

**PERANCANGAN PERANGKAT THREE DIMENSIONAL
ANEMOMETER UNTUK PENGUKURAN FLUKS KARBON**

(Skripsi)

Oleh

SETIAWAN MARGO WALUYO

2015031030



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG**

2024

ABSTRAK

PERANCANGAN PERANGKAT THREE DIMENSIONAL ANEMOMETER UNTUK PENGUKURAN FLUKS KARBON

Oleh

Setiawan Margo Waluyo

Interferensi angin memiliki hubungan yang signifikan dengan perubahan iklim, yang merupakan ancaman serius terhadap ekosistem danau global. Dampak langsung perubahan iklim telah mulai terasa pada semua aspek ini. Upaya penanggulangan perubahan iklim saat ini difokuskan pada konsep perdagangan karbon, yang bertujuan untuk menstabilkan tingkat emisi dengan memberlakukan biaya atas setiap emisi yang dilepaskan ke atmosfer. Dalam konteks ini, metode pengukuran karbon yang sangat diakui adalah metode *eddy covariance*, yang digunakan untuk mengukur pertukaran gas antara ekosistem dan atmosfer. Untuk menerapkan metode ini, dibutuhkan setidaknya dua perangkat, yaitu *gas analyzer* dan 3D anemometer. Namun, perangkat untuk pengukuran metode ini, terutama 3D anemometer, memiliki biaya yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun 3D anemometer yang efisien dan lebih terjangkau.

Tujuan utama penelitian ini adalah melakukan pembangunan perangkat pengukur 3D anemometer menggunakan *Airspeed Sensor* serta melakukan akuisisi data pada perangkat tersebut untuk mengukur kecepatan dan arah angin tiga dimensi. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan pembuatan dan aplikasi langsung perangkat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat 3D anemometer berhasil dikonstruksi dengan efisiensi konsumsi daya sebesar 2,2 Wh. Hal ini mencerminkan pencapaian efisiensi baik dalam penggunaan daya maupun aspek ekonomi. Pengujian perangkat fokus pada pengukuran flux karbon selama 7 hari, dengan tingkat keberhasilan mencapai 99,15%, menunjukkan keandalan sistem pengujian yang tinggi. Temuan ini mendukung potensial aplikasi perangkat 3D anemometer dalam pemahaman dan pemantauan proses ekologis yang melibatkan perubahan karbon dioksida di lingkungan.

Kata kunci: Perubahan iklim, Eddy covariance, 3D anemometer, *Carbon trading*

ABSTRACT**PERANCANGAN PERANGKAT THREE DIMENSIONAL
ANEMOMETER UNTUK PENGUKURAN FLUKS KARBON****Oleh****Setiawan Margo Waluyo**

Wind interference has a significant relationship with climate change, which poses a serious threat to the global lake ecosystem. The direct impacts of climate change have begun to be felt in all aspects. Current climate change mitigation efforts are focused on the concept of carbon trading, aimed at stabilizing emission levels by imposing costs on each emission released into the atmosphere. In this context, the widely recognized method for carbon measurement is the eddy covariance method, which is used to measure gas exchange between ecosystems and the atmosphere. To implement this method, at least two devices are required: a gas analyzer and a 3D anemometer. However, devices for measuring this method, especially 3D anemometers, are costly. Therefore, this research aims to design and build an efficient and more affordable 3D anemometer.

The main objective of this research is to construct a 3D anemometer measurement device using an Airspeed Sensor and to acquire data on this device to measure three-dimensional wind speed and direction. The research method used is experimentation with the construction and direct application of the device. The research results show that the 3D anemometer device was successfully constructed with a power consumption efficiency of 2.2 Wh. This reflects good efficiency in power usage and economic aspects. Device testing focused on measuring carbon flux over 7 days, with a success rate of 99.15%, indicating high testing system reliability. These findings support the potential application of the 3D anemometer device in understanding and monitoring ecological processes involving carbon dioxide changes in the environment.

