

**PERANCANGAN *EDDY COVARIANCE AERIAL SYSTEM* SEBAGAI
WAHANA *REMOTE SENSING* KONSENTRASI GAS KARBON**

(Skripsi)

Oleh

MUHAMMAD RAFIF MUSYAFFA



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2024

ABSTRAK

PERANCANGAN *EDDY COVARIANCE AERIAL SYSTEM* SEBAGAI WAHANA *REMOTE SENSING* KONSENTRASI GAS KARBON

Oleh

MUHAMMAD RAFIF MUSYAFFA

Metode pengukuran *Eddy covariance (EC)* melalui udara merupakan salah satu metode yang paling efektif untuk mengukur secara langsung fluks dan konsentrasi gas di udara. Pada umumnya implementasi metode *eddy covariance* berupa stasiun tetap (*stationary tower* atau disebut juga *eddy tower*) dimana hanya dapat ditempatkan di lokasi tertentu dan tidak mudah dipindahkan. Hal ini membatasi pengukuran, rentan terhadap kerusakan, serta memerlukan biaya yang signifikan dalam instalasi dan pemeliharannya. Penelitian ini, mengembangkan sistem *EC* berbasis pesawat tanpa awak (*UAV*) yang dapat dioperasikan untuk mengukur fluks dan konsentrasi gas karbon dioksida. Uji penerbangan dari sistem *EC* berbasis *UAV* yang dikembangkan di dilakukan pada bulan Desember 2023 – Januari 2024 di lingkungan Universitas Lampung. Dilakukan satu kali uji penerbangan, dan membandingkan hasil pengukuran dengan hasil dari data pengukuran *Eddy Station Tower* yang ada di dratan. Hasil dari uji coba penerbangan menunjukkan bahwa sistem ini dapat melakukan akuisisi data konsentrasi gas karbon dengan baik. Hasil dari penelitian ini mengungkapkan adanya potensi besar metode *EC* berbasis *UAV* dapat melakukan *Remote Sensing* fluks dan konsentrasi gas karbon di atmosfer.

Kata kunci: *Eddy covariance, Remote Sensing, Konsentrasi Karbon, UAV, Mobile Eddy Station, Air Flux*

ABSTRACT**DESIGN OF EDDY COVARIANCE AERIAL SYSTEM AS A REMOTE SENSING PLATFORM FOR CARBON GAS CONCENTRATION****By****MUHAMMAD RAFIF MUSYAFFA**

The *Eddy covariance* (EC) measurement method through the air is one of the most effective methods for directly measuring the flux and concentration of gases in the air. In general, the implementation of the *eddy covariance* method is in the form of a fixed station (stationary tower or also called an eddy tower) which can only be placed in certain locations and cannot be easily moved. This limits measurements, is susceptible to damage, and requires significant costs in installation and maintenance. This research develops an unmanned aircraft (UAV) based EC system that can be operated to measure the flux and concentration of carbon dioxide gas. The flight test of the UAV-based EC system developed in was carried out in December 2023 – January 2024 at the University of Lampung. One flight tests were carried out, and the measurement results were compared with the results from the Eddy Station Tower measurement data on the mainland. The results of flight trials show that this system can perform carbon gas concentration data acquisition well. The results of this research reveal the great potential of the UAV-based EC method for Remote Sensing the flux and concentration of carbon gas in the atmosphere.

Keywords: *Eddy covariance*, Remote Sensing, Carbon Concentration, UAV, Mobile Eddy Station, Air Flux

**PERANCANGAN *EDDY COVARIANCE AERIAL SYSTEM* SEBAGAI
WAHANA *REMOTE SENSING* KONSENTRASI GAS KARBON**

Oleh

MUHAMMAD RAFIF MUSYAFFA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **PERANCANGAN *EDDY COVARIANCE*
AERIAL SYSTEM SEBAGAI WAHANA
REMOTE SENSING
KONSENTRASI GAS KARBON**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Rafif Musyaffa**
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015031092
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Dr.-Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP. 197311281999031005



Mona Arif Muda, S.T., M.T.
NIP. 19711112 200003 1 002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Ketua Program
Studi Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 197103141999032001



Dr.Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP. 197404222000122001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr.-Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.



.....

Sekretaris : Mona Arif Muda S.T., M.T.



.....

Penguji : Dr. -Ing. Melvi, S.T., M.T.



.....



Dekan Fakultas Teknik

Dr. -Ing. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Januari 2024

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini , menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul “Perancangan *Eddy covariance* Aerial System Sebagai Wahana Remote Sensing Konsentrasi Gas Karbon” dibuat oleh saya sendiri. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan hukum atau akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 Januari 2024
Pembuat pernyataan,



Muhammad Rafif Musyaffa
NPM. 2015031092

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 28 Agustus 2002. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Ir. M. Budi setiawan, S.T.,M.T dan Ibu Minar Niyana.

Penulis memulai pendidikan di TK Sepuluh November kota Surabaya pada tahun 2008-2010, SDN 1 Way Mengaku pada tahun 2010-2011, SDN 1 Segala Mider pada tahun 2011-2014 SMP IT Daarul Ilmi pada tahun 2014-2017, dan SMA S YP UNILA Bandar Lampung pada tahun 2017-2020.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, Penulis menjadi anggota Lembaga riset Unila Robotika dan Otomasi (URO) sejak 2021. Penulis tertarik dalam bidang teknologi khususnya pada bidang UAV dan Otomasi.

MOTTO

“Apa yang Telah Melewatkanku Tidak Akan Pernah Menjadi Takdirku, dan Apa yang Ditakdirkan Untukku Tidak Akan Pernah Melewatkanku”

(Umar bin Khattab)

Flying Long Range to The Moon and Beyond

(Penulis)

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan Alhamdulillah dan syukur kepada Allah SWT atas nikmat serta hidayahnya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Rasa syukur dan bahagia saya persembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tua

Terima kasih kepada kedua orang tuaku tercinta, Ibu Minar Niyana, S.E. dan Bapak Ir. M. Budi Setiawan, S.T., M.T. atas segala pengorbanan, doa, serta dukungannya selama ini. Terima kasih telah memberikan banyak sekali kesempatan berharga kepada penulis untuk dapat berproses sampai pada titik ini, sehingga kelak bisa menjadi orang yang bermanfaat bagi semua orang.

Dosen Pembimbing dan Pembahas

Terima kasih kepada dosen pembimbing dan pembahas yang sudah sangat membantu, memberikan motivasi, memberikan arahan serta ilmu yang berharga.

Keluarga dan Teman-temanku

Terimakasih kepada semua orang-orang baik yang telah memberikan pengalaman, semangat, motivasi, serta doa-doanya dan senantiasa memberikan dukungan dalam hal apapun.

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “Perancangan *Eddy covariance* Aerial System Sebagai Wahana Remote Sensing Konsentrasi Gas Karbon”. Dalam pelaksanaan dan pembuatan skripsi/tugas akhir ini penulis menerima dukungan baik secara moril maupun materil yang sangat berharga dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih ke semua pihak yang telah membantu, khususnya kepada:

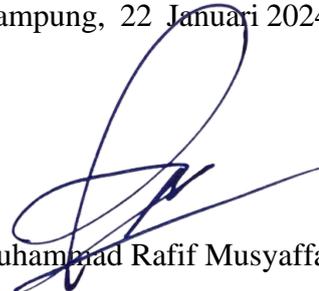
1. Kedua orang tua tercinta, adik adikku dan seluruh keluarga penulis yang tidak hentinya mendoakan serta memberikan dorongan semangat , motivasi serta materi;
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung;
4. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan ilmu, bimbingan, bantuan, masukan, dan pandangan serta berbagai pola pikir kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan menarik;
5. Bapak Mona Arif Muda S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan ilmu, bimbingan, masukan, motivasi, dan sudut pandang lain serta berbagai pola pikir kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan menarik

6. Ibu Dr. -Ing. Melvi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran serta penyelesaian masalah yang membangun kepada penulis;
7. Bapak Dr. Herman Haloman Sinaga, S.T., M.T. selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, nasehat dan bimbingan yang membangun bagi penulis selama menempuh perkuliahan Segenap dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama menempuh pendidikan perkuliahan;
8. Segenap staff di Jurusan Teknik Elektro yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan lain-lain;
9. Keluarga Besar Unila Robotika dan Otomasi yang memberikan banyak ilmu, masukan dan saran kepada penulis yang tidak bisa dibayarkan;
10. Teman-teman Teknik Elektro 2020, terimakasih atas semangat dan kebersamaannya selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Elektro;
11. Teman-teman Laboratorium Teknik Telekomunikasi, terimakasih atas dukungan dan kerjasamanya selama proses pembuatan tugas akhir ini;
12. Seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Penulis mengakui adanya kekurangan dalam skripsi ini dan dengan tulus menerima kritik serta saran yang membangun dari berbagai pihak demi kemajuan bersama. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandar Lampung, 22 Januari 2024

Penulis


Muhammad Rafif Musyaffa

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan Peneliatan.....	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Hipotesis	3
1.7 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Gas karbon	6
2.3 Metode Pengukuran Gas Karbon	6
2.4 Remote sensing	8
2.5 Unnamed Aerial Vehicles (UAV).....	9
2.6 Hexacopter	11
2.7 Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD).....	12
2.8 Center of Gravity (CG)	13

2.9 Arduino Portenta H7	14
2.10 SEN0220	17
2.11 Sensirion SHT85	19
2.12 Winsen MH-441D.....	20
2.13 BMP338	22
2.14 liIon <i>battery</i>	24
2.15 Eddy covariance.....	25
2.16 Eddy Station.....	27
2.17 DJI A2 Assistant	28
III. METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	30
3.2 Komponen dan Perangkat Lunak.....	30
3.3 Rancangan Sistem	31
3.4 Simulasi.....	34
3.5 Perancangan <i>Power System</i> Perangkat.....	35
3.6 Skenario Monitoring Konsentrasi Gas Karbon Dioksida (<i>CO₂</i>)	36
3.7 Diagram Alir Penelitian	37
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Simulasi CFD.....	39
4.2 Konfigurasi Awal Wahana.....	40
4.3 Pengujian Endurance Wahana	43
4.4 Perakitan <i>Mounting</i> Sensor	44
4.5 Pengujian Stabilitas Wahana.....	47

4.6 Perakitan Sensor Dan Sistem Power	47
4.7 Pengujian Penggunaan Daya Sensor	49
4.8 Perakitan dan Integrasi Sensor Ke Wahana	50
4.9 Ground Test	51
4.10 Flight Test dan Pengambilan Data	52
4.11 Fine Tune wahana	52
4.12 Analisis Data	54
4.13 Perbandingan Jumlah Data Antara Wahana dan Tower Eddy Station.....	57
4.14 Crash Analysis	61
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1	Spesifikasi Mikrokontroler Arduino Portenta H7	16
2.2	Spesifikasi Sensor Infrared CO2 DFRobot SEN0220	18
2.3	Sensor Infrared CO2 DFRobot SEN0220	20
2.4	Spesifikasi Winsen MH-441D	21
2.5	Spesifikasi Sensor BMP338	24
3.1	Komponen dan Perangkat Lunak pada Perangkat	30
3.2	Setting Parameter	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2.1	Jenis-jenis UAV	10
2.2	UAV sebagai wahana pengukuran fluks	11
2.3	Hexa Copter	12
2.4	Mikrokontroler Arduino Portenta H7	15
2.5	Sensor Infrared CO2 DFRobot SEN0220	18
2.6	Sensirion SHT85	19
2.7	Sensor Gas Metana Winsen MH-441D	21
2.8	Sensor Barometrik BMP338.	23
2.9	Battery Liion	25
2.10	Siklus Eddy covariance di Udara	26
2.11	Eddy covariance Tower	27
2.12	Deskripsi port A2 Controller	28
2.13	Logo DJI A2 Assistant Software	29
3.1	Diagram Blok Drone EDDYc	32
3.2	Rancangan Desain EddyC aerial system	33
3.3	Nilai gain awal pada flight controller	33
3.4	Airflow pada drone	35
3.5	Skema Perancangan Power System pada Perangkat	36
3.6	Diagram Alir Penelitian	37
4.1	Simulasi CFD dengan Parameter yang Berbeda	39
4.2	Tab Basic Configuration DJI A2 Assistance	40
4.3	<u>Tab Rc Configuration DJI A2</u>	41

