala api sebelum tim darat datang. Secara

keseluruhan, tiap komponen pendeteksian api, kestabilan terbang, komunikasi realtime, dan penyemprotan telah bekerja sesuai fungsi dan membuktikan konsep drone pemadam kebakaran skala kecil ini.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian di atas, beberapa saran pengembangan sistem drone pemadam kebakaran dengan IoT adalah sebagai berikut :

1. Peningkatan kapasitas tangki air dan efisiensi semprotan.
Peningkatan volume tangki air sangat dianjurkan agar drone dapat terbang lebih lama dan menjangkau area kebakaran lebih luas sebelum perlu isi ulang. Beberapa studi telah merancang drone pemadam dengan tangki berkapasitas besar dan pompa bertekanan tinggi untuk operasi pemadaman jarak jauh. Dengan tangki lebih besar, durasi tugas melawan api meningkat sehingga cakupan area bertambah. Selain itu, efisiensi pompa penyemprot juga perlu ditingkatkan (misalnya menggunakan pompa bertekanan lebih tinggi atau nozzle yang lebih optimal) agar semburan air lebih kuat dan tepat sasaran. Penyesuaian desain pompa dan saluran air akan memperbaiki jangkauan semprotan, sehingga air dapat mengalir deras dan menyebar merata ke sumber api.
2. Integrasi kamera termal untuk deteksi api yang lebih akurat.
Menambahkan modul kamera termal pada drone akan membantu mendeteksi titik api tersembunyi maupun api pada jarak jauh dengan lebih cepat. Kamera termal mampu menangkap citra suhu, sehingga api maupun hotspot yang tidak terlihat dengan sensor biasa (misalnya tertutupi asap atau dalam kondisi gelap) dapat teridentifikasi secara jelas. Dengan adanya citra termal, sistem dapat mengenali area panas yang mendekati batas kebakaran dan mengarahkan drone ke titik tersebut. Hal ini meningkatkan akurasi deteksi dan mengurangi false alarm, khususnya pada kebakaran yang baru mulai atau menyebar di lokasi sulit terjangkau. Penerapan kamera termal juga memungkinkan pemantauan situasi secara visual di malam hari ataupun saat visibilitas rendah, mendukung respons pemadaman yang lebih efektif.
3. Pengembangan sistem navigasi otomatis berbasis GPS.
Penggunaan modul GPS dan algoritma otonom dapat mengantarkan drone terbang mandiri menuju koordinat sumber api tanpa perlu kontrol manual penuh. Dengan mengkombinasikan data posisi GPS dan algoritma navigasi cerdas, drone dapat memetakan rute terpendek ke lokasi kebakaran serta menghindari rintangan selama penerbangan. Algoritma navigasi yang canggih mampu mengarahkan drone secara otomatis menuju titik api dengan presisi tinggi, sekaligus mempertahankan stabilitas saat terbang di lingkungan berarus angin atau di antara gedung-gedung. Pengembangan fitur ini akan membuat drone berfungsi sebagai platform point-and-shoot pemadaman api: operator hanya perlu menentukan koordinat target, dan drone akan terbang sendiri menuju sumber api. Dengan demikian, operasi pemadaman menjadi lebih cepat, aman, dan minim intervensi manusia, terutama dalam situasi genting atau lokasi berbahaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al-Mashhadani, M. A. 2013. Optimal and Pid Controller for Controlling Camera's Position In Unmanned Aerial Vehicles. *International Journal of Information Technology, Modeling and Computing*, 1(4), 25–33. <https://doi.org/10.5121/ijitmc.2013.1403>
- [2] Andreas, A., Priyandoko, G., Mukhsim, M., & Putra, S. A. 2020. KENDALI KECEPATAN MOTOR POMPA AIR DC MENGGUNAKAN PID – CSA BERDASARKAN DEBIT AIR BERBASIS ARDUINO. *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, 1(01), 1–14. <https://doi.org/10.31328/jasee.v1i01.3>
- [3] Avanzini, G., Nisio, A. D., Lanzolla, A. M. L., & Stigliano, D. 2020. A test-bench for battery-motor-propeller assemblies designed for multirotor vehicles. *2020 IEEE 7th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)*, 600–605. <https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace48742.2020.9160320>
- [4] Harbintoro, S., & Krisnadi, L. 2020. Pembuatan Inti Stator Motor Listrik Dengan Menggunakan Proses Milling Profil. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 14(2), 209. <https://doi.org/10.26578/jrti.v14i2.6374>
- [5] Hartono, A., & Widjaja, A. 2022. *PROTOTYPE PENDETEKSI KEBAKARAN MENGGUNAKAN SENSOR FLAME, SENSOR DHT11 DAN MIKROKONTROLER NODEMCU ESP8266 BERBASIS WEBSITE*.

- [6] Hurmuzi, E. R., Prasetya, D. A., & Suprayogi. 2022. ESTIMASI JARAK DAN KECEPATAN PADA ALAT UJI STATIS ROKET LATIH EXPERIMENT DENGAN PEDEKATAN GAYA DORONG OPTIMAL. *Prosiding SNATIF*, 4.
- [7] Kesavan, R. 2023. Firestore: The NoSQL Serverless Database for the Application Developer. *International Conference on Data Engineering (ICDE)*, 1.
- [8] Maulana, H. S., Dewanto, R. S., & Binugroho, E. H. (2024). *Rancang Bangun Alat Uji Gaya Dorong Propeller untuk Karakterisasi Motor Pada Sistem Propulsi Unmanned Aerial Vehicle*. 26(1).
- [9] Mukti, D. S., Hidayati, N., & Rasyid, A. 2023. Quality of Service Analysis on EaTrain Application at A Restaurant on A Train. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 10(2), 225–236. <https://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v10i2.4477>
- [10] Napu, A., Kembuan, O., & Santa, K. 2022. Sistem Peringatan Dan Penanganan Dini Kebakaran Berbasis Internet Of Things(IoT) *JOINTER : Journal of Informatics Engineering*, 3(01), 10–16. <https://doi.org/10.53682/jointer.v3i01.45>
- [11] Naseri, F., Farjah, E., & Ghanbari, T. 2016. An Efficient Regenerative Braking System Based on Battery/Supercapacitor for Electric, Hybrid and Plug-In Hybrid Electric Vehicles with BLDC Motor. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2611655>
- [12] Nuruddin, A. A. 2022. Mempersiapkan Pengendalian Kebakaran Hutan di Masa Datang: Teknologi dan Inovasi Baru. *Journal of Tropical Silviculture*, 13(01), 29–36. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.13.01.29-36>
- [13] Nuryanti, S. zahara, Andayani, R. D., & Nopian. (2018). ANALISA PERFORMANSI POMPA SENTRIFUGAL DENGAN VARIASI KECEPATAN PUTARAN MESIN DAN DEBIT ALIRAN. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 6(2).
- [14] Perdana, F. A. 2021. Baterai Lithium. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 9(2), 113. <https://doi.org/10.20961/inkui.v9i2.50082> Pramono, W. B., & Pratama, H. P. 2016. *PERANCANGAN MOTOR LISTRIK BLDC 10 KW UNTUK SEPEDA MOTOR LISTRIK*. 2. Putra, M. D. D., & Pramudita, R. 2021. *SISTEM DETEKSI API BERBASIS INTERNET OF THINGS PADA RUMAH*.
- [15] Romadoni, J., Hakim, B. R., & Rasyid, M. 2023. Sistem Informasi Wisata Religi di Kota Banjarmasin Berbasis Flutter dan Firebase. *JSITIK: Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi Informasi Komputer*, 2(1), 41–53. <https://doi.org/10.53624/jsitik.v2i1.310>
- [16] Sanad, E. A. W. 2019. Pemanfaatan Realtime Database di Platform Firebase Pada Aplikasi E-Tourism Kabupaten Nabire. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 22(1), 20–26. <https://doi.org/10.25042/jpe.052018.04>
- [17] Sapto, A. D., & Noviandi, M. F. 2021. *ANALISIS THRUST DAN TORQUE BERDASARKAN VARIASI PUTARAN DAN JUMLAH BLADE PROPELLER AIR PADA UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) AMPHI-FLY EVO 1.0*.
- [18] Setyawan, R. A. 2024. Penerapan Firebase Realtime Database Pada Aplikasi Catatan Harian Diabetes Melitus. *Jurnal Informatika Komputer, Bisnis dan Manajemen*, 22(1), 1–9. <https://doi.org/10.61805/fahma.v22i1.102>
- [19] Sofwan, A., Yamin, M. I., & Santoso, B. 2023. SISTEM PENGENDALIAN KESTABILAN PESAWAT TANPA AWAK BERBASIS KONTROL PID. *SINUSOIDA*, 25(1), 42–51. <https://doi.org/10.37277/s.v25i1.1669>
- [20] Thowil Afif, M., & Ayu Putri Pratiwi, I. 2015. Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel- Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik—Review. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(2), 95–99. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1>
- [21] Wag yana, A. 2019. Prototipe Modul Praktik untuk Pengembangan Aplikasi Internet of Things (IoT). *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga- elektronika-telekomunikasi-komputer*, 8(2), 238. <https://doi.org/10.36055/setrum.v8i2.6561>
- [22] Wai Hin Ko, S. K., & Soe Lwin, Dr. K. 2014. Basic Multicopter Control with Inertial Sensors. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(9), 229–233.

- [23] Wijaya, M. A., Nur Ikhsan, R., & Sugianto, E. 2022. Analisis Perbandingan Kinerja Antara Sensor Api Flame 5 Channel Dengan Sensor Asap MQ2. *Bulletin of Information Technology (BIT)*, 3(4), 231–238. <https://doi.org/10.47065/bit.v3i4.364>
- [24] Yuliyanto, C. F. & Asrori. 2024. Pengaruh Jumlah Slot Stator Terhadap Kecepatan Putaran dan Suhu pada Motor BLDC. *Journal of Mechanical Engineering*, 1(3), 11. <https://doi.org/10.47134/jme.v1i3.2962>

BIODATA PENULIS



Penulis Pertama

Nama : M. Alwi Hasyim

NPM : 71210915047

Program Studi : Teknik Informatika

Tahun Masuk / Lulus :2021 / 202