Keywords: Climate change, Eddy covariance, 3D anemometer, Carbon trading

**PERANCANGAN PERANGKAT THREE DIMENSIONAL
ANEMOMETER UNTUK PENGUKURAN FLUKS KARBON**

**Oleh
SETIAWAN MARGO WALUYO**

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

**Pada
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **PERANCANGAN PERANGKAT THREE
DIMENSIONAL ANEMOMETER UNTUK
PENGUKURAN FLUKS KARBON**

Nama Mahasiswa : **Setiawan Margo Waluyo**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2015031030**

Jurusan : **Teknik Elektro**

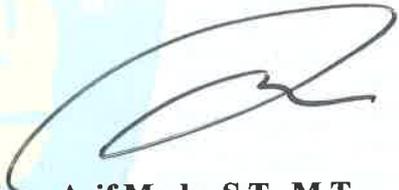
Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Dr.-ing Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.

NIP. 197311281999031005


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

NIP. 197111122000031002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan

Teknik Elektro


Herlinawati, S.T., M.T.

NIP. 19710314 1999032001

Ketua Program Studi

Teknik Elektro


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

NIP. 19740422 2000122001

MENGESAHKAN

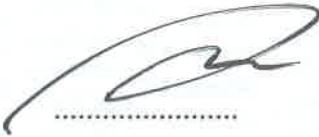
1. Tim Penguji

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.



.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 19750928/2001121002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Januari 2024

SURAT PERTANYAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Setiawan Margo Waluyo

NPM : 2015031030

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi inni tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi akademik sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 Januari 2024



Setiawan Margo Waluyo

NPM. 2015031030

RIWAYAT HIDUP



Saya Lahir di Metro, pada tanggal 22 Desember 2001 sebagai anak sulung dari 2 bersaudara, anak dari bapak Sugiyanto dan ibu Maryanti. Pendidikan Sekolah Dasar diselesaikan di SD Negeri 1 Kragilan pada tahun 2014, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 6 Metro diselesaikan pada tahun 2017, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Metro diselesaikan pada tahun 2020. Pada tahun 2020 saya terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Keputusan memilih Teknik Elektro sebagai jurusan studi saya didasarkan pada ketertarikan yang mendalam terhadap dunia teknologi yang terus berkembang pesat. Saya percaya bahwa menjadi bagian dari perkembangan ini adalah langkah yang tepat untuk mengikuti arus zaman yang terus berubah dan menuntut keahlian di bidang teknologi.

Selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Elektro, saya telah mengalami berbagai mata kuliah yang mendalam mengenai prinsip dasar teknik elektro, pemrograman, dan aplikasi teknologi terkini. Saya juga aktif terlibat dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan yang membantu memperluas wawasan saya di luar kurikulum akademik. Salah satu pengalaman paling berharga saya adalah menjadi bagian dari Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro Unila). Selama dua periode kepengurusan, saya bergabung dengan Departemen Pengembangan Keteknikan (Bangtek), di mana saya aktif berkontribusi dalam berbagai program kerja yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan penerapan ilmu teknik di masyarakat. Keterlibatan saya dalam Himatro Unila tidak berhenti di situ. Pada periode kedua, saya dipercaya untuk memegang posisi sebagai Kepala Divisi Pengabdian Masyarakat di bawah Departemen Bangtek. Dalam peran ini, saya bertanggung jawab dalam merancang dan melaksanakan program-program pengabdian masyarakat yang berdampak positif bagi masyarakat.

Selain itu, saya juga aktif mengikuti berbagai kegiatan seminar, kompetisi, dan proyek di luar kelas sebagai bagian dari komitmen saya untuk terus mengembangkan diri. Di semester 5, saya bergabung dalam tim PPK Ormawa 2022. Dalam pelaksanaan program tersebut, tim PPK Ormawa 2022 yang saya ikuti terlibat dalam sebuah riset untuk mengembangkan sebuah microclimate station. Melalui riset ini, kami bertujuan untuk menciptakan sebuah stasiun pengukuran iklim mikro yang dapat memberikan informasi yang akurat dan relevan mengenai kondisi iklim di lingkungan. Saya juga aktif dalam riset pengembangan perangkat eddy covariance untuk melakukan pengukuran karbon di udara. Dalam proyek ini, saya memegang tanggung jawab dalam perancangan perangkat 3D anemometer, yang merupakan komponen vital dalam sistem tersebut. Partisipasi saya dalam tim ini tidak hanya memberikan saya pengalaman dalam melakukan riset ilmiah, tetapi juga mengasah kemampuan kolaborasi tim, analisis data, dan pemecahan masalah.