4.4	Tab Konfigurasi failsafe Dji A2	42
4.5	Tab Konfigurasi battery Monitor DJI A2	42
4.6	Tab Can Hub DJI A2	43
4.7	Pengujian Wahana Di Luar Wilayah KKOP.	44
4.8	Timmer Flight Time Wahana	44
4.9	Perakitan Struktur Mounting Sensor	46
4.10	Pengecatan Mounting Sensor	46
4.11	Wiring System Sensor	48
4.12	Wiring SHT85 Tanpa PCB	48
4.13	Pengukuran Daya Menggunakan Multimeter	49
4.14	Penempatan Sensor Pada Sensor Plate	50
4.15	Wahana Dan Sensor Terintegrasi	51
4.16	Dokumentasi Flight Test	52
4.17	Dokumentasi fine tuning	54
4.18	Data Hasil Pembacaan Gas Analyzer Pada Wahana	55
4.19	Data hasil penerbangan kedua di wilayah kebun raya itera.	56
4.20	Data hasil penerbangan ketiga	56
4.21	Data hasil penerbangan ke 4	57
4.22	Grafik Perbandingan Data CO2 Antara Wahana Dengan Tower	58
4.23	Grafik Perbandingan Data CH4 Antara Wahana Dengan Tower	58
4.24	Grafik Perbandingan Data CH4 Antara Wahana Dengan Tower	59
4.25	Perbandingan Data	60
4.26	Perbandingan data	60
4.27	Kerusakan Pada Wahana	61

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Gas karbon dioksida (CO_2) adalah salah satu gas rumah kaca yang berperan penting dalam perubahan iklim global. Konsentrasi CO_2 di atmosfer terus meningkat seiring dengan aktivitas manusia yang menghasilkan emisi CO_2 , seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan pertanian. Kenaikan konsentrasi CO_2 dapat menyebabkan peningkatan suhu rata-rata bumi, perubahan pola curah hujan, peningkatan frekuensi dan intensitas bencana alam, dan gangguan ekosistem. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan konsentrasi CO_2 secara akurat dan kontinu untuk mengukur seberapa besar dampak emisi CO_2 terhadap lingkungan.

Salah satu metode pemantauan konsentrasi CO_2 yang banyak digunakan adalah *Eddy covariance*, yaitu metode yang mengukur fluktuasi kecepatan angin dan konsentrasi gas secara bersamaan untuk menghitung laju pertukaran massa dan energi antara permukaan tanah dan atmosfer. Metode *Eddy covariance* biasanya menggunakan perangkat yang ditempatkan di menara atau bangunan tinggi untuk mengukur konsentrasi CO_2 di atas kanopi vegetasi atau permukaan air. Namun, metode ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti biaya instalasi dan operasi yang tinggi, ruang lingkup pengukuran yang terbatas, dan kesulitan dalam menempatkan perangkat di lokasi yang sulit dijangkau.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dikembangkanlah perangkat *Eddy covariance Aerial System* yaitu perangkat *Eddy covariance* yang dipasang pada wahana udara tanpa awak (Unmanned Aerial Vehicle/UAV) atau drone. Perangkat *Eddy covariance Aerial System* dapat bergerak secara fleksibel di udara untuk mengukur konsentrasi CO_2 di berbagai lokasi dan ketinggian dengan resolusi

spasial dan temporal yang tinggi. Perangkat perangkat *Eddy covariance AerialSystem* juga dapat mengurangi biaya instalasi dan operasi, serta meningkatkan aksesibilitas dan mobilitas perangkat *Eddy covariance*. Perangkat perangkat *Eddy covariance Aerial System* merupakan inovasi baru dalam bidang pemantauan konsentrasi CO_2 yang dapat memberikan informasi yang lebih lengkap dan akurat tentang dinamika CO_2 di atmosfer.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat perangkat yang dapat melakukan *remote sensing* konsentrasi gas karbon di udara dengan meminimalisir interferensi fluks udara yang dihasilkan oleh propeller dan menyimpan data pada *data logger*.
2. Melaporkan dan menganalisa masalah yang ditemui pada saat perancangan dan instalasi alat.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat perangkat yang dapat melakukan *remote sensing* konsentrasi gas karbon dan menyimpan *data logger*.
2. Bagaimana merancang sebuah sistem *remote sensing* yang reliable dan efisien sehingga dapat diaplikasikan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Wahana yang digunakan pada perangkat merupakan wahana dengan jenis hexacopter.
2. Perangkat sensor yang digunakan merupakan perangkat yang digunakan pada penelitian sebelumnya.
3. Variabel yang diukur pada penelitian adalah konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2), konsentrasi gas metana (CH_4), kelembaban udara dan tekanan udara.
4. Berfokus pada perancangan perangkat *remote sensing* konsentrasi gas karbon (CO_2 dan CH_4) dengan menggunakan drone.
5. Perangkat akan diuji di area terbuka diluar kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP).
6. Hanya membahas hingga operasional dari perangkat.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian adalah menghasilkan perangkat yang dapat melakukan *remote sensing* konsentrasi karbon di atmosfer agar dapat dimanfaatkan untuk pemantauan emisi karbon. Perangkat ini juga dirancang agar dapat terbang dengan tidak menimbulkan interferensi pada sensor saat melakukan sensing, dan menyimpan data pada *data logger*.

1.6 Hipotesis

Pada penelitian ini, perangkat dapat melakukan *remote sensing* konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) dan meminimalisir interferensi fluks udara yang dihasilkan oleh propeller. Data hasil *remote sensing* yang didapatkan oleh perangkat akan disimpan pada *data logger*.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran sederhana tentang pembahasan skripsi dan memudahkan pemahaman terhadap materi penelitian yang ditulis dalam beberapa bab, adalah sebagai berikut.

I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis dan sistematika penulisan pada penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori-teori yang mendukung penelitian, yang merupakan pengantar pemahaman dan mengacu pada bahan penelitian dari berbagai sumber ilmiah seperti buku dan jurnal.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai waktu dan tempat penelitian, komponen dan perangkat lunak, rancangan sistem, perancangan *power system* perangkat, perancangan komunikasi perangkat, skenario *monitoring* konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) dan diagram alir penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil dan menganalisa data hasil yang dapat dari percobaan ataupun simulasi yang telah dilakukan pada penelitian tugas akhir.

V. KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan yang didapat dari hasil analisis dan pembahasan serta terdapat saran yang dapat diberikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Hana Yunus Putri pada tahun 2022 dari Program Studi S1 Teknik Elektro Universitas Lampung dengan judul penelitian “Rancang Bangun Perangkat Monitoring Konsentrasi Gas Karbon Dioksida (CO_2) Untuk Implementasi Metode *Eddy covariance* Berbasis Internet Of Things (IoT)”. Penelitian ini akan melakukan monitoring emisi gas berupa konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) dengan menggunakan sensor 2.7DFRobot SEN0220 dan Arduino portent h7 sebagai mikrokontroler. Data konsentrasi gas yang terbaca oleh sensor akan di simpan dalam *data logger* dan di trasmisikan ke platform IoT. Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan oleh Hana Yunus Putri adalah telah berhasil dibuat rancang bangun sistem *monitoring* konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) berbasis Internet of Things dengan hasil analisa pengujian tegangan dan pengujian measurement range pada sensor dapat dinyatakan bahwa sensor SEN0220, BMP388 dan SHT85 bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ada pada datasheet, dan berdasarkan data realisasi pengambilan data pada perangkat, rata -rata pengambilan data pada perangkat adalah sebesar 7 - 8 Hz setiap detiknya.

Kemudian penelitian selanjutnya dilakukan oleh Yibo Sun, Junyong Ma, Bilige Sude, Xingwen Lin, Haolu Shang, Bing Geng, Zhaoyan Diao, Jiaqiang Du, dan Zhanjun Quan pada tahun 2021 dengan judul penelitian “A UAV-Based *Eddy covariance* System for Measurement of Mass and Energy Exchange of the Ecosystem: Preliminary Results”. Pada penelitian ini

dilakukan perancangan sistem *Eddy covariance* berbasis UAV atau pesaeawat tanpa awak dengan model *quad plane*, dan melakukan perbandingan dengan hasil pengambilan data sebelumnya. Kesimpulan dari penelitian ini adalah fluks yang dihasilkan oleh UAV lebih rendah daripada menara darat, hasilnya menunjukkan bahwa sistem EC berbasis UAV yang dikembangkan secara efektif dapat menangkap evolusi temporal dalam fluks turbulen, yang menunjukkan tren evolusi yang sama dengan pengukuran di darat. sistem EC berbasis UAV yang dikembangkan mampu mengukur fluks turbulen [1].

2.2 Gas karbon

Gas karbon adalah komponen penting dalam pemantauan perubahan iklim global. Gas-gas ini, terutama karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrat oksida (N_2O), berperan dalam efek rumah kaca, yang menyebabkan peningkatan suhu global. CO_2 , sebagai hasil pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi, telah menjadi gas rumah kaca utama yang menyebabkan pemanasan global. Metana, sebagian besar berasal dari aktivitas pertanian dan industri, juga berperan penting dalam peningkatan suhu. N_2O , di sisi lain, berasal dari berbagai aktivitas manusia, termasuk pertanian dan pemakaian nitrogen dalam pupuk. Pemahaman tentang konsentrasi dan dampak gas-gas ini di atmosfer sangat penting untuk mitigasi perubahan iklim [28].

2.3 Metode Pengukuran Gas Karbon

Terdapat beberapa metode dalam pengukuran gas karbon dioksida (CO_2) Salah satu metode paling umum untuk mengukur konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) adalah penggunaan sensor inframerah, yang beroperasi berdasarkan prinsip absorpsi cahaya inframerah oleh molekul CO_2 [2].

Sistem pengukuran serapan gas CO_2 berbasis sensor MH-Z19 merupakan

sensor yang memiliki sensitivitas cukup baik terhadap pendeteksian gas CO_2 . Terdapat empat komponen utama penyusun sistem pengukuran serapan gas CO_2 yaitu sensor MH-Z19, Modul Arduino UNO, Modul *Data logger*, dan Chamber daun. Sensor MH-Z19 pada sistem berfungsi sebagai pendeteksi serapan gas CO_2 oleh tumbuhan. Mekanisme kerja dari sistem pengukuran serapan gas CO_2 ini yaitu sensor MH-Z19 akan mendeteksi gas CO_2 yang diserap oleh tumbuhan saat proses fotosintesis berlangsung dengan keluaran berupa nilai ppm [3].

Analisis isotop karbon juga digunakan untuk mengukur konsentrasi CO_2 dengan menganalisis rasio isotop C-12 dan C-13 dalam sampel udara, berguna dalam penelitian siklus karbon alam [4].

Dengan perkembangan teknologi informasi dan komunikasi saat ini, terutama teknologi Internet-of Things (IoT), masalah pemantauan kualitas udara secara berkelanjutan dan real-time dapat dilakukan menggunakan perangkat keras (mikrokontroler dan berbagai macam sensor) dan perangkat lunak pendukungnya. Sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT telah dikembangkan pada berbagai penelitian akademik. Sistem pemantauan kualitas udara di jalan raya berbasis IoT ini hanya menggunakan satu sensor yaitu MQ-135 untuk mengukur kadar gas karbondioksida (CO_2), Board Wemos DI RI dan aplikasi Blynk digunakan sebagai platform IoT untuk pengembangan sistem tersebut [5].

Selanjutnya, sistem kontrol dan monitoring kualitas udara berbasis fuzzy logic dan board Wemos, Sensor yang digunakan pada penelitian tersebut adalah sensor MQ-7 dan sensor MQ-135, Hasil pengukuran kualitas udara oleh sensor yang diproses pada board Wemos dikirimkan melalui koneksi WiFi dan ditampilkan pada suatu aplikasi berbasis web [6].

sistem pemantauan kualitas udara menggunakan board Arduino Uno, modul Bluetooth HC05, sensor gas MQ-135 (untuk mengukur kadar gas CO_2), dan sensor suhu LM35. Hasil pengukuran dikirimkan melalui komunikasi Bluetooth ke aplikasi Android pada smartphone untuk ditampilkan kepada pengguna. Pengujian sistem tersebut diutamakan pada pengujian pengiriman data melalui koneksi Bluetooth jika terdapat penghalang atau tidak terdapat penghalang, bukan pada pengukuran kualitas udara. Sistem pemantau kualitas udara menggunakan Arduino dan sistem komunikasi LoRa (Long Range) dikembangkan pada penelitian. [7].

Sistem pemantau kualitas udara menggunakan Arduino dan sistem komunikasi LoRa (Long Range) menggunakan sensor TGS2600 dan sensor TGS2201 masing-masing untuk mengukur kadar gas CO dan kadar gas NO₂. Selanjutnya, terdapat juga sensor GP2Y1010AUOF yang digunakan untuk mengukur kepadatan partikel debu serta sensor SHT11 untuk mengukur kelembaban dan suhu. Sistem komunikasi LoRa digunakan untuk mengirimkan data dari perangkat keras ke aplikasi web. Hasil pengukuran kualitas udara kemudian ditampilkan pada aplikasi web yang diakses menggunakan browser. Hasil pengujian pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data kualitas udara hingga jarak 300 meter tanpa kehilangan data [8].

Sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan menggunakan board ESP32 dan empat sensor, yaitu MQ-135, MQ-2, MQ-8, dan MQ-9. Data yang dibaca dari sensor oleh board ESP32 dikirimkan melalui komunikasi Bluetooth ke sebuah smartphone Android [9].

Sistem pemantauan kualitas udara berbasis web dan wireless sensor network (WSN). Raspberry Pi digunakan sebagai server dan board Wemos D1 sebagai mikrokontroler dan modul WiFi. Sensor yang digunakan adalah sensor MQ-135 (untuk mengukur gas CO₂), sensor MQ-7 (untuk mengukur gas CO), dan sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban [10].

Sistem pemantauan kualitas udara menggunakan NodeMCU dan aplikasi Android juga dikembangkan, Sistem tersebut menggunakan sensor MQ-135 untuk mengukur kadar gas CO₂ dan sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban. Hasil pengukuran kadar gas CO, suhu, dan kelembaban disimpan pada database dan dapat diakses melalui aplikasi berbasis Android [11].

2.4 Remote sensing

Teknologi *remote sensing* adalah teknik yang berlandaskan pada penggunaan gelombang elektro magnetik. Teknologi tersebut menghasilkan citra/gambar yang diperoleh dengan cara membangun suatu relasi antara flux yang diterima oleh

sensor yang dibawa oleh satelit dengan sifat-sifat fisik obyek yang diamati/obyek di permukaan Bumi [22].

Penginderaan Jauh atau remote sensing adalah ilmu, seni, dan teknik untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, daerah atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah atau fenomena yang dikaji dan hasil bentukan yang berupa cetak kertas atau data digital [23]. *Remote sensing* berarti mengukur objek dari jauh tanpa menyentuh objek yang akan diukur. *Remote sensing* digunakan untuk memperoleh informasi atau data tentang suatu objek suatu daerah melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena yang dikaji. Pengumpulan data pengindraan jauh dilakukan dengan menggunakan alat pengindra atau alat pengumpul data yang disebut sensor. Data pengindraan jauh dapat berupa gambar, grafik, dan data numerik [24].

2.5 Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) adalah pesawat tanpa awak yang dikendalikan dari jarak jauh atau dapat terbang secara autonomous berdasarkan rute yang diprogram sebelumnya. UAV dapat diklasifikasikan berdasarkan ukuran, jangkauan, dan kapabilitasnya. Berdasarkan desain struktural, UAV dapat dikategorikan *fixed wings*, multirotor, VTOL (*Vertical Take-off an Landing*), dan *single rotor* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



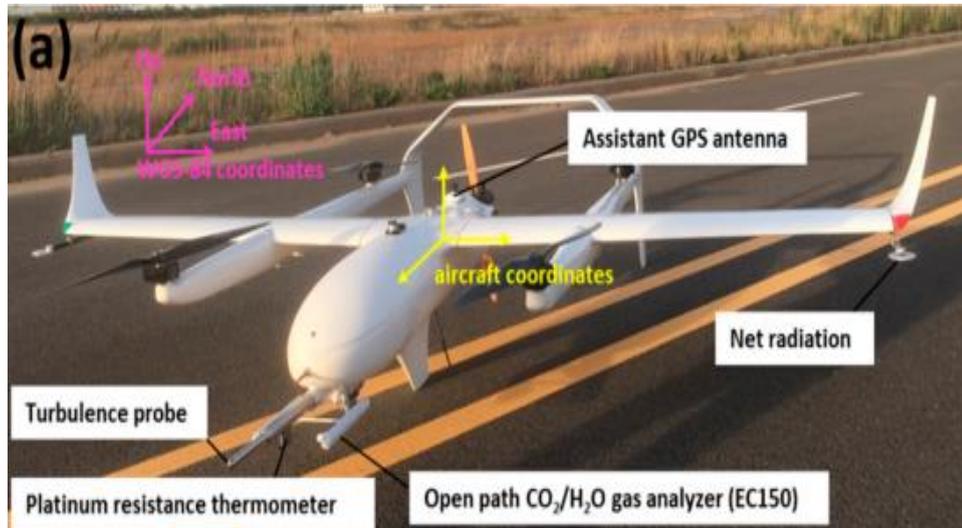
Gambar 2. 1 Jenis-jenis UAV

UAV sayap tetap (*fixed wings*) mirip dengan pesawat konvensional dengan sayap tetap. Drone jenis ini biasanya memiliki daya tahan terbang yang lebih lama dan dapat menutupi jarak yang lebih jauh, tetapi memerlukan landasan untuk lepas landas dan mendarat serta dapat diterbangkan pada ketinggian tinggi dan dapat dengan cepat mensurvei area yang luas. VTOL merupakan gabungan dari *fixed-wing* dan multirotor. Dapat lepas landas dan mendarat secara vertikal tetapi memiliki kemampuan terbang layaknya *fixed-wing*. Sedangkan UAV tipe multirotor merupakan drone yang paling umum digunakan untuk fotografi dan videografi komersial. Termasuk *quadcopters* (empat rotor), *hexacopters* (enam rotor), dan *octocopters* (delapan rotor), dimana dapat terbang pada ketinggian rendah dan mengumpulkan data dengan resolusi tinggi [20].

Untuk aplikasi pertanian, drone kecil hingga menengah sering digunakan karena fleksibilitas dan kemudahan operasionalnya. Pada pengimplementasiannya di perkebunan, UAV memungkinkan pemantauan yang cermat dan detail dari kondisi tanaman, termasuk pertumbuhan, kesehatan, kemungkinan serangan hama atau penyakit dan lainnya.

Menurut Yibo, dkk (2021) dalam jurnalnya yang berjudul '*A UAV-Based Eddy covariance System for Measurement of Mass and Energy Exchange of the Ecosystem: Preliminary Results*', UAV dapat digunakan untuk sistem *Eddy*

covariance dalam mengukur pertukaran massa dan energi dalam ekosistem serta melakukan pemantauan terhadap fluks gas CO_2 . Gambar 2 menunjukkan contoh UAV berjenis *fixed-wings* yang digunakan oleh Yibo untuk diuji di Inner Mongolia, China dan dibandingkan dengan pengukuran menara tanah [21].



Gambar 2. 2 UAV sebagai wahana pengukuran fluks

2.6 Hexacopter

Hexacopter, adalah salah satu jenis UAV yang menggunakan enam rotor. Dengan tambahan dua rotor ekstra dibandingkan dengan quadcopter, hexacopter memiliki stabilitas dan kendali yang lebih baik, sehingga membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi. Kelebihan utama hexacopter adalah kemampuannya untuk membawa muatan yang lebih besar dan beragam. Dalam survei udara dan pemetaan, hexacopter sering digunakan untuk mengumpulkan data presisi dengan memasang berbagai sensor dan kamera. Selain itu, di industri film dan fotografi, hexacopter telah menjadi alat pilihan untuk pengambilan gambar udara yang dramatis dan berkualitas tinggi. Dalam penelitian terbaru, hexacopter juga telah diterapkan dalam operasi pencarian dan penyelamatan, inspeksi infrastruktur, dan pemantauan lingkungan. Penelitian dan pengembangan lanjutan terus dilakukan untuk

meningkatkan kemampuan dan efisiensi hexacopter dalam berbagai konteks aplikasi [25-26].



Gambar 2. 3 Hexa Copter

2.7 Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah cabang dari mekanika fluida yang menggunakan analisis numerik dan struktur data untuk menganalisis dan memecahkan masalah yang melibatkan aliran fluida. CFD digunakan untuk mensimulasikan aliran fluida, aliran bebas, dan interaksinya dengan permukaan yang ditentukan oleh kondisi batas. CFD diterapkan pada berbagai masalah penelitian dan teknik di berbagai bidang studi dan industri, termasuk aerodinamika dan analisis kedirgantaraan, hipersonik, simulasi cuaca, ilmu pengetahuan alam dan teknik lingkungan, desain dan analisis sistem industri, teknik biologi, aliran fluida dan perpindahan panas, analisis mesin dan pembakaran, serta efek visual untuk film dan game. Alat CFD yang paling umum didasarkan pada persamaan Navier-Stokes (N-S).

CFD memiliki banyak kegunaan di luar pengembangan produk dan aerodinamika,

seperti prakiraan cuaca dan efek visual. Dalam pengembangan produk, CFD memungkinkan kita untuk merancang produk dan sistem yang memenuhi persyaratan aliran fluida dan perpindahan panas. Dengan menggunakan perangkat lunak CFD, kuantitas fluida seperti kecepatan, tekanan, suhu, dan densitas dapat dihitung dan ditampilkan pada lokasi tertentu dalam model, untuk nilai maksimum atau minimum pada permukaan atau komponen, atau di seluruh volume fluida. Hasil ini dapat digambarkan sebagai kontur warna, partikel, bidang arah, atau garis-garis aliran.

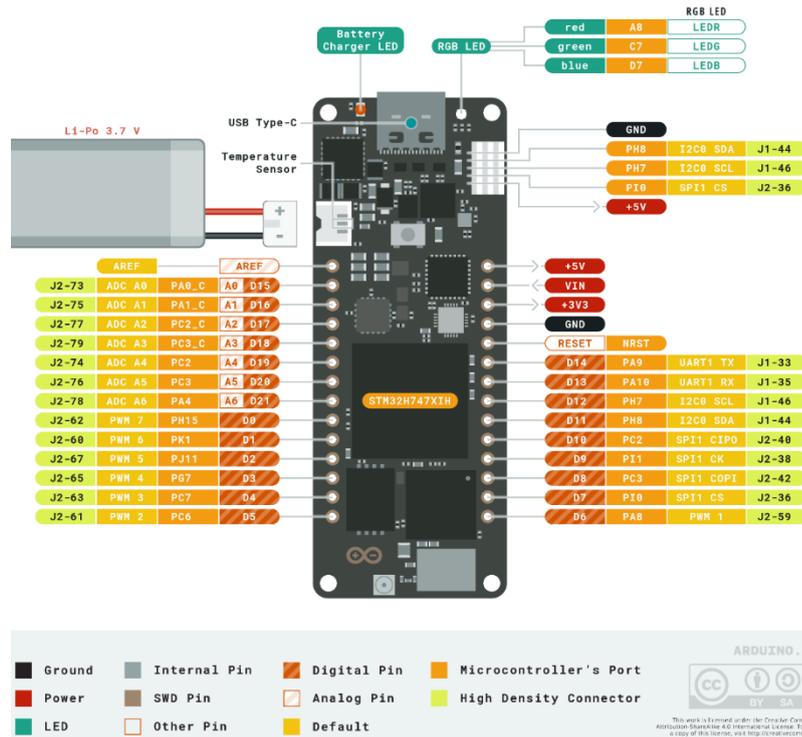
2.8 Center of Gravity (CG)

Center of Gravity (CG), atau pusat gravitasi, merupakan titik di mana seluruh berat sebuah objek dapat dianggap berkonsentrasi. Untuk drone, posisi CG sangat penting karena dapat memengaruhi stabilitas penerbangan dan kendali UAV. Penentuan posisi yang tepat dari CG adalah faktor kunci dalam desain drone yang efisien dan aman. Penelitian oleh Kemper dan Sukhatme (2008) [27], membahas pentingnya pemahaman CG dalam pengembangan UAV, khususnya untuk menjaga stabilitas selama misi penerbangan. Posisi yang tidak tepat dari CG dapat mengakibatkan masalah seperti getaran yang tidak diinginkan atau ketidakstabilan selama penerbangan. Dengan mengukur dan memahami posisi CG dengan baik, pengembang drone dapat mengoptimalkan desain dan kinerja penerbangan.

Selain itu, pengetahuan tentang CG juga relevan dalam pengoperasian drone. Misalnya, ketika memasang muatan tambahan seperti kamera atau sensor, perubahan posisi CG harus dipertimbangkan agar tidak memengaruhi stabilitas dan kendali penerbangan. Konsep CG juga berhubungan dengan distribusi beban yang merata pada drone. Menerapkan distribusi yang seimbang dari beban pada seluruh UAV dapat membantu menjaga keseimbangan dan stabilitas saat drone dalam operasi. Keseluruhan, pemahaman yang baik tentang CG sangat penting dalam desain dan pengoperasian drone yang aman dan efisien.

2.9 Arduino Portenta H7

Arduino Portenta H7 merupakan sebuah perangkat *microcontroller* yang dikemas dalam bentuk susunan chip *IC (Integrated Circuit)* yang tergabung dalam suatu *board* dan dirancang untuk melakukan tugas tertentu. *Portenta H7* mengikuti *Arduino MKR form factor*, tetapi ditingkatkan dengan konektor *high-density* keluarga *Portenta* 80 pin. *Portenta H7* bisa diprogram dengan bahasa tingkat tinggi dan menerapkan *Artificial Intelligence* dengan operasi berlatensi rendah pada perangkat kerasnya yang dapat dikustomisasi. *Portenta H7* secara simultan menjalankan kode tingkat tinggi bersama dengan *realtime*, karena memiliki dua prosesor yang dapat menjalankan tugas secara paralel. Misalnya, dimungkinkan untuk mengeksekusi kode yang dikompilasi *Arduino* bersama dengan *MicroPython* satu dan memiliki dua inti untuk berkomunikasi satu sama lain. Fungsionalitas *Portenta* adalah dua kali lipat, dapat berjalan seperti *board* mikrokontroler tertanam lainnya atau sebagai prosesor utama *embedded computer*. Misalnya, menggunakan *Portenta Vision Shield* untuk mengubah *H7* menjadi kamera industri yang mampu menjalankan algoritma *realtime machine learning* pada pengambilan video *realtime*. Keunggulan *Portenta H7* jika disbanding dengan *STM32* yaitu *Form Factor* yang Kompatibel dengan *Arduino MKR Form Factor* yang Kompatibel dengan *Arduino MKR*. Selain itu *Portenta H7* mendukung berbagai *library* dan *toolset* yang sudah ada di ekosistem *Arduino*, sehingga memudahkan penggunaan dan pengembangan aplikasi. Dalam penelitian ini penulis menggunakan *Arduino Portenta H7* yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2. 4 Mikrokontroler Arduino Portenta H7

[sumber: *Arduino Portenta H7*, <https://docs.arduino.cc/>]

Terdapat banyak bagian dari mikrokontroler ini, namun bagian utamanya adalah sebagai berikut:

1. Prosesor Utama, adalah *dual core* Cortex M7 yang berjalan hingga 480 MHz dan *Cortex M4* yang berjalan hingga 240 MHz. Kedua inti berkomunikasi satu sama lain melalui kotak surat yang dibantu perangkat keras tempat *Arduino* mengimplementasikan mekanisme *Remote Procedure Call* yang memungkinkan pemanggilan fungsi pada prosesor lain secara mulus. Memori internal terdiri dari flash 2MB dengan dukungan *read and write* secara bersamaan dan *RAM 1MB*.
2. Modul *Wireless, on board* memungkinkan manajemen konektivitas *WiFi* dan *Bluetooth* secara simultan. Antarmuka *WiFi* dapat dioperasikan sebagai *Access Point*, sebagai Stasiun atau sebagai mode ganda *AP/STA* simultan dan dapat menangani kecepatan transfer hingga 65 Mbps. Antarmuka *Bluetooth* mendukung *Bluetooth Classic* dan *BLE (Bluetooth Low Energy)*.

3. *Crypto Chips, Portenta H7* menyediakan dua pilihan *Crypto Chip opsional* yang berbeda. *ATECC608A* klasik dari *Microchip* memberikan kompatibilitas *low cost backward* dengan aplikasi *Arduino* sementara *SE050C2* yang lebih canggih dari *NXP* memberikan sertifikasi *Common Criteria*, memori penyimpanan yang lebih besar, dan fungsionalitas yang lebih canggih.
4. *Port*, berfungsi sebagai *interface* untuk berbagai perangkat seperti LCD, sensor, memori dan perangkat lainnya ke mikrokontroler.

Untuk spesifikasi lebih lanjut dari mikrokontroler *Arduino Portenta H7* bisa dilihat pada table 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1 Spesifikasi Mikrokontroler *Arduino Portenta H7*

<i>Microcontroller</i>	<i>STM32H747XI dual Cortex®-M7+M4 32bit low power Arm® MCU</i>	
<i>USB connector</i>	<i>USB-C</i>	
<i>Pins</i>	<i>Digital I/O Pins</i>	22
	<i>Analog input pins</i>	8
	<i>PWM pins</i>	10
<i>Connectivity</i>	<i>Radio module</i>	<i>Murata 1DX dual WiFi 802.11b/g/n 65 Mbps and Bluetooth® 5.1 BR/EDR/LE</i>
	<i>Secure element</i>	<i>NXP SE0502</i>
<i>Communication</i>	<i>UART</i>	<i>Yes</i>
	<i>I2C</i>	<i>Yes</i>
	<i>SPI</i>	<i>Yes</i>

Tabel 2.1 (Lanjutan)

Power	<i>Circuit operating voltage</i>	3.3V
	<i>Input voltage (VIN)</i>	5V
	<i>DC Current per I/O Pin</i>	8 mA
<i>Clock speed</i>	<i>Main core</i>	480 MHz
	<i>Second core</i>	240 MHz
<i>Memory</i>	<i>ST STM32H747XI</i>	<i>2MB Flash, 1MB RAM</i>
<i>Dimensions</i>	<i>Width</i>	25 mm
	<i>Length</i>	66 mm

Sumber: *Arduino Portenta H7*, <https://docs.arduino.cc/>.

2.10 SEN0220

sensor *infrared* CO₂ merupakan sensor *infrared* CO₂ dengan jangkauan luas efektif hingga 0-50000 ppm. SEN0220 didasarkan pada teknologi *Non-Diversity Infrared* (NDIR) dan selektivitas yang bagus terhadap *oxygen-free dependency*. SEN0220 juga terintegrasi dengan kompensasi suhu dan mendukung UART sebagai sistem komunikasi. Manfaat utama dari SEN0220 adalah kompatibel dengan segala jenis mikrokontroler dengan *port* UART seperti Arduino, Raspberry Pi dan mikrokontroler lainnya. Selain itu SEN0220 juga memiliki *life service* yang cukup lama, yaitu sekitar 5 tahun. SEN0220 merupakan sensor dengan kinerja tinggi yang menggabungkan deteksi penyerapan gas melalui *infrared* dengan desain sirkuit yang canggih. Karakteristik yang dimiliki SEN0220 adalah memiliki deteksi dengan jangkauan yang luas, sensitivitas yang tinggi, resolusi tinggi, daya konsumsi yang rendah, respon yang cepat, *anti-water vapor interference*, stabilitas yang tinggi dan *long life performance*. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan Sensor *Infrared* CO₂ DFRobot SEN0220 seperti pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2. 5 Sensor Infrared CO2 DFRobot SEN0220

Spesifikasi yang dimiliki Sensor *Infrared* CO₂ DFRobot SEN0220 dijelaskan lebih lanjut pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor Infrared CO2 DFRobot SEN0220

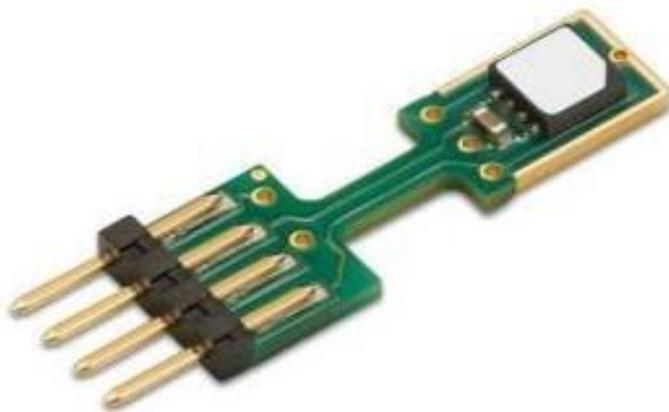
<i>Operation Voltage</i>	4.5~5.5V
<i>Output</i>	Gravity: UART (0~3.3V Level)
<i>Measurement Principle</i>	NDIR (non-dispersive infrared)
<i>Measurement Range</i>	0~50000 ppm
<i>Accuracy</i>	± (100ppm + 6% readings)
<i>Response Time</i>	<30s
<i>Average Power</i>	<430mW@5V
<i>Operation Temperature</i>	0°C~50°C
<i>Operation Humidity</i>	0~95% RH (No condensation)
<i>Lifespan</i>	>5 years
<i>Dimension (PCB)</i>	21*27.1 mm

Tabel 2.2 (Lanjutan)

<i>Features</i>	<i>High Accuracy</i> <i>Large Range</i> <i>Long Lifespan</i> <i>Auto Temperature Compensation</i> <i>Water Vapor Interference Resistance</i> <i>3.3V UART Output</i>
-----------------	---

2.11 Sensirion SHT85

Sensirion SHT85 merupakan sensor suhu dan kelembaban terbaik dengan pada tipe SHT3x Sensirion. Sensor SHT85 memiliki kestabilan yang sangat akurat dan juga jangka panjang. Desain yang unik pada sensor SHT85 ini memiliki thermal coupling yang baik dari sumber panas potensial dari board utama. SHT85 memiliki fitur membrane PTFE yang didedikasikan untuk melindungi bukaan sensor dari cairan dan debu sesuai dengan IP67, tanpa mempengaruhi fungsi sensor. Oleh karena itu sensor SHT85 dapat digunakan dalam kondisi lingkungan yang keras (seperti semprotan air dan paparan debu tinggi). Dalam penelitian ini, penulis menggunakan sensor SHT85 seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Sensirion SHT85

Spesifikasi yang dimiliki Sensirion SHT85 dijelaskan lebih lanjut pada tabel 2.3

Tabel 2. 3 Sensor Infrared CO2 DFRobot SEN0220

<i>Relative Humidity Accuracy</i>	1.5 RH%
<i>Operating Relative Humidity Range</i>	0-100 RH%
<i>Response Time</i>	8 s
<i>Calibration Certificate</i>	<i>Factory calibration</i>
<i>Temperature Accuracy</i>	0.1 °C
<i>Operating Temperature Range</i>	-40 – 125 °C
<i>Response time</i>	5 s
<i>Supply Voltage</i>	2.15-5.5 V
<i>Average supply current</i>	28 μ A
<i>Max. supply current</i>	1000 μ A
<i>Interface</i>	I2C

2.12 Winsen MH-441D

Sensor merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah perubahan fisika seperti tekanan, kelembaban, suhu dan lain-lain menjadi besaran listrik sehingga dapat dilakukan proses pengambilan data. Methane Gas Sensor MH-441D yang diproduksi oleh Winsen merupakan modul sensor yang digunakan untuk pengukuran kadar gas Metana di udara. Sensor gas inframerah MH-441D adalah sensor miniatur universal intelligent, yang mengadopsi teori NDIR (Nondispersive infrared sensor) untuk mendeteksi konsentrasi CH₄ di udara dan memiliki selektivitas yang baik, kinerja stabil, umur panjang, juga tidak bergantung pada Oksigen. Sensor suhu bagian dalam dapat digunakan untuk kompensasi suhu.

Sensor gas inframerah mini ini dikembangkan dengan integrasi yang erat antara teknologi deteksi gas dengan inframerah, micro machine workout, dan desain sirkuit yang unggul. Gambar 7 merupakan penampakan modul sensor gas Metana ini. Diantara sensor SGX Sensortech MiCS-6814, Figaro TGS2611, SPEC Sensors Ultra-Low Power Ppb-Level CH₄ dan sensor MQ-5, MH-441D adalah sensor yang memiliki pembacaan kadar gas metana yaitu hingga 0 ppm. Spesifikasi lebih lanjut ditampilkan oleh tabel 2.4.



Gambar 2. 7 Sensor Gas Metana Winsen MH-441D

[Sumber: Winsen Sensor, <https://www.winsen-sensor.com/>]

Tabel 2. 4 Spesifikasi Winsen MH-441D

<i>Detection Gas</i>	<i>Methane (CH₄)</i>
<i>Working Voltage</i>	3.6~5V DC
<i>Average Current</i>	< 85mA
<i>Interface Level</i>	3V

Tabel 2.4. (Lanjutan)

<i>Detection range</i>	0~100% vol(<i>selectable</i>) (0-100.0000ppm)
<i>Output Signal</i>	<i>UART</i>
	0.4~2V DC
<i>Warm-up time</i>	3 min
<i>Response time</i>	T90<30s
<i>Working Temperature</i>	-20°C ~60°C
<i>Working Humidity</i>	0~95%RH(<i>no condensation</i>)
<i>Sizes</i>	Φ20×21.4mm
<i>Weight</i>	35g
<i>Lifetime</i>	>5 years
<i>Explosion-proof Mark</i>	<i>Exmb II T6</i>
<i>Defense Grade</i>	<i>IP54</i>

Sumber: Winsen Sensor, <https://www.winsen-sensor.com/>.

2.13 BMP338

Sensor tekanan barometrik *BMP338* yang diproduksi oleh *DFRobot* dilengkapi dengan fungsi pengukuran suhu dan tekanan. Dibandingkan dengan versi sebelumnya yaitu *BMP180* dan *BMP280*, sensor ini menunjukkan konsumsi daya yang lebih rendah, resolusi yang lebih tinggi, dan kecepatan pengambilan sampel yang lebih tinggi. Tekanan barometrik biasanya digunakan untuk mengukur

tekanan dan suhu barometrik. Tapi selain itu, kita juga bisa menggunakan sensor untuk mengukur ketinggian dan tinggi lantai relatif karena ada hubungan tertentu antara ketinggian dan tekanan barometrik. *BMP388* didasarkan pada teknologi sensor tekanan resistif *Piezo Bosch* yang matang yang menampilkan akurasi tinggi serta konsumsi daya yang rendah dan ketahanan *EMC* (*electromagnetic compatibility*) yang tinggi. Sensor memiliki akurasi sekitar $\pm 8\text{Pa}$, yang setara dengan perbedaan ketinggian sekitar $\pm 0,5\text{m}$, dan suhu akurasi mutlak $\pm 0,5^\circ\text{C}$ untuk kisaran suhu antara 0°C dan 65°C . Jika dibandingkan dengan sensor *BME280*, sensor *bmp388* lebih unggul karena rentang tekanan yang lebih luas (300 hPa hingga 1250 hPa) dibandingkan dengan *BME280* (300 hPa hingga 1100 hPa) dan akurasi tekanan yang lebih tinggi (± 0.06 hPa) dibandingkan dengan *BME280* (± 1 hPa). Gambar 8 merupakan penampakan dari sensor *BMP338* dan spesifikasi lebih lanjut bisa dilihat pada tabel 2.5.



Gambar 2. 8 Sensor Barometrik BMP338.

[Sumber: Wiki DFRobot, <https://wiki.dfrobot.com/>]

Tabel 2. 5 Spesifikasi Sensor BMP338

<i>Operating Voltage</i>	3.3V-5.5V
<i>Operating Current</i>	0.5mA
<i>Operating Range</i>	300 to 1250 hPa
<i>Relative Accuracy</i>	± 8 Pa (equivalent to $\pm 0.50\text{m}$ @700-900hPa, 25°C-40°C)
<i>Absolute Accuracy</i>	± 50 Pa (0°C – 65°C @300 – 1100hPa)
<i>Temperature Coefficient Offset</i>	± 0.75 Pa/K (-20°C – 65°C @700 – 1100hPa)
<i>Absolute Accuracy Temperature</i>	± 0.5 °C (@0°C – 65°C)
<i>Operating Temperature</i>	-40°C~80°C (more accurate in 0°C-65°C)
<i>External Dimension</i>	22mm x 30mm
<i>Mounting Hole Position</i>	15mm
<i>Mounting Hole Dimension</i>	inside diameter 3mm/ outside diameter 6mm
<i>Interface</i>	Gravity-IIC 4Pin or SPI (SPI is only used at 3.3V)

Sumber: Wiki DFRobot, <https://wiki.dfrobot.com/>.

2.14 liIon battery

Baterai Lithium-ion (Li-ion) dan baterai Lithium Polymer (LiPo) adalah dua jenis baterai yang umum digunakan dalam perangkat elektronik, terutama dalam model radio kontrol, drone, dan perangkat portabel. Perbedaan utama antara keduanya terletak pada bentuk dan jenis elektrolit. Baterai Li-ion menggunakan elektrolit cair,

sedangkan baterai LiPo menggunakan elektrolit padat atau semi-padat. Keuntungan baterai LiPo adalah bahwa mereka memiliki bentuk yang lebih fleksibel dan lebih ringan daripada baterai Li-ion. Mereka juga cenderung memiliki rasio daya terhadap berat yang lebih tinggi, yang menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi di mana berat dan bentuk baterai kritis, seperti dalam model radio kontrol dan drone. Namun, baterai Li-ion lebih umum digunakan dalam perangkat konsumen sehari-hari karena kestabilan dan keamanan yang lebih baik.



Gambar 2. 9 Battery Liion

2.15 Eddy covariance

Teknik *Eddy covariance* EC dikenal pula sebagai sebuah pengukuran fluks dengan kecepatan tinggi yang berlaku pada air, gas, panas dan momentum pada lapisan batas atmosfer [15]. Selain itu teknik EC juga sangat penting untuk memahami pertumbuhan tanaman dan keseimbangan energi pada skala spasial dan temporal [16]. Secara khusus, EC muncul di saat data tentang keseimbangan karbon dibutuhkan untuk membatasi model perubahan iklim [17] dimana dapat dihubungkan dengan proses fotosintesis dan transpirasi di dalam keseimbangan energi [18].

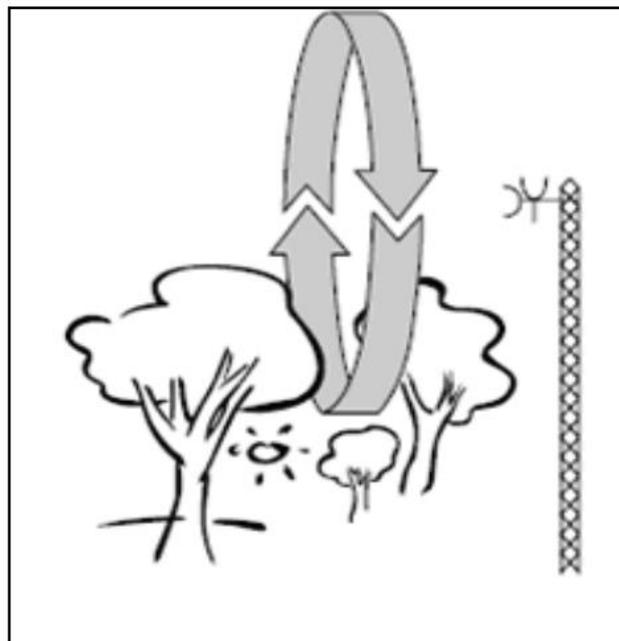
Teknik EC sebenarnya difokuskan pada pertukaran laju CO₂, melalui suatu proses

penghubung antara atmosfer dan tanaman dengan menghitung nilai kovarian antara fluktuasi dari kecepatan angin vertikal dan rasio pencampuran CO₂, Metode EC akan cukup akurat pada saat kondisi atmosfer (seperti angin, temperatur, kelembapan dan CO₂) berlangsung cukup stabil.

Pada EC, fluks skalar vertikal di atas permukaan diberikan oleh kovarian dari nilai skalar (c), dan kecepatan angin vertikal (w).

$$F_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})(c_i - \bar{c}) = \langle w'c' \rangle$$

di mana n adalah jumlah titik data dalam periode pengukuran dan w , c , w' dan c' adalah nilai rata-rata dan fluktuasi komponen dari nilai yang terukur sesaat (w , dan c). Pengukuran siklus EC dari sebuah menara menyatakan suatu pendekatan standar untuk menyatakan pertukaran fluks biosfer-atmosfer dengan CO₂ dan beberapa gas lainnya. Pengukuran *Eddy covariance* dari CO₂, dan fluks panas terjadi pada ketinggian 5 m di atas permukaan air laut.



Gambar 2. 10 Siklus Eddy covariance di Udara

Pada Gambar menunjukkan siklus *Eddy covariance* di udara secara vertikal. Pada saat nilai $v > 0$ maka terjadi gerakan vertikal ke atas sehingga konsentrasi CO₂ yang berhasil ditangkap tabung inlet mengalami penurunan. Namun pada saat nilai $v < 0$

maka terjadi gerakan vertikal ke bawah sehingga konsentrasi CO_2 mengalami peningkatan. Fluks turbulensi dari pemanasan yang terjadi dengan CO_2 dinyatakan sebagai nilai korelasi antara kecepatan angin vertikal dengan suhu dan konsentrasi CO_2 [19].



Gambar 2. 11 Eddy covariance Tower

2.16 Eddy Station

Stasiun *Eddy covariance* (EC) telah menjadi pilar penting dalam kemajuan pemahaman kita tentang interaksi antara permukaan bumi dan atmosfer, terutama dalam mengukur fluks turbulen gas-gas jejak dan energi di permukaan Bumi. Stasiun EC mengandalkan sensor respons cepat untuk mengukur fluktuasi vertikal dalam kecepatan angin, suhu, dan konsentrasi gas, yang memungkinkan estimasi langsung dari fluks permukaan. Stasiun EC telah menjadi instrumen yang sangat berharga dalam berbagai studi lingkungan, termasuk pemantauan fluks karbon dan air di berbagai jenis ekosistem, evaluasi kualitas udara di lingkungan perkotaan, serta penelitian perubahan iklim dan dinamika ekosistem [12-14]. Dalam penelitian lingkungan, stasiun EC berperan penting dalam pemahaman sirkulasi karbon di ekosistem daratan. Mereka memungkinkan pengukuran langsung pertukaran karbon dioksida antara tumbuhan dan atmosfer, yang merupakan elemen kunci dalam pemodelan siklus karbon. Selain itu, stasiun EC juga digunakan untuk mengukur pertukaran energi, termasuk panas laten dan panas nyata, yang sangat

relevan dalam menilai dinamika iklim lokal dan regional. Selain itu, stasiun EC telah digunakan dalam pemantauan udara kualitas di kota-kota besar, membantu peneliti dan pemerintah untuk memahami polusi udara dan dampaknya pada kesehatan manusia dan ekosistem [13]. Stasiun EC juga memberikan wawasan penting dalam pemahaman perubahan iklim dan efeknya pada ekosistem. Mereka digunakan untuk mengukur sejauh mana ekosistem dapat bertindak sebagai penyerap karbon, yang memiliki implikasi penting dalam mitigasi perubahan iklim. Selain itu, data yang diperoleh dari stasiun EC digunakan dalam penelitian cuaca dan iklim, membantu dalam pemodelan dan prediksi perubahan iklim global. Stasiun EC juga memberikan landasan bagi pengembangan teknik pemantauan dan analisis data yang semakin canggih dalam ilmu atmosfer dan ekologi [14].

2.17 DJI A2 Assistant

Menyiapkan Pengontrol penerbangan mencakup bagian *hardware* dan *software*, dan kemudian konfigurasi sistem kendali penerbangan A2 dilakukan menggunakan A2 flight controller assistant software, termasuk pemetaan saluran pemancar untuk menerbangkan drone. Menghubungkan A2 pengontrol penerbangan ke sistem dilakukan dengan mengikuti panduan yang terdapat di situs web DJI. Gambar 2.12 menunjukkan deskripsi port A2 dan kegunaannya [1].



Gambar 2. 12 Deskripsi port A2 Controller

DJI A2 Assistant merupakan sebuah software yang berfungsi untuk melakukan konfigurasi pada flight controller DJI A2. Pengguna dapat melakukan perubahan parameter pada flight controller, pengguna juga dapat melakukan kalibrasi dan pemantauan penerbangan. Salah satu fitur utama pada DJI A2 Assistant adalah melakukan update firmware pada flight controller. Selain itu, software ini menyediakan antarmuka yang intuitif untuk melakukan kalibrasi sensor, seperti akselerometer, giroskop, dan kompas, yang sangat penting untuk memastikan akurasi penerbangan dan stabilitas wahana. DJI A2 Assistant juga menyediakan berbagai opsi konfigurasi, seperti pengaturan mode penerbangan, batas-batas kecepatan, dan penyesuaian sensitivitas kontroler. Fitur ini memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan pengalaman penerbangan sesuai dengan kebutuhan mereka, baik itu untuk keperluan fotografi udara, survei, atau aplikasi lainnya. Semua pengaturan, pemrograman, dan penetapan saluran dilakukan melalui Perangkat Lunak Asisten DJI A2. Logo perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 2.13. [1]



Gambar 2. 13 Logo DJI A2 Assistant Software

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus – Desember 2023 di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro Univeritas Lampung.

3.2 Komponen dan Perangkat Lunak

Dalam penelitian tugas akhir ini, terdapat komponen dan perangkat lunak yang digunakan seperti pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Komponen dan Perangkat Lunak pada Perangkat

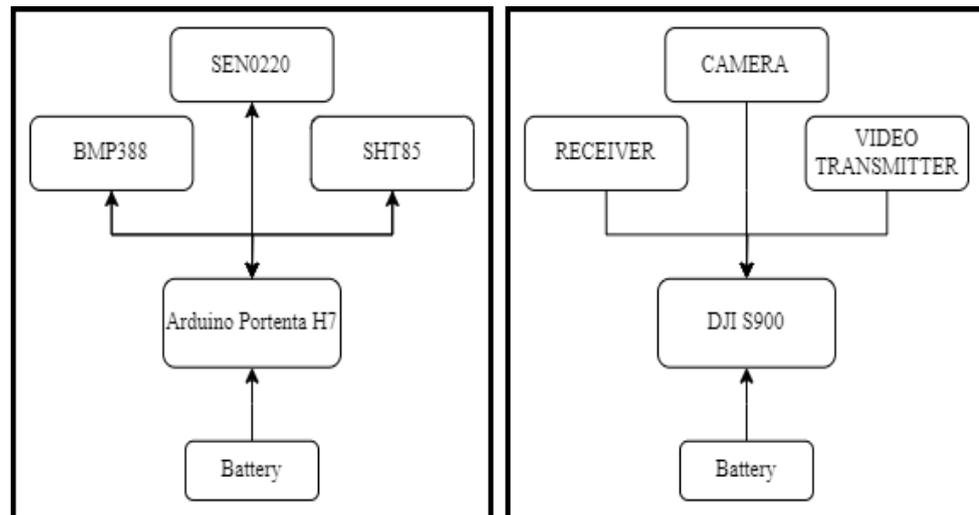
No.	Nama Komponen dan Perangkat Lunak	Keterangan Penggunaan
1.	DJI S900	Sebagai wahana yang akan di modifikasi untuk membawa sensor
2.	Arduino Portenta H7	Sebagai mikrokontroler untuk melakukan pengambilan, pengolahan, dan penyimpanan data
2.	SEN0220	Sebagai sensor gas karbon dioksida
3.	SHT85	Sebagai sensor kelembaban dan suhu udara

Tabel 3.1. (Lanjutan)

4.	BMP388	Sebagai sensor pengukur tekanan udara
5.	Multi USB/RS232/RS485/TTL Converter	Sebagai converter protokol komunikasi
9.	Matek BEC	Sebagai komponen untuk menurunkan tegangan
10.	3D Printer	Sebagai alat untuk membuat <i>mounting</i> sensor
11.	SolidWorks	Sebagai software yang digunakan untuk fluid simulation
12.	Autodesk Inventor	Sebagai software yang digunakan untuk mendesain dan melakukan simulasi
13.	Arduino IDE versi 2.0	Sebagai software untuk menulis code pada <i>microcontroller</i>
14.	DJI A2 Assistant versi 1.9	Sebagai software untuk konfigurasi drone

3.3 Rancangan Sistem

Dalam melakukan perhitungan emisi karbon menggunakan drone diperlukan wahana yang memiliki waktu terbang yang relatif lama, drone juga harus memiliki daya angkat yang memungkinkan drone untuk membawa sensor ke atmosfer. Drone yang digunakan dalam penelitian ini adalah *hexacopter*, tipe ini dipilih dikarenakan *drone* dengan tipe *hexacopter* memiliki daya angkat yang lebih besar dibanding tipe *quadcopter*, dan mampu terbang diam pada suatu posisi (*hovering*) tidak seperti drone jenis *fixed wing* yang harus selalu bergerak. *Hexacopter* juga memiliki *flight time* yang cenderung lebih lama dan kestabilan yang lebih baik jika dibandingkan dengan *quadcopter*.



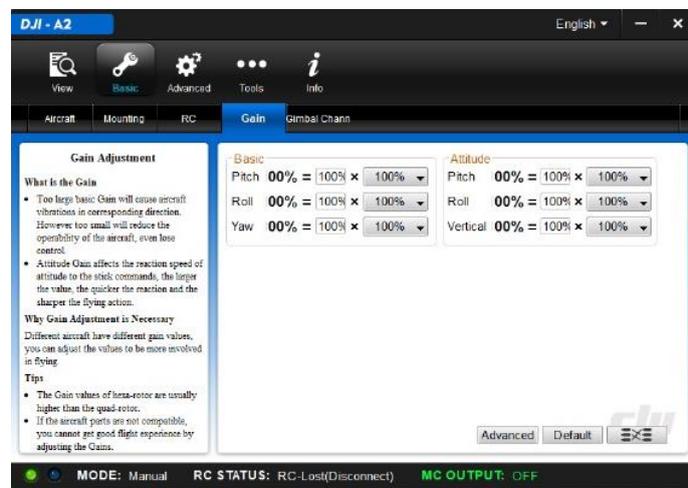
Gambar 3. 1 Diagram Blok Drone EDDYc

Seperti pada Gambar 12, perangkat ini akan mendapatkan sumber daya dari *battery* yang masing masing memiliki sistem independen. Pembacaan sensor pada perangkat ini akan dimulai dengan mikrokontroler Arduino Portenta H7 memberikan perintah ke sensor untuk mendeteksi lingkungan sekitar, kemudian sensor akan memberikan jawaban berupa tegangan ke mikrokontroler. Lalu mikrokontroler akan menyimpan data pada *data logger* yang ada pada mikrokontroler. Wahana akan terbang pada ketinggian 49 meter di atas permukaan dataran. terdapat tiga sensor yaitu sensor pengukur konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) atau SEN0220, sensor pengukur konsentrasi gas metana (CH_4) atau MH441D, sensor pengukur suhu, kelembaban udara dan uap air (H_2O) atau SHT85, ketiga sensor ini diintegrasikan menjadi satu-kesatuan membentuk *eddyC aerial system*. Sistem akan bekerja mendeteksi kondisi lingkungan selama 15 menit yang kemudian sistem akan *landing*. Setiap sensor melakukan *sensing* sebanyak maksimal 7 Hz.



Gambar 3. 2 Rancangan Desain EddyC aerial system

Desain dari wahana dirancang seperti pada Gambar 13, Sensor yang digunakan akan diletakkan 100 cm diatas drone, sensor ini akan ditopang menggunakan pipa carbon fiber yang nantinya akan terhubung menggunakan mounting yang berbahan carbon fiber filament ke lengan drone, lalu pada bagian atas sensor akan di tempatkan di lembaran fiber. Desain struktur dimulai dari pengukuran besarnya *arm* yang ada pada *drone* untuk menentukan besarnya *mounting* yang nanti akan digunakan. Kemudian membuat desain *mounting* untuk menopang *carbon tube* yang nantinya akan menyangga dudukan sensor yang terbuat dari bahan fiber. Desain struktur dan penempatan sensor harus diperhitungkan agar proses sampling yang dilakukan oleh sensor dapat berjalan dengan presisi dan wahana dapat terbang stabil.



Gambar 3. 3 Nilai gain awal pada flight controller

Berikut merupakan nilai gain default pada flight controller DJI A2, nantinya akan dilakukan penyesuaian pada nilai gain yang akan memngaruhi stabilitas wahana saat wahana mendapat payload berupa perangkat sistem sensor. Nilai Gain yang terlalu besar akan menyebabkan pesawat bergetar ke arah yang sesuai. Namun terlalu kecil akan mengurangi kemampuan pengoperasian pesawat, bahkan kehilangan kendali. Attitude Gain mempengaruhi kecepatan reaksi sikap terhadap perintah tongkat, semakin besar nilainya maka semakin cepat pula reaksinya dan semakin tajam aksi terbangnya.

3.4 Simulasi

Setelah desain selesai dibuat, tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi menggunakan SolidWorks. Simulasi dilakukan untuk menganalisa aliran fluida eksternal dari desain *drone* dan tekanan (*pressure*) yang terjadi pada permukaannya. Dikarenakan metode *Eddy covariance* mengukur fluks karbon yang berupa aliran udara yang bergerak, maka perlu memperhatikan aliran udara yang dihasilkan oleh *drone* agar nantinya tidak terjadi interferensi pada hasil *sensing*. Dari hasil simulasi kita dapat menentukan langkah-langkah fabrikasi dan antisipasi kesalahan agar tingkat kegagalan fabrikasi dapat dikurangi. Simulasi ini menggunakan *Setting* parameter seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2

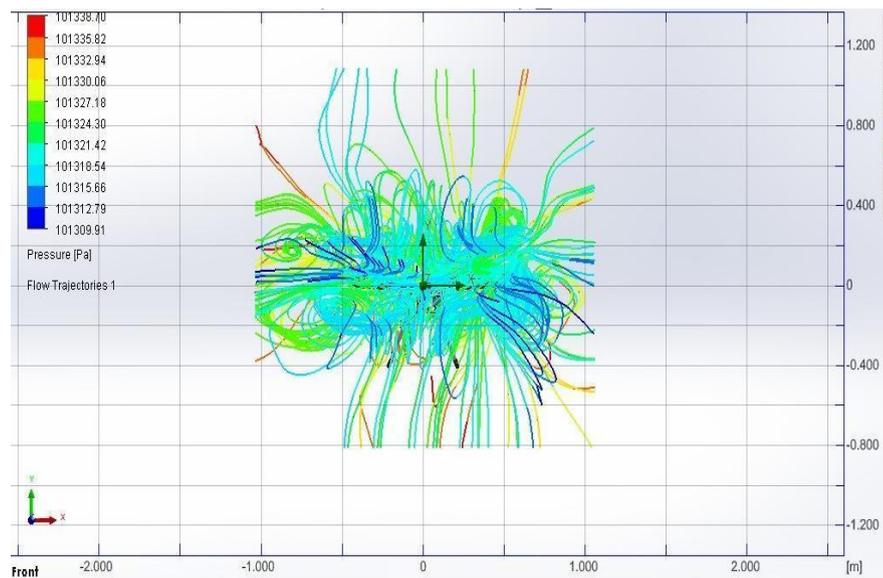
Tabel 3. 2 Setting Parameter

No	Parameter	
1	<i>Setting</i> unit sistem	SI (m-kg-s).
2	Analysis type	External
3	Default fluid	Air (gases)

Tabel 3.2. (Lanjutan)

4	Initial & ambient conditions	Pressure : 101325 Pa ; Temperature : 293.2 K
---	------------------------------	---

Gambar 3.4 menunjukkan hasil simulasi awal yang kami lakukan. Dapat dilihat hasil simulasi menampilkan tekanan udara dengan berbagai warna dimana warna biru tua sampai biru muda adalah kecepatan fluida rendah, warna hijau merupakan kecepatan menengah, dan orange sampai merah merupakan kecepatan tinggi atau maksimal yang dapat dicapai. Dari hasil tersebut akan dilakukan perbaikan terhadap desain struktur dan penempatan hingga hasil simulasi mendekati yang diinginkan serta sesuai dengan kriteria.

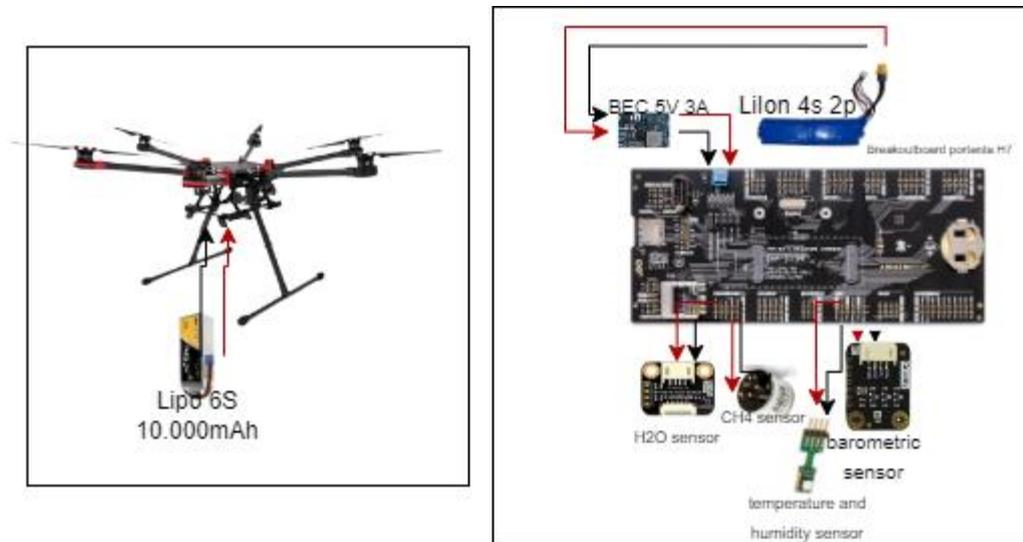


Gambar 3. 4 Airflow pada drone

3.5 Perancangan *Power System* Perangkat

Sumber daya yang digunakan pada perangkat ini adalah *battery*, *battery* yang digunakan untuk drone ialah *battery* LiPo 6s dengan kapasitas 10.000mAh. dan untuk sistem sensor menggunakan *battery* LiIon 4s dengan kapasitas 5.600mAh.

nantinya tegangan dari *battery* akan di sesuaikan dengan kebutuhan sensor dan mikrokontroller menggunakan BEC.



Gambar 3. 5 Skema Perancangan Power System pada Perangkat

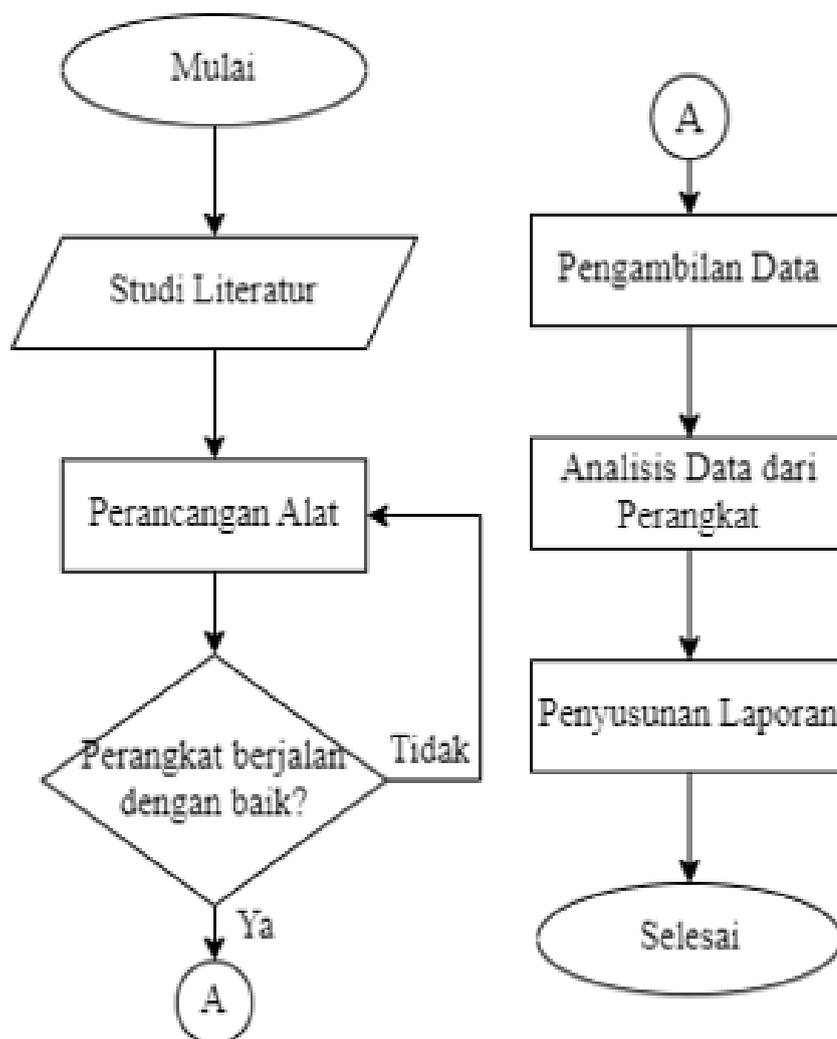
Sistem power pada wahana terbagi menjadi dua sistem yang saling independen berkerja, wahana memiliki *battery* yang terpisah dengan sistem sensor. Setiap komponen pada perangkat membutuhkan tegangan yang berbeda-beda. Seperti pada Gambar 15, dapat kita lihat bahwa tegangan 16V akan dibagi ke masing masing komponen untuk penurunan tegangan sesuai kebutuhan komponen akan menggunakan BEC yang merupakan *battery* eleminating circuit. Untuk komponen *Breakoutboard* Arduino Portenta H7, DFRobot SEN0220, Gravity BMP388 dan *Multi USB/RS232/RS485/TTL Converter* membutuhkan tegangan sebesar 5V. Pada penelitian sebelumnya terukur penggunaan daya sebesar 978mW sehingga pada penelitian kali ini hanya menggunakan satu BEC untuk menurunkan tegangan.

3.6 Skenario Monitoring Konsentrasi Gas Karbon Dioksida (CO_2)

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian perangkat di area terbuka diluar kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP). Perangkat akan melakukan hovering atau terbang di suatu koordinat pada ketinggian 49m yang terukur dengan

IMU selama 15 menit dan melakukan sensing, perangkat akan dinilai apakah perangkat sudah beroperasi dengan baik dan menghasilkan output sesuai dengan variabel yang telah ditentukan.

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 6 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, langkah-langkah penelitian dijelaskan melalui diagram Alir Penelitian, dimulai dengan tahap studi literatur. Studi literatur merupakan proses pencarian, pemahaman, dan pembelajaran dari berbagai sumber pustaka yang relevan dengan penelitian tugas akhir ini. Selama studi literatur, juga dilakukan

diskusi bimbingan untuk mengatasi masalah dan pertanyaan yang muncul selama proses pembelajaran literatur. Selanjutnya, penelitian melanjutkan ke tahap perancangan alat, yang mencakup perancangan semua komponen perangkat dan pembuatan fisik perangkat tersebut.

Setelah perangkat selesai dirancang, langkah berikutnya adalah pengujian. Hasil dari pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja perangkat. Jika hasil pengujian tidak memenuhi ekspektasi, langkah perancangan alat akan direvisi untuk memperbaiki perangkat. Namun, jika hasil pengujian sesuai dengan harapan, penelitian akan melanjutkan ke tahap pengambilan data dari perangkat. Data yang diperoleh selama tahap ini akan dianalisis secara mendalam.

Hasil analisis data digunakan untuk menyusun laporan penelitian skripsi yang mencakup keseluruhan proses penelitian, temuan, dan hasil analisis. Dengan demikian, diagram alir penelitian ini memandu langkah-langkah penelitian dari awal hingga penyampaian hasil dalam bentuk laporan skripsi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang diperoleh pada penelitian “Perancangan *Eddy covariance Aerial System* Sebagai Wahana *Remote Sensing* Konsentrasi Gas Karbon” ini, bisa dilakukan pengambilan kesimpulan sebagai berikut:

1. Perangkat *Eddy covariance Aerial System* berhasil dirancang dan berhasil melakukan *monitoring* gas karbon dioksida (CO_2), gas metana (CH_4), suhu, kelembaban, kadar uap air di udara (H_2O), dan juga data ketinggian. dengan waktu pengambilan data selama 15 menit dan sensing rate sebanyak 5 Hz serta sistem mampu menyimpan data ke *data logger* tanpa mengalami interferensi fluks udara yang dihasilkan oleh propeller, hal ini dapat diamati dari perbedaan data yang ada pada wahana dan juga tower. Namun, untuk melakukan validasi yang lebih akurat mengenai interferensi fluks dibutuhkan data dari 3D anemometer.
2. Konfigurasi perangkat sensor yang di letakkan pada 100cm di atas wahana sangat memengaruhi stabilitas wahana saat melakukan penerbangan, hal ini sampai mengakibatkan wahana mengalami crash, namun hal ini dapat diatasi dengan melakukan *tunning* pada nilai gain flight controller dan melakukan pengurangan bobot pada mounting sensor.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan selanjutnya yaitu: Dibutuhkan perubahan pada struktur dan juga bahan dasar mounting menggunakan 3D printer agar jumlah berat total dapat dikurangi, sehingga hal ini dapat menambah efisiensi sistem.

1. Melakukan kalibrasi sensor agar data yang diambil pada setiap sistem dapat tersinkronisasi dengan baik.
2. Menggunakan flight controller yang compatible dengan software open source agar konfigurasi wahana lebih fleksibel dan dapat dilakukan data logging.
3. Menggunakan sensor 3D anemometer agar mampu memenuhi metode pengukuran *Eddy covariance*, dan menambahkan sensor optical flow agar wahana mampu mempertahankan posisinya dengan presisi. Dilakukan pengujian sistem terhadap perbedaan kondisi alam, seperti pada saat siang dan malam, pada saat cuaca panas dan dingin.
4. Menggunakan metode-metode pengolahan data untuk membuat *forecasting* data dikarenakan kemampuan terbang wahana yang masih belum mampu memenuhi metode pengukuran *Eddy covariance*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hulaibi, H. Wahid, S. Al Saif, and J. Sadeq, "Skybot," 2019.
- [2] Y. Sun, J. Ma, B. Sude, X. Lin, H. Shang, B. Geng, and Z. Quan, "A UAV-based *Eddy covariance system* for measurement of mass and energy exchange of the ecosystem: preliminary results," *Sensors*, vol. 21, no. 2, p. 403, Jan. 2021.
- [3] M. P. Barkley, et al., "A miniature, low-power DFB diode laser spectrometer for application in monitoring and control of the carbon dioxide capture process," *Review of Scientific Instruments*, vol. 89, no. 3, p. 033108, Mar. 2018.
- [4] L. T. Permana, R. Wirawan, And N. Qomariyah, "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Penyerapan Gas Karbondioksida (CO_2) Oleh Tumbuhan Menggunakan Sensor Mh-Z19," *Indonesian Physical Review*, Vol. 4, No. 2, Pp. 86-94, May 2021.
- [5] D. Yakir, "Temporal dynamics of the carbon isotope composition of CO_2 ($\delta^{13}C$) in a C3/C4 grassland," *Oecologia*, vol. 89, no. 3, pp. 371-378, Mar. 1992.
- [6] M. Sadali, Y. K. Putra, L. Kertawijaya, and I. Gunawan, "Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara di Jalan Raya dengan Platform IoT." *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 11-21, Jan. 2022, doi: 10.29408/JIT.V5I1.4384
- [7] M. Seno Sahisnu Virdaus and E. Ihsanto. "Rancang Bangun Monitoring Dan Kontrol Kualitas Udara Dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis Wemos." *J.*

- Teknol. Elektro, vol. 12, no. 1, pp. 22-28, Jan. 2021, doi: 10.22441/JTE.2021.V1211.005
- [8] M. S. Novelan, "Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Menggunakan Mikrokontroler dan Aplikasi Android." *InfoTek Jar J. Nas. Inform. dan Teknol. Jar.*, vol. 4, no. 2, pp. 50-54, 2020.
- [9] M. I. Munabbih, E. D. Widiyanto, Y. E. Windarto, and E. Y. Indrasto, "Rancang Bangun Sistem Pemantau Kualitas Udara menggunakan Arduino dan LoRa Berbasis Jaringan Sensor Nirkabel," *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, pp. 6-14, Mar. 2020, doi: 10.14710/TRANSMISI.22.1.6-14
- [10] G. C. Ulaan, V. C. Poekoel, and A. H. J. Ontowirjo, "Pembuatan Aplikasi Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan," *J. Tek. Inform.*, vol. 17, no. 1, pp. 93-104, Jan. 2022, doi: 10.35793/JTI.17.1.2022.34695.
- [11] F. Tahir, W. Ridwan, and I. Z. Nasibu, "Monitor Kualitas Udara Berbasis Web Menggunakan Raspberry Pi dan Modul Wemos D1," *J. Tek.*, vol. 18, no. 1, pp. 35-44, Jun. 2020, doi: 10.37031/JT.V1811.57.
- [12] K. Pratama and E. B. Setiawan, "Implementasi Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Peramalan Exponential Smoothing dan NodeMCU Berbasis Mobile Android," *Ultim. Comput. J. Sist. Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 58-66, Apr. 2017, doi: 10.31937/SK.V912.656
- [13] D. Baldocchi, "TURNER REVIEW No. 15. 'Breathing' of the terrestrial biosphere: lessons learned from a global network of carbon dioxide flux measurement systems," *Australian Journal of Botany*, vol. 56, no. 1, pp. 1-26, 2008.
- [14] D. Baldocchi et al., "Pengukuran pertukaran karbon dioksida dengan *Eddy covariance* di lahan alfalfa selama dua musim tumbuh," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 43, pp. 3-14, 1988.
- [15] M. Aubinet et al., "Pengukuran fluks CO_2 dengan *Eddy covariance* pada kondisi malam hari: suatu pendekatan untuk menilai dampak adveksi pada

- fluks CO_2 yang diukur,” *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 161, pp. 11-24, 2012
- [16] G. G. Burba and D. J. Anderson, “Introduction to the *Eddy covariance* Method General Guidelines and Conventional Workflow,” *LI-COR Biosciences*, pp. 141, 2007.
- [17] D. Baldocchi, E. Falge, and L. H. Gu, “FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities,” *Bull. Am. Meteor. Soc.*, vol. 82, no. 11, pp. 2415-2434, Nov. 2001.
- [18] M. L. Goulden, J. W. Munger, S. M. Fan, B. C. Daube, and S. C. Wofsy, “Measurements of carbon sequestration by long-term *Eddy covariance*: Methods and a critical evaluation of accuracy,” *Global Change Biology*, vol. 2, no. 3, pp. 169-182, Mar. 1996.
- [19] G. J. Collatz, J. T. Ball, C. Grivet, and J. A. Berry, “Physiological and environmental regulation of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration: a model that includes a laminar boundary layer,” *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 54, no. 2-4, pp. 107-138, Mar. 1991.
- [20] E. Kurniawan, S. Purwanti, and A. C. Nahas, “Analisis *Eddy covariance* Terhadap Fluktuasi Rasio Percampuran CO_2 di Bukit Kototabang,” *Megasains*, vol. 1, no. 3, pp. 119-129, 2010.
- [21] S. Partheepan, F. Sanati, and J. Hassan, “Autonomous Unmanned Aerial Vehicles in Bushfire Management: Challenges and Opportunities,” *Drones*, vol. 7, no. 1, p. 47, Jan. 2023.
- [22] Y. Sun, J. Ma, B. Sude, X. Lin, H. Shang, B. Geng, and Z. Quan, “A UAV-based *Eddy covariance system* for measurement of mass and energy exchange of the ecosystem: preliminary results,” *Sensors*, vol. 21, no. 2, p. 403, Jan. 2021.
- [23] R. Pasaribu, L. Soeprijadi, and D. Sutono, “Kajian Abrasi dan Sedimentasi

dengan Teknologi *Remote sensing* di Pantai Karawang Study of Abrasion and Sedimentation by *Remote sensing* Technology at Karawang Beach,” J. Airaha, vol. 8, no. 2, 2019.

- [24] T. Gunawan, et al., “Fakta Dan Konsep Geografi,” Bekasi, Inter Plus, 2007.
- [25] S. H. Purwadhi, “Interpretasi Gambar Digital,” Jakarta, Grasindo, 2001.
- [26] Y. Xie, Z. Deng, dan T. Pan, "Design of Quadrotor-Based Hexacopter and Simulation," 2019 International Conference on Robotics and Automation Sciences (ICRAS), Beijing, China, 2019, pp. 262-266.
- [27] M. A. Saad, A. Ullah, M. A. Khan, A. F. Al-Fahed, dan M. I. M. Wahab, "Hexacopter Design, Modeling, and Control for Aerial Application," 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Vancouver, BC, Canada, 2017, pp. 2881-2886.
- [28] G. Kemper and G. S. Sukhatme, “*Ground Testing* for reliable UAV designs,” in *Proceedings of the 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Nice, France, 2008, pp. 1256-1263.
- [29] Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., ... & Miller, H. L. (2007). Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.