

**PERANCANGAN QUADCOPTER BERBASIS *FLIGHT*
CONTROLLER PIXHAWK SEBAGAI PEMANTAU KUALITAS
UDARA**

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro

Oleh:
MUHAMMAD IKHLASUL AMAL
NIM D1021201008



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2024**

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ikhlasul Amal

NIM : D1021201008

menyatakan bahwa dalam SKRIPSI yang berjudul “Perancangan *Quadcopter* Berbasis *Flight Controller* Pixhawk Sebagai Pemantau Kualitas Udara” tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi manapun. Sepanjang pengetahuan Saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Rujukan.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Saya sanggup menerima konsekuensi akademis dan hukum di kemudian hari apabila pernyataan yang dibuat ini tidak benar.

Pontianak, 13 Desember 2024

Muhammad Ikhlasul Amal
NIM D1021201008



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124

Telepon: (0561) 740186 Email: ft@untan.ac.id Website: <http://teknik.untan.ac.id>

HALAMAN PENGESAHAN

PERANCANGAN *QUADCOPTER* BERBASIS *FLIGHT*
CONTROLLER PIXHAWK SEBAGAI PEMANTAU KUALITAS
UDARA

Program Studi Sarjana Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro

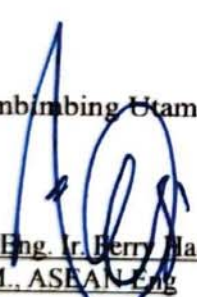
Oleh:

MUHAMMAD IKHLASUL AMAL
NIM. D1021201008

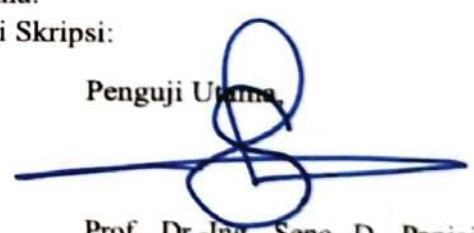
Telah dipertahankan di depan Penguji Skripsi pada tanggal 13 Desember
2024 dan diterima sebagai satu diantara persyaratan untuk memperoleh
gelar sarjana.

Susunan Penguji Skripsi:

Pembimbing Utama,


Dr. Eng. Ir. Perry Madary, S.T., M.Eng.,
IPM., ASEAN Eng
NIP. 197102281995121001

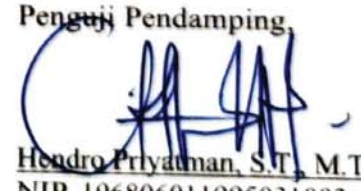
Penguji Utama,


Prof. Dr.-Ing. Seno D. Panjaitan, S.T.,
M.T., IPM
NIP. 197507162000121001

Pembimbing Pendamping,


Dr. Ir. Bomo Wibowo Sanjaya, S.T., M.T.,
IPM
NIP. 197404011999031003

Penguji Pendamping,


Hendro Priyatman, S.T., M.T.
NIP. 196806011995031003

Pontianak, 13 Desember 2024
Dekan,


Dr. -Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM.
NIP. 196712251992031002

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulisan skripsi yang berjudul “Perancangan *Quadcopter* Berbasis *Flight Controller* Pixhawk Sebagai Pemantau Kualitas Udara” dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini dengan segala hormat dan kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih atas bantuan baik material maupun spiritual serta bimbingan yang telah diberikan dalam proses penyelesaian skripsi ini kepada:

1. Bapak Ibnu Kayyim dan Ibu Susiana, selaku orangtua yang doa, cinta, pengayoman, serta pengorbanannya yang tak pernah berhenti.
2. Bapak Dr. –Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak.
3. Bapak Prof. Dr. Ing. Seno Darmawan Panjaitan, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak, sekaligus Penguji Utama Tugas Akhir
4. Bapak Elang Dirdian Marindani, S.T. M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak.
5. Bapak Dr. Ir. Bomo Wibowo Sanjaya, S.T., M.T., IPM. selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan serta dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, sekaligus Dosen Pembimbing Pendamping Tugas Akhir.
6. Bapak Dr. Eng. Ir. Ferry Hadary, S.T., M.Eng. IPM., ASEAN Eng. selaku Dosen Pembimbing Utama Tugas Akhir.
7. Hendro Priyatman, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Pendamping Tugas akhir
8. Para dosen beserta staf akademik, jurusan, laboratorium, umum, dan kemahasiswaan, yang telah membantu penulis selama menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak.
9. Tim DCC Lab. Teknik Untan
10. Tim Robot Terbang FT Untan yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.
11. Sahabat dan teman-teman penulis.
12. Rekan-rekan mahasiswa dan semua pihak yang telah banyak membantu baik moril dan materil dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat sebagai bahan untuk menambah ilmu pengetahuan dan masukan bagi semua pihak.

Pontianak, 13 Desember 2024

Penulis,

Muhammad Ikhlasul Amal

NIM. D1021201008

HALAMAN PERSEMBAHAN

Qadarullah, tidak ada satupun ilmu yang kudapat tanpa izin-Nya. Sungguh ilmu dan iman, adalah karunia tak terhingga dari-Nya yang menjadi bekal paling berharga bagi manusia selama hidup di dunia yang fana ini.

Karya ilmiah ini, saya persembahkan untuk kedua orang tua, adik, serta paman dan bibi yang selalu mendoakan, mencurahkan kasih sayang, serta memberikan dukungan berupa moral dan materi yang tak terhingga sampai kapanpun. Bahwasanya, keluarga adalah rumah yang hangat dan harta yang berharga.

Terimakasih banyak juga kepada Pak Ferry dan Pak Wagino. Yang secara pribadi telah saya anggap seperti orang tua saya di kampus ini; Terima kasih telah menerima saya sebagai bagian dari keluarga DCC Lab. Sungguh, apabila saya sukses dikemudian hari, tidaklah lepas dari peran anda berdua. Semoga Allah selalu melimpahkan rahmat.

Dan, tentu untuk sahabatku Septiani, Alif Darmawan, Meri Pandia dan Taufiqurrahman. Terimakasih telah menjadi teman di kala susah. Terima kasih telah menjadi teman untuk bertukar cerita dan merajut asa serta cita.

Tak lepas juga, kepada sahabat di Lab DCC yang senantiasa memberikan dukungan dan teman bercanda selama di Lab. Bang Oking, Bang Wahyu, Bang Rahel, Bang Dzaki, Bang Dean, Kak Nur, Kak Nevi, Rafidal, Jeremy, Tsabit, dan Lisa. Sukses selalu untuk kalian.

Secara khusus juga, kuucapkan terima kasih kepada sahabat pena-ku; Nadhif Lazuardi Aulia Rahim, yang menjadi teman berbagi kisah dan saling memberi dukungan satu sama lain untuk menjadi orang hebat.

Dan secara hormat, terima kasih kepada organisasi yang telah membentuk mental serta pemikiran-pemikiran ku yaitu, IMP-KB; LSMI Al-Istiqomah; UKM PP LISMA Untan; dan Tim Robot Terbang.

Dan yang tak ingin kulupakan, teman-teman yang kutemui dimasa kuliah dan punya peran besar dalam hidupku. Agar nama kalian bisa kuingat dimasa mendatang, biar sajalah kutuliskan sini. Bang Aldy Muardi, Bang

Aidil, Bang Rigo, Nur Huwaida, Alma Ananda, Lady, Tyas, Bang Tegar, Berti, Rifki, Revaldi, Indra, Hardi, Surya, Suci, Dovi, Hasan, Reksi, Fadli, Husta, Ariansyah, Rivaldo, Antonius, Teguh, Mudasir, Graceline, Oktorio, Bang Syarul, dan Bang Irsyad.

Serta kepada pihak manapun, yang pernah kutemui untuk belajar, berkerja, berdiskusi bersama-sama, namun tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih banyak atas segala pertemuan yang mengesankan dan membuatku tumbuh berkembang serta banyak belajar berbagai hal. Semoga dikemudian hari, dapatlah kita berjumpa kembali.

ABSTRAK

Quadcopter dirancang untuk meningkatkan mobilitas dan efektivitas dalam pemantauan kualitas udara melalui integrasi sistem sensor dan teknologi telemetri. Desain ini menggabungkan berbagai sensor untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, karbon monoksida, ozon, dan partikulat 10 mikrometer untuk memperoleh data kualitas udara secara *real-time*. Sistem ini memanfaatkan *flight controller* Pixhawk 2.4.8, yang memiliki kestabilan dan fleksibilitas dalam navigasi, serta dilengkapi dengan teknologi telemetri untuk transmisi data jarak jauh. *Quadcopter* dirancang untuk menjangkau area yang sulit diakses tetapi membutuhkan pengawasan kualitas udara secara intensif. Pengujian menunjukkan bahwa sistem ini tidak hanya mampu memberikan hasil dengan akurasi yang baik, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional dengan meminimalkan keterbatasan mobilitas dibandingkan metode pemantauan konvensional.

Kata kunci: *Quadcopter, Pemantauan Kualitas Udara, Sensor, Telemetri*

ABSTRACT

The quadcopter is designed to enhance mobility and effectiveness in air quality monitoring through the integration of sensor systems and telemetry technology. This design incorporates various sensors to measure air temperature and humidity, carbon monoxide, ozone, and 10 micrometre particulates, enabling real-time air quality data acquisition. The system utilizes the Pixhawk 2.4.8 flight controller, which offers stability and flexibility in navigation, and is equipped with telemetry technology for long-distance data transmission. The quadcopter is specifically designed to access hard-to-reach areas that require intensive air quality monitoring. Testing demonstrates that the system not only delivers accurate results but also improves operational efficiency by overcoming mobility limitations commonly found in conventional monitoring methods.

Keywords: Quadcopter, Air Quality Monitoring, Sensors, Telemetry

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR ISTILAH	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Bekalang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II KONSEP DASAR DAN TEORI PENDUKUNG PERANCANGAN	
QUADCOPTER PEMANTAU KUALITAS UDARA.....	6
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 <i>Quadcopter</i>	7
2.2.1 Model dan Manuver <i>Quadcopter</i>	8
2.2.2 Sistem Koordinat pada <i>Quadcopter</i>	9
2.2.3 Sistem Kendali pada <i>Quadcopter</i>	10

2.2.4	<i>Inertial Measurement Unit (IMU)</i>	12
2.2.5	Gaya-gaya yang Mempengaruhi <i>Quadcopter</i>	12
2.2.6	Pemodelan Matematika <i>Quadcopter</i>	13
2.3	Sistem Pemantauan Kualitas Udara	17
2.3.1	Parameter Kualitas Udara	17
2.3.2	Standar Kualitas Udara	18
2.4	Sistem Transmisi Telemetry.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		22
3.1	Prosedur Penelitian	22
3.2	Metode Penelitian	23
3.2.1	Studi Literatur	23
3.2.2	Eksperimen.....	23
3.2.3	Observasi.....	24
3.2.4	Analisis <i>Mean Absolute Percentage Error (MAPE)</i>	24
3.2.5	Kuantitatif Deskriptif	25
3.3	Variabel Penelitian	25
3.4	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	26
3.5	Alat dan Bahan Penelitian.....	27
3.5.1	Bahan pada Rancangan <i>Quadcopter</i>	27
3.5.2	Bahan pada Rancangan Pemantau Kualitas Udara	37
3.5.3	Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	43
3.5.4	Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	44
3.6	Rancangan Perangkat Keras dan Sistem <i>Quacopter</i>	46
3.7	Rancangan Perangkat Keras dan Sistem Pemantau Kualitas Udara	48
3.8	Teknik Pengambilan Data	49
BAB IV HASIL DAN ANALISIS		51

4.1	Hasil Perancangan dan Pengujian <i>Quadcopter</i>	51
4.1.1	Hasil Rancangan <i>Quadcopter</i>	51
4.1.2	Pemeriksaan Pembacaan Sudut Euler	60
4.1.3	Perhitungan Matematika	66
4.1.4	Uji Terbang Perdana (<i>Maiden</i>).....	69
4.2	Perancangan dan Pengujian Sensor-sensor Kualitas Udara.....	73
4.2.1	Pengujian Sensor DHT22.....	73
4.2.2	Pengujian Sensor MQ-7	76
4.2.3	Pengujian Sensor MQ-131	78
4.2.4	Pengujian Sensor GP2Y1010AU0F	80
4.2.5	Validasi Sensor dengan Analisis MAPE	82
4.3	Pengujian Transmisi pada <i>Quadcopter</i>	84
4.3.1	Nilai RSSI Pada Transmisi Telemetry <i>Quadcopter</i> dan LoRa.....	85
4.3.2	Analisis Transmisi.....	86
4.4	Pengujian Hasil Secara Keseluruhan	86
4.4.1	Titik A	88
4.4.2	Titik B	94
4.4.3	Titik C	98
4.4.4	Titik D	102
4.4.5	Titik E.....	106
4.4.6	Analisis Hasil Pengukuran Kualitas Udara	110
BAB V PENUTUP.....		113
5.1	Kesimpulan	113
5.2	Saran	113
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Contoh <i>quadcopter</i>	8
Gambar 2. 2 Model <i>quadcopter</i> dengan bentuk “x”	8
Gambar 2. 3 Penetapan koordinat <i>quadcopter</i>	9
Gambar 2. 4 Sudut-sudut euler atau tait-bryan pada <i>quadcopter</i>	10
Gambar 2. 5 Diagram blok sistem kendali <i>quadcopter</i>	10
Gambar 2. 6 Posisi dari gaya <i>thrust</i> , <i>lift</i> , <i>drag</i> , dan <i>weight</i>	13
Gambar 2. 7 Model rangka “+” dan kaidah sumbu	14
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	22
Gambar 3. 2 Peta lokasi penelitian	27
Gambar 3. 3 Pixhawk 2.4.8	28
Gambar 3. 4 Kerangka <i>quadcopter</i> tarot	29
Gambar 3. 5 Baling-baling/ <i>propeller</i> untuk <i>quadcopter</i>	30
Gambar 3. 6 ESC maksimal 30 a.....	30
Gambar 3. 7 Telemetri 433 mhz	32
Gambar 3. 8 <i>Receiver</i> flysky-ia6b	33
Gambar 3. 9 Skema kontrol pada remote kontrol.....	34
Gambar 3. 10 Remote kontrol	35
Gambar 3. 11 Modul gps	36
Gambar 3. 12 Baterai li-po	37
Gambar 3. 13 ESP32 devkit	38
Gambar 3. 14 Sensor dht22	39
Gambar 3. 15 sensor mq-7.....	39
Gambar 3. 16 Sensor mq-131	40
Gambar 3. 17 Sensor gp2y1010au0f	41
Gambar 3. 18 Modul lora rfm95.....	42
Gambar 3. 19 Modul sd card dan rtc	43
Gambar 3. 20 (a) Tampilan mission planner dan (b) logo mission planner.....	45
Gambar 3. 21 (a) Tampilan arduino ide dan (b) logo arduino ide	45
Gambar 3. 22 (a) Tampilan matlab dan (b) logo matlab.....	46
Gambar 3. 23 Skema perancangan sistem <i>quadcopter</i>	47

Gambar 3. 24 Skema perancangan pemantau kualitas udara (a) <i>transmitter</i> dan (b) <i>receiver</i>	49
Gambar 3. 25 Skema pengambilan data	49
Gambar 4. 1 Proses instalasi perangkat keras	52
Gambar 4. 2 <i>Interface</i> mission planner yang berisikan menu untuk melakukan instalasi <i>firmware</i>	53
Gambar 4. 3 Proses setup dan kalibrasi <i>quadcopter</i>	53
Gambar 4. 4 Tampilan menu untuk mengatur kerangka <i>quadcopter</i>	54
Gambar 4. 5 Tampilan Menu untuk Mengkalibrasi Sensor <i>Accel</i>	55
Gambar 4. 6 <i>Default</i> sisi atas, depan, dan kanan pada <i>flight controller</i> pixhawk 2.4.8.....	55
Gambar 4. 7 Tampilan menu untuk mengkalibrasi kompas	56
Gambar 4. 8 Tampilan menu untuk mengkalibrasi radio.....	57
Gambar 4. 9 Tampilan menu untuk mengkalibrasi <i>esc</i>	57
Gambar 4. 10 Tampilan menu untuk mengatur mode terbang	58
Gambar 4. 11 Tampilan menu untuk mengatur mode terbang.....	59
Gambar 4.12 pemeriksaan sudut euler. gambar (a) pemeriksaan roll, (b) pemeriksaan pitch, dan (c) pemeriksaan yaw	60
Gambar 4. 13 (a) Grafik pemeriksaan nilai roll; (b) grafik pemeriksaan nilai pitch; (c) grafik pemeriksaan nilai yaw.	64
Gambar 4. 14 Uji terbang perdana di lingkungan fakultas teknik.....	69
Gambar 4. 15 Pengujian sensor dht22	73
Gambar 4. 16 Grafik hasil pengujian dht22 untuk suhu.....	75
Gambar 4. 17 Grafik hasil pengujian dht22 untuk kelembapan.....	76
Gambar 4. 18 Pengujian sensor mq-7.....	76
Gambar 4. 19 Grafik hasil pengujian mq-7 untuk karbon monoksida	78
Gambar 4. 20 Pengujian sensor mq-7.....	78
Gambar 4. 21 Grafik hasil pengujian mq-131 untuk ozon	80
Gambar 4. 22 Pengujian sensor gp2y1010au0f.....	80
Gambar 4. 23 Grafik Hasil pengujian gp2y1010au0f untuk pm ₁₀	82
Gambar 4. 24 Grafik rssi pada telemetri quadcopter dan LoRa	85

Gambar 4. 25 Pengujian hasil rancangan quadcopter pemantau kualitas udara. (a) quadcopter sebelum diterbangkan; (b) quadcopter pada saat diterbangkan; serta ground station berupa (c) laptop untuk memonitoring quadcopter dan menyimpan data kualitas udara; dan (d) receiver untuk menerima data kualitas udara melalui lora.....	87
Gambar 4. 26 Cuplikan gambar peta lokasi pengambilan data	88
Gambar 4. 27 Grafik data kualitas udara di titik a. (a) grafik suhu udara; (b) grafik kelembapan udara; (c) grafik karbon monoksida; (d) grafik ozon; dan (e) grafik partikulat 10 mikron.....	93
Gambar 4. 28 Grafik data kualitas udara di titik b. (a) grafik suhu udara; (b) grafik kelembapan udara; (c) grafik karbon monoksida; (d) grafik ozon; dan (e) grafik partikulat 10 mikron.....	97
Gambar 4. 29 Grafik data kualitas udara di titik c. (a) grafik suhu udara; (b) grafik kelembapan udara; (c) grafik karbon monoksida; (d) grafik ozon; dan (e) grafik partikulat 10 mikron.....	101
Gambar 4. 30 Grafik data kualitas udara di titik d. (a) grafik suhu udara; (b) grafik kelembapan udara; (c) grafik karbon monoksida; (d) grafik ozon; dan (e) grafik partikulat 10 mikron.....	105
Gambar 4. 31 Grafik data kualitas udara di titik e. (a) grafik suhu udara; (b) grafik kelembapan udara; (c) grafik karbon monoksida; (d) grafik ozon; dan (e) grafik partikulat 10 mikron.....	109
Gambar 4. 32 Pebandingan jumlah antara kualitas udara ideal/tidak lewat baku mutu dan kualitas udara tidak ideal/lewat baku mutu.	112

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Daftar Parameter Kualitas Udara Pada Penelitian	18
Tabel 2. 2 Baku Mutu Udara Ambien Berdasarkan PP No. 41 Th. 1999	19
Tabel 2. 3 Daftar Baku Mutu Udara Ambien.....	20
Tabel 2. 4 Kualitas RSSI.....	21
Tabel 3. 1 Ketentuan MAPE	25
Tabel 3. 2 Variabel Penelitian	26
Tabel 3. 3 Spesifikasi Pixhawk 2.4.8.....	28
Tabel 3. 4 Spesifikasi Motor BLDC	31
Tabel 3. 5 Spesifikasi Transceiver Flysky-IA6B	33
Tabel 3. 6 Spesifikasi Modul GPS Radiolink M8N SE100	36
Tabel 3. 7 Spesifikasi ESP32 DevKit	37
Tabel 3. 8 Spesifikasi Sensor DHT22.....	39
Tabel 3. 9 Spesifikasi Sensor MQ-7	40
Tabel 3. 10 Spesifikasi Sensor MQ-131	40
Tabel 3. 11 Spesifikasi Sensor GP2Y1010AU0F	41
Tabel 3. 12 Spesifikasi Modul LoRa RFM95	42
Tabel 3. 13 Daftar Perangkat Keras yang Digunakan	43
Tabel 4. 1 Spesifikasi <i>Quadcopter</i> yang Dirancang.....	51
Tabel 4. 2 Hasil Pemeriksaan Pembacaan <i>Roll</i> pada <i>Quadcopter</i>	60
Tabel 4. 3 Hasil Pemeriksaan Pembacaan <i>Pitch</i> pada <i>Quadcopter</i>	61
Tabel 4. 4 Hasil Pemeriksaan Pembacaan <i>Yaw</i> pada <i>Quadcopter</i>	61
Tabel 4. 5 Hasil Analisis dengan Metode MAPE	65
Tabel 4. 6 Ketentuan Thrust.....	66
Tabel 4. 7 Hasil Observasi Terhadap Uji Terbang Perdana	71
Tabel 4. 8 Data Hasil Pengujian DHT22 (Suhu Udara)	74
Tabel 4. 9 Data Hasil Pengujian DHT22 (Kelembapan Udara)	75
Tabel 4. 10 Data Hasil Pengujian MQ-7 (Karbon Monoksida).....	77
Tabel 4. 11 Data Hasil Pengujian MQ-131 (Ozon)	79
Tabel 4. 12 Data Hasil Pengujian GP2Y1010AU0F (Partikulat 10 Mikron)	81

Tabel 4. 13 Hasil Analisis Hasil Pembacaan Parameter Kualitas Udara dengan Metode MAPE	84
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian RSSI	85
Tabel 4. 15 Hasil Analisis RSSI Telemetry <i>Quadcopter</i>	86
Tabel 4. 16 Hasil Analisis RSSI LoRa.....	86
Tabel 4. 17 Alokasi Lokasi dan Waktu Pengujian.....	88
Tabel 4. 18 Hasil Observasi Mengenai Kondisi Titik A	89
Tabel 4. 19 Hasil Pengujian di Titik A.....	89
Tabel 4. 20 Hasil Observasi Mengenai Kondisi Titik B	94
Tabel 4. 21 Hasil Observasi Mengenai Kondisi Titik C	98
Tabel 4. 22 Hasil Observasi Mengenai Kondisi Titik D.....	102
Tabel 4. 23 Hasil Observasi Mengenai Kondisi Titik E	106
Tabel 4. 24 Nilai Rata-rata Kualitas Udara Hasil Pengukuran	110
Tabel 4. 25 Kesimpulan Mengenai Kualitas Udara	111

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel A- 1 Hasil Pengujian di Titik B	A-1
Tabel A- 2 Hasil Pengujian di Titik C.....	A-2
Tabel A- 3 Hasil Pengujian di Titik D	A-4
Tabel A- 4 Hasil Pengujian di Titik E.....	A-5
Kode Program B- 1 <i>Transmitter</i>	B-1
Kode Program B- 2 <i>Receiver</i>	B-7
Gambar C- 1 Proses perakitan <i>quadcopter</i>	C-1
Gambar C- 2 Proses kalibrasi sensor.....	C-1
Gambar C- 3 Pengujian pertama	C-2
Gambar C- 4 <i>Ground system</i>	C-2
Gambar C- 5 Penerbangan <i>quadcopter</i> di titik a	C-3
Gambar C- 6 Penerbangan <i>quadcopter</i> di titik b.....	C-3
Gambar C- 7 Penerbangan <i>quadcopter</i> di titik c	C-4
Gambar C- 8 Penerbangan <i>quadcopter</i> di titik d.....	C-4
Gambar C- 9 Penerbangan <i>quadcopter</i> di titik e.....	C-5
Gambar C- 10 Waktu pengambilan pada pagi hari.....	C-5
Gambar C- 11 Waktu pengambilan pada sore hari	C-6
Gambar C- 12 Waktu pengambilan pada malam hari.....	C-6

DAFTAR ISTILAH

<i>Quadcopter</i>	:	Robot terbang dengan empat baling-baling untuk berbagai aplikasi seperti survei udara, pengiriman barang, dan pemantauan kualitas udara.
<i>Flight Controller</i>	:	Unit pengendali utama <i>quadcopter</i> , seperti Pixhawk 2.4.8, yang mengatur stabilitas dan pergerakan perangkat.
VTOL	:	Kemampuan <i>quadcopter</i> untuk lepas landas dan mendarat secara vertikal tanpa landasan pacu.
Telemetry	:	Sistem komunikasi nirkabel untuk mengirim data penginderaan dan pengukuran dari <i>quadcopter</i> ke <i>ground station</i> .
<i>Throttle</i>	:	Input kendali untuk mengatur daya angkat atau ketinggian <i>quadcopter</i> .
<i>Frame</i>	:	Kerangka atau struktur utama <i>quadcopter</i> , seperti TAROT 650, yang mendukung komponen lainnya.
PWM	:	Teknik modulasi yang digunakan untuk mengirimkan sinyal kendali ke motor melalui flight controller.
<i>Hover</i>	:	Kemampuan <i>quadcopter</i> untuk melayang stabil di satu titik tanpa bergerak ke arah tertentu.
<i>Autonomous Flight</i>	:	Mode penerbangan otomatis di mana <i>quadcopter</i> terbang sesuai perintah tanpa kendali langsung oleh pilot.
<i>Monitoring Real-Time</i>	:	Pemantauan data sensor secara langsung selama <i>quadcopter</i> beroperasi.
<i>Payload</i>	:	Beban tambahan yang dibawa oleh <i>quadcopter</i> , seperti sensor atau kamera.
Blynk	:	Platform IoT yang digunakan untuk visualisasi data sensor pada perangkat seperti smartphone.
Fiber karbon	:	Bahan ringan dan kuat yang sering digunakan untuk frame <i>quadcopter</i> .
<i>Autopilot</i>	:	Sistem yang memungkinkan <i>quadcopter</i> terbang secara otomatis berdasarkan rute yang telah diprogram.

<i>Thrust</i>	:	Gaya dorong yang dihasilkan oleh motor dan propeller untuk menggerakkan <i>quadcopter</i> .
LoRaWAN	:	Protokol jaringan berbasis LoRa untuk komunikasi data dalam jarak jauh dengan kapasitas bandwidth rendah.
Kualitas udara ambien	:	Kualitas udara di lingkungan luar yang digunakan sebagai parameter untuk menentukan tingkat pencemaran udara.
Kalibrasi sensor	:	Proses penyesuaian sensor untuk memastikan data yang dihasilkan akurat dan sesuai
<i>Yaw</i>	:	Gerakan rotasi <i>quadcopter</i> pada sumbu Z.
<i>Roll</i>	:	Gerakan rotasi <i>quadcopter</i> pada sumbu X.
<i>Pitch</i>	:	Gerakan rotasi <i>quadcopter</i> pada sumbu Y

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring kemajuan teknologi dunia digital dan elektronika yang semakin pesat, ternyata membawa dampak terhadap kemajuan teknologi robotika juga. Produk-produk robotika yang masif, dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia akan alat bantu yang kuat, murah, efektif, serta efisien dalam segala pekerjaan yang ada, demi menghemat biaya, waktu dan tenaga. Hal ini mendorong manusia untuk melakukan berbagai penelitian di bidang robotika agar dapat menghasilkan produk-produk yang dapat membantu mengerjakan tugas-tugas manusia.

Berbagai penelitian terkait robotika juga mengembangkan jenis robot yang memiliki kemampuan untuk terbang sehingga diistilahkan menjadi robot terbang. Robot terbang umumnya dikenal sebagai pesawat nirawak atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), dan juga ada istilah yang lebih populer, yakni *drone*. Robot terbang sejauh ini digunakan untuk berbagai kebutuhan manusia, seperti untuk bantuan di dunia fotografi dan perfilman, sebagai alat untuk membantu proses penyemprotan di lahan pertanian, sampai sebagai peralatan untuk melakukan upaya SAR (*Search and Rescue*), seperti yang pernah diteliti oleh Indrawan pada tahun 2018 [1]. Robot terbang dibagi menjadi dua jenis, yakni jenis yang pertama, yaitu *fixed wing* yang menyerupai pesawat terbang dan yang kedua, yaitu *multirotor/multicopter* yang memiliki satu atau lebih rotor untuk menggerakkan *propeller* atau baling-baling agar memiliki gaya angkat untuk terbang.

Pada saat merancang sebuah robot terbang, dibutuhkan suatu unit pengendali yang difungsikan untuk mengendalikan robot terbang itu sendiri. Unit pengendali tersebut dikenal dengan *flight controller*. Di dunia robot terbang, ada beberapa *flight controller* yang lazim digunakan, seperti Ardu Pilot Mega, BetaFPV, dan juga Pixhawk. Pixhawk merupakan salah satu *flight controller* yang sering digunakan dalam pembuatan robot terbang, dengan dilengkapi modul *Inertial Measurement Unit* (IMU), dimana modul ini merupakan modul yang dapat melakukan dan mengumpulkan data berupa percepatan, kecepatan angular, dan

orientasi dari robot terbang. Modul IMU pada umumnya meliputi sensor akselerometer, giroskop, dan magnetometer.

Dalam implementasi robot terbang, dapat diberikan berbagai fitur tambahan sesuai dengan kebutuhan dari sang perancang/peneliti. Beberapa fitur yang dapat ditambahkan pada robot terbang, yakni seperti kamera *First Person View* (FPV) untuk memantau lokasi terbang robot terbang secara *real-time* melalui foto/video yang ditransmisikan. Selain itu, bisa juga ditambahkan beberapa sensor-sensor seperti sensor gelombang ultrasonik untuk navigasi *avoider* atau diberikan fitur *drop* untuk menjatuhkan benda ke suatu titik pada saat robot terbang dioperasikan, atau pada bidang pertanian robot terbang juga dapat diberikan tanki dan *nozzle* untuk melakukan penyiraman/penyemprotan pada tanaman pertanian.

Selain perkembangan teknologi robotika, teknologi yang juga sedang berkembang secara masif adalah teknologi pemantauan kualitas udara. Hal ini didorong oleh kebutuhan untuk mengatasi isu polusi udara dan dampaknya terhadap kesehatan manusia serta lingkungan. Sistem pemantauan kualitas udara kian ditingkatkan dari segi efektivitas, keandalan teknologi, metode pengolahan sampai dengan *cost* atau biayanya. Setyawan pada tahun 2022 dalam penelitiannya juga mengembangkan sebuah teknologi pemantauan kualitas udara pada daerah rural secara *real-time* dengan komunikasi *Internet of Things* (IoT) yang mempermudah upaya pemantauan pada lokasi-lokasi dengan akses yang terbatas ke fasilitas modern [2].

Dengan demikian, berdasarkan sebuah penelitian yang dilakukan oleh Indrawan (2018) yang merancang sebuah robot terbang dengan kemampuan untuk melakukan upaya SAR di wilayah bencana, dan juga penelitian yang dilakukan oleh Setyawan (2022) yang merancang sebuah sistem pemantauan kualitas udara di daerah rural yang memiliki akses terbatas, maka muncul sebuah ide untuk mengembangkan sebuah robot terbang dengan jenis *quadcopter* yang dilengkapi dengan berbagai sensor yang dapat melakukan pengukuran kualitas udara [1], [2].

Quadcopter yang dirancang, memiliki fungsi untuk meningkatkan mobilitas dalam upaya pengambilan data-data kualitas udara di wilayah-wilayah yang memiliki keterbatasan akses seperti pada area kebakaran hutan, area beracun, dan area-area yang tidak memungkinkan untuk dimasuki oleh manusia, sehingga dapat

meminimalisir ancaman bahaya terhadap sistem kesehatan pernafasan dari petugas yang mengambil data tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang dijelaskan pada latar belakang, permasalahan yang menjadi sorotan pada penelitian ini adalah permasalahan sistem pemantauan kualitas udara yang tersedia sekarang bersifat *stationary* sehingga tidak memiliki mobilitas untuk melakukan pemantauan kualitas udara secara luas. Dengan demikian sistem pemantauan kualitas udara sekarang tidak dapat dimanfaatkan untuk melakukan pemantauan kualitas udara di area-area yang sulit dijangkau, atau area yang memerlukan pemantauan langsung secara *real-time*.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan rancangan/ desain sistem, dan mekanisme dari *quadcopter* pemantau kualitas udara yang dapat diimplementasikan secara langsung di lokasi penelitian. Selain itu, tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan laporan/ hasil penelitian berupa kinerja *quadcopter* pemantau kualitas udara, berupa unjuk kerja dari *quadcopter* itu sendiri dan hasil pengukuran parameter kualitas udara.

1.4 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini dapat terfokus, maka peneliti memberikan batasan-batasan masalah yang diterapkan pada saat penelitian ini, yakni sebagai berikut:

1. *Quadcopter* yang dirancang pada penelitian, difungsikan untuk melakukan pemantauan kualitas udara, dan parameter dari kualitas udara tersebut meliputi suhu, kelembapan, karbon monoksida, ozon, dan partikulat 10 mikrometer/ 10 mikron.
2. Pengujian dilakukan di Jalan Sepakat II, Kota Pontianak. Pada tiga waktu yang berbeda, yakni pagi hari, sore hari, dan malam hari.
3. Pengendalian *quadcopter* untuk melakukan pemantauan dilakukan dengan jarak maksimal 500 meter.

1.5 Sistematika Penulisan

Agar hasil kajian dalam penelitian ini dapat dituliskan secara sistematis, maka, dalam menuliskan hasil penelitian, penulis menggunakan sistematika sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan Latar Belakang, Permasalahan, Pembatasan Masalah, Tujuan Penelitian dan Sistematika Penulisan.

BAB II KONSEP DASAR DAN TEORI PENDUKUNG PERANCANGAN *QUADCOPTER* PEMANTAU KUALITAS UDARA

Bab ini berisikan penjelasan teori-teori yang terkait tentang sistem *quadcopter*, sistem monitoring kualitas udara, serta teori-teori pendukung lainnya. Bab ini juga memaparkan teori-teori serta kemungkinan yang belum diperoleh kepastiannya melalui penelitian, serta memaparkan pendapat dan juga kesimpulan dari penelitian sebelumnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan diagram alir penelitian, metode penelitian, penetapan variabel, waktu dan lokasi penelitian. Serta kebutuhan alat dan bahan serta perancangan sistem *quadcopter* pemantau kualitas udara yang diteliti, baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Perangkat keras meliputi rangkaian *flight controller* Pixhawk 2.4.8., rangkaian mikrokontroler ESP32, rangkaian komunikasi LoRa, serta rangkaian sensor dan lainnya. Pada bab ini juga dijelaskan teknik pengambilan data.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab ini berisi hasil-hasil perlakuan terhadap objek penelitian yang berisikan analisis terhadap perangkat keras *quadcopter*, hasil validasi dari perangkat lunak serta respon motor-motor yang bekerja, melakukan pengujian sensor-sensor kualitas udara dan sistem akuisisi data tersebut untuk kemudian divalidasi dengan menggunakan alat ukur pembanding baku.

BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dan saran-saran yang membangun guna perbaikan hasil skripsi ini kedepannya.