Selanjutnya saya mengambil bagian dalam Program Magang dan Studi Independen Bersertifikat (MSIB) Kampus Merdeka yang diselenggarakan oleh Kemendikbudristek. Program ini memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk memperluas pengetahuan dan pengalaman mereka di bidang yang mereka minati. Saya memilih untuk fokus pada bidang data science dan mengambil program studi independen di Hacktiv8. Sebagai bagian dari program ini, kami diberikan tugas-tugas yang relevan dengan bidang data science, seperti analisis data, pemodelan statistik, dan pengembangan algoritma. Selain itu, kami juga diajak untuk terlibat dalam proyek-proyek praktis yang memungkinkan kami untuk mengaplikasikan pengetahuan yang telah kami pelajari.

Semua pengalaman ini telah membentuk saya menjadi individu yang memiliki komitmen, semangat, dan siap untuk menghadapi tantangan di jalur karier teknik saya yang akan datang. Saat ini, saya melihat masa depan dengan optimisme dan tekad yang bulat untuk terus memberikan kontribusi positif dalam bidang teknik elektro, serta berdampak baik bagi masyarakat.

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam kupersembahkan skripsi ini kepada

Kedua Orang Tua Tercinta

Bapak Sugiyanto

Dan

Ibu Maryanti

Serta Kepada Saudara

Keyandra Maulana Setiawan

Yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, dan dorongan moral yang tak terhingga selama perjalanan studi saya. Atas doa dan semangat yang selalu mengiringi setiap langkah saya dalam mengejar mimpi.

Dan juga rekan-rekan

Teknik Elektro Angkatan 2020

HIMATRO UNILA

Yang selalu memberikan dukungan motivasi, kerjasama, dan kekeluargaannya yang luar biasa selama proses studi ini.

MOTTO HIDUP

“Man jadda wajada, siapa yang bersungguh-sungguh pasti akan berhasil.
Man shabara zhafira, Siapa yang bersabar akan beruntung.”
(Ahmad Fuadi, Negeri 5 Menara)

"Jadilah baik. Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berbuat baik."
(Q.S Al Baqarah: 195)

"Hai orang-orang yang beriman, Ingatlah kepada Allah sebanyak-banyaknya."
(Q.S Al-Azhab: 41)

“Tenangkanlah diri dan berbaik sangka, sebab Allah telah mengatur segalanya
dengan sempurna.”
(Fram Han, Jejak Memori)

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala karunia, hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis, sehingga laporan skripsi ini yang berjudul **“Perancangan Perangkat Three Dimensional Anemometer Untuk Pengukuran Fluks Karbon”** dapat selesai tepat pada waktunya. Yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Shalawat serta salam selalu tercurah kepada junjungan seluruh alam, Nabi Muhammad SAW. sahabatnya, serta para pengikutnya yang selalu istiqomah diatas jalan agama islam hingga hari akhir zaman. Selama menjalani pengerjaan Skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan pemikiran maupun dorongan moril dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung, sekaligus Dosen Pembimbing Pendamping.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
5. Bapak Dr. -ing. Ardian Ulvan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama, sekaligus sebagai dosen pembimbing akademik yang telah banyak membimbing, memberi dukungan, dan membantu penulis selama menjalani kuliah.
6. Ibu Dr. -ing. Melvi, S.T.,M.T. selaku Kepala Laboratorium Telekomunikasi dan Teknologi Informasi, sekaligus dosen penguji utama, yang telah banyak membimbing, memberi dukungan, memberikan kritik, saran, dan motivasi yang bermanfaat bagi penulis.

7. Bapak Mona Arif Muda, S.T., M.T. sebagai pembimbing pendamping tugas akhir dan telah banyak membantu.
8. Seluruh Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan
9. Bapak dan Ibu tersayang yang telah memberikan dukungan moril dan materil selama menjalani kuliah.
10. Saudara dan keluargaku tercinta, yang telah memberikan penulis motivasi dan senantiasa memberikan semangat selama berkuliah.
11. Teknik Elektro Angkatan 20, sahabat karibku, kenangan kita bersama yang akan aku kenang selama berjuang dalam masa studi.
12. Sahabat dekat ku tim PPK Ormawa Petengoran dan tim Riset Sawit, yang telah menjadi bagian penting dalam perjuanganku.
13. Keluarga besar HIMATRO UNILA, yang telah menjadi wadah dalam mengembangkan nilai-nilai organisasi bagi penulis.

Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu dan terlibat langsung maupun tidak langsung yang telah membantu penulis dalam pembuatan skripsi.

Semoga Allah SWT membalas semua perbuatan dan kebaikan yang telah diberikan kepada penulis sampai dengan terselesaikannya skripsi ini. Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, baik dari segi penyusunan maupun pemilihan kata. Maka dari itu penulis terbuka menerima masukan kritik dan saran yang dapat membangun penulis kedepannya. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 22 Januari 2024

Setiawan Margo Waluyo
NPM. 2015031030

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
SURAT PERTANYAAN	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
PERSEMBAHAN.....	x
MOTTO HIDUP.....	xi
SANWACANA.....	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Batasan Masalah.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Skematika Penulisan.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Penelitian Terkait.....	7
2.2. Kecepatan dan Arah angin.....	9
2.3. Arduino Potenta H7.....	10
2.4. Protokol I2C	12
2.5. Holybro Digital Air Speed Sensor.....	12

2.6.	I2C Multiplexer	17
2.7.	Real Time Clock (RTC).....	18
2.8.	Data Logger	18
III.	METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1.	Alat dan bahan.....	20
3.2.	Diagram Alir Penelitian.....	22
3.3.	Perancangan Model Prototipe	24
3.3.1.	Desain Perangkat 3D Anemometer	24
3.3.2.	Simulasi Fluida	25
3.3.3.	Pembuatan Kerangka Alat.....	26
3.3.4.	Perancangan PCB.....	26
3.3.5.	Perakitan Alat	29
3.4.	Kalibrasi dan Pengujian Prototype	29
3.5.	Pengumpulan Data	30
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1.	Tingkat keberhasilan pembacaan.....	31
4.2.	Data Hasil dan Visualisasi	32
4.3.	Hasil uji desain	35
4.4.	Konsumsi daya	36
4.5.	Hasil Pengujian RTC	38
V.	PENUTUP	42
5.1.	Kesimpulan	42
5.2.	Saran.....	42
	LAMPIRAN.....	47

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1. Portenta H7.....	11
Gambar 2. 2. Holybro Digital Air Speed Sensor.....	13
Gambar 2. 3. Prinsip kerja pitot airspeed sensor.....	14
Gambar 2. 4. DFRobot Gravity I2C Multiplexer.....	17
Gambar 2. 5. RTC DS3231	18
Gambar 2. 6. SD Card Reader Module	19
Gambar 3. 1. Bagan Riset Utama.....	22
Gambar 3. 2. Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 3. 3. Desain 3D perangkat	25
Gambar 3. 4. Simulasi Fluida.....	25
Gambar 3. 5. Wiring diagram.....	26
Gambar 3. 6. Schematic Diagram	27
Gambar 3. 7. Desain PCB	28
Gambar 3. 8. Tampilan 3D desain PCB	29
Gambar 3. 9. Handheld Anemometer Untuk Kalibrasi	30
Gambar 4. 1. Sensing Rate RM Young Model 81000RE.....	31
Gambar 4. 2. Scatter Plot Sensor Angin dari Arah Timur.....	33
Gambar 4. 3. Scatter Plot Sensor Angin dari Arah Selatan.....	33
Gambar 4. 4. Scatter Plot Sensor Angin dari Arah Barat	34
Gambar 4. 5. Scatter Plot Sensor Angin dari Arah Utara.....	34
Gambar 4. 6. Scatter Plot Sensor Angin dari Arah Bawah.....	34
Gambar 4. 7. Scatter Plot Sensor Angin dari Arah Atas.....	34
Gambar 4. 8. Visualisasi Data Tanpa Spike	35
Gambar 4. 9. Hasil Simulasi Fluida	35
Gambar 4. 10. Pengukuran arus saat perangkat tidak bekerja	37
Gambar 4. 11. Pengukuran arus saat perangkat bekerja	37

Gambar 4. 12. Data Waktu Setelah Kalibrasi RTC	39
Gambar 4. 13. Data Waktu Hari Pertama.....	39
Gambar 4. 14. Data Waktu Hari ke dua	40
Gambar 4. 15. Data Waktu Hari ke Tiga	40
Gambar 4. 16. Data Waktu Hari ke Empat.....	40
Gambar 4. 17. Data Waktu Hari ke Lima.....	40

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1. Spesifikasi Portenta H7	11
Tabel 2. 2. Spesifikasi Holybro Airspeed Sensor	13
Tabel 2. 3. Spesifikasi DFRobot Gravity I2C Multiplexer	17
Tabel 2. 4. Spesifikasi RTC DS3231	18
Tabel 2. 5. Spesifikasi SD Card Reader Module.....	19
Tabel 3. 1. Alat dan bahan.....	20
Tabel 4. 1. Sample data 3D anemometer.....	32
Tabel 4. 2. Jumlah Data Spike.....	35
Tabel 4. 3. Data hasil simulasi fluida	36
Tabel 4. 4. Perkiraan kesalahan waktu RTC DS3231	38
Tabel 4. 5. Data Hasil Pengujian RTC	41

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Angin adalah aliran udara yang bergerak. Fenomena aliran udara ini dapat dilihat dan dirasakan dalam aktivitas sehari-hari. Angin terjadi karena perbedaan tekanan udara antara dua lokasi yang mengakibatkan aliran udara dari wilayah dengan tekanan udara tinggi ke wilayah dengan tekanan udara rendah. Kecepatan angin bervariasi tergantung pada seberapa besar perbedaan tekanan di antara dua lokasi tersebut. Selain tekanan udara, angin juga dapat dipengaruhi oleh perbedaan suhu, di mana udara cenderung mengalir dari wilayah yang lebih dingin ke wilayah yang lebih panas. Perbedaan dalam pemanasan atmosfer oleh matahari yang tidak merata, menciptakan angin global yang bertiup dari daerah dengan lintang yang lebih tinggi ke wilayah sekitar katulistiwa yang menerima radiasi matahari lebih besar [1]. Selain itu, perbedaan suhu antara daratan dan laut juga mempengaruhi pembentukan angin. Pada siang hari, daratan menjadi lebih panas dari pada laut, menghasilkan angin laut yang bergerak dari laut ke daratan. Pada malam hari, laut mempertahankan panas lebih lama daripada daratan, sehingga angin darat bergerak dari daratan ke laut.

Interfensi angin erat kaitannya dengan perubahan iklim. Perubahan iklim merupakan salah satu tantangan paling serius yang dihadapi oleh ekosistem danau global. Berbagai aspek kondisi permukaan danau, seperti pembentukan lapisan es, suhu permukaan, penguapan, dan ketinggian air, menunjukkan respons yang sangat signifikan terhadap ancaman ini, dan perubahan ini telah terjadi selama beberapa dekade terakhir [2]. Laporan dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyoroti bahwa aktivitas manusia telah menyebabkan pemanasan global sekitar 1,0 °C di tingkat pra-industri, dengan kisaran potensial antara 0,8 dan 1,2

°C. Proyeksi dari IPCC menunjukkan kemungkinan besar bahwa pemanasan global dapat mencapai 1,5 °C antara tahun 2030 dan 2052 jika tingkat emisi saat ini tetap bertahan [3].

Perubahan iklim merupakan tantangan dunia. Konsekuensinya mencakup ancaman yang parah tidak hanya terhadap eksistensi dan kesehatan somatik, namun juga terhadap kesehatan mental anak-anak dan remaja. Kesehatan mental dapat terganggu oleh tiga jenis konsekuensi. Konsekuensi langsung dari perubahan iklim, seperti bencana alam, dan konsekuensi tidak langsung, seperti hilangnya lahan, pengungsian dan migrasi, paparan terhadap kekerasan, perubahan lingkungan sosial, ekologi, ekonomi atau budaya [4].

Pada saat ini pengaruh secara langsung terhadap semua aspek ini sudah mulai terasa. Tindakan penanggulangan perubahan iklim saat ini telah difokuskan pada isu perdagangan karbon sebagai solusi. Pemanasan global menjadi sorotan dalam peralihan ke ekonomi rendah karbon. Data empiris menunjukkan bahwa dalam konteks keterbatasan sumber daya dan perlindungan lingkungan, terdapat korelasi positif antara sistem perdagangan karbon dan pergeseran menuju ekonomi rendah karbon. Kolaborasi ini berpotensi menciptakan situasi saling menguntungkan dalam hal manfaat baik untuk lingkungan maupun ekonomi. Produktivitas karbon dianggap sebagai indikator inti untuk mengukur rendah karbon, dan dapat secara langsung mencerminkan peningkatan efisiensi pemanfaatan sumber daya karbon secara keseluruhan dalam perekonomian sosial. Sementara itu, tingkat produktivitas karbon dapat menjadi indikator yang menyeluruh untuk mengevaluasi sejauh mana suatu negara atau entitas telah mengadopsi teknologi rendah karbon dalam suatu periode tertentu, dengan tujuan menilai biaya emisi karbon yang timbul dari pertumbuhan ekonomi. Kenaikan produktivitas karbon mencerminkan hasil yang lebih besar yang dihasilkan dengan tingkat emisi karbon yang lebih rendah. Laju pertumbuhannya dapat digunakan sebagai tolak ukur untuk menilai sejauh mana suatu negara berusaha mengatasi dampak perubahan iklim [5]. Sistem Perdagangan Karbon diterapkan dengan maksud untuk menjaga kestabilan tingkat emisi, melalui penetapan biaya atas setiap emisi yang dilepaskan ke

atmosfer. Pendekatan ini dimaksudkan untuk mengumpulkan sumber daya finansial tambahan yang dapat digunakan untuk mendukung program reklamasi. Program ini melibatkan penilaian setiap potensi kegiatan yang terkait dengan penggunaan energi bahan bakar dan kapasitas penyerapan di wilayah penelitian [6]. Langkah ini dirancang untuk menciptakan insentif keuangan bagi pelaku industri dan entitas untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, sekaligus mendorong investasi dalam proyek reklamasi yang dapat memberikan kontribusi signifikan dalam penanganan dampak perubahan iklim.

Dalam implementasi perdagangan karbon, perangkat pengukuran diperlukan untuk mengukur flux karbon di lingkungan. Salah satu metode yang saat ini sedang dikembangkan adalah metode *eddy covariance*. *Eddy covariance* adalah suatu teknik pengukuran yang umum digunakan di bidang ekologi, meteorologi, dan ilmu lingkungan untuk mengukur pertukaran gas antara suatu ekosistem dan atmosfer. Pendekatan ini melibatkan pengukuran bersamaan terhadap aliran turbulen udara (*eddy*) dan konsentrasi gas tertentu di atas suatu area tertentu, seperti hutan atau lahan pertanian. Dengan memantau fluktuasi kecepatan angin dan konsentrasi gas dalam *eddy* tersebut, kita dapat menghitung sejauh mana ekosistem tersebut menyerap atau melepaskan gas ke atmosfer. Kovariansi Eddy memberikan pemahaman yang mendalam tentang dinamika pertukaran gas, terutama karbon dioksida (CO₂) dan uap air, antara ekosistem dan atmosfer. Data yang dihasilkan dapat digunakan untuk memahami respons ekosistem terhadap perubahan lingkungan, seperti perubahan suhu, kelembaban tanah, dan konsentrasi CO₂ atmosfer [7]. Metode *eddy covariance* mampu menyediakan informasi terkait bagaimana metabolisme suatu ekosistem merespons terhadap berbagai pengaruh biofisika, termasuk cahaya, suhu, hujan, kelembaban tanah, CO₂, fenologi, dan sifat struktural serta fungsional tanaman. Dengan pemantauan yang berkelanjutan selama beberapa dekade, pengukuran ini dapat mendeteksi bagaimana metabolisme keseluruhan ekosistem menanggapi tren sekuler dalam lingkungan, seperti peningkatan konsentrasi CO₂, peningkatan suhu, variasi curah hujan dan kelembaban tanah, deposit nitrogen, fenologi, dan perubahan penggunaan lahan atau perubahan dalam penggunaan lahan. Dengan demikian, penelitian semacam

ini memberikan pemahaman yang mendalam terkait dengan dampak berbagai faktor ini terhadap respon metabolisme ekosistem secara menyeluruh [8].

Dalam kerangka metode *eddy covariance*, minimal dibutuhkan dua perangkat pengukur *flux karbon*, yaitu *gas analyzer* dan 3D anemometer. Pengembangan perangkat ini sedang dilakukan oleh peneliti di Universitas Lampung, yang secara kolaboratif berkontribusi dalam pengembangan hingga saat ini. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam metode-metode baru yang dapat mengakomodasi kebutuhan informasi cuaca yang semakin kompleks dan bervariasi. Untuk memperoleh data pengukuran kecepatan angin dengan akurasi tinggi, penting menggunakan alat ukur yang mampu menghitung kecepatan angin dan arah pergerakan angin, seperti yang dikenal sebagai anemometer. Penggunaan anemometer sebagai perangkat untuk mengukur kecepatan aliran angin di suatu area menjadi krusial. Dalam upaya memahami dan menganalisis kondisi kecepatan angin di suatu lokasi pada waktu tertentu, pemanfaatan perangkat ini sangat penting untuk akuisisi data secara berkala. Hal ini tidak hanya memungkinkan deteksi dini, tetapi juga memprediksi potensi bencana yang dapat timbul akibat angin terutama metode *eddy covariance*. Pada penelitian ini akan merancang bangun 3D anemometer untuk mengukur kecepatan dan arah angin. Dalam konteks penelitian ini, sensor yang akan digunakan untuk merancang 3D anemometer adalah sebanyak 6 unit *Airspeed Sensor*. Sensor tersebut akan diposisikan secara geometris membentuk sumbu koordinat kartesian tiga dimensi. Data yang terkumpul dari masing-masing sensor akan diolah melalui *microcontroller* Arduino Portenta H7, dan hasilnya akan disimpan menggunakan *data logger* pada SD card. Pengembangan perangkat ini memiliki tujuan untuk bekerja secara holistik dan adaptif, mampu menyesuaikan diri dengan lingkungan sekitarnya.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang 3D anemometer menggunakan *Digital Airspeed Sensor*.

2. Bagaimana skenario akuisisi data hasil pengukuran kecepatan dan arah angin dari perangkat 3D anemometer.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pembangunan perangkat pengukur 3D anemometer menggunakan *Digital Airspeed Sensor*.
2. Melakukan akuisisi data pada perangkat pengukur kecepatan dan arah angin *three dimensional*.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sensor yang digunakan untuk melakukan pengukuran adalah *Digital Airspeed Sensor*.
2. Perangkat kendali yang digunakan adalah *microcontroller*
3. *Sensing rate* dari sensor pada perangkat 3D anemometer adalah 7 Hz sehingga didapatkan sebanyak 7 data setiap detik.
4. Data hasil pengukuran hanya disimpan kedalam data logger berupa SD Card menggunakan *SD Card Reader Module*.

1.5. Manfaat Penelitian

Membantu dalam melakukan perekaman data kecepatan dan arah angin guna mengetahui kondisi keadaan angin di lingkungan.

1.6. Skematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada tugas akhir ini terdiri dari lima bab yaitu sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab I Pendahuluan berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab II tinjauan pustaka berisi mengenai teori yang berkaitan dan yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab III metodologi penelitian berisi mengenai informasi berkenaan tentang waktu dan tempat penelitian, peralatan yang digunakan, tahapan penelitian, skenario penelitian dan hasil yang diharapkan.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV hasil dan pembahasan berisi tentang hasil dan pembahasan dari penelitian

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab V kesimpulan dan saran berisi mengenai kesimpulan dan saran setelah penulis selesai melakukan penelitian ini yang berdasarkan dari hasil dan pembahasan yang telah didapat.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait

2.1.1. Measuring 3D Indoor Air Velocity Via an Inexpensive Low Power Ultra Sonic Anemometer

Penelitian ini dilakukan oleh Edward Arens, dkk pada tahun 2019. Penelitian ini menggambarkan pengembangan sebuah anemometer yang dapat mengukur kecepatan udara dan arahnya dalam tiga dimensi. Anemometer ini memanfaatkan teknologi sistem mikro-elektromekanik (MEMS) ultrasonik untuk mengukur jarak. Anemometer ini menggunakan susunan tetrahedral yang terdiri dari empat pemancar-penerima (*transceiver*), yang merupakan jumlah terkecil yang dapat mengukur aliran udara dalam tiga dimensi. Susunan ini memberikan tingkat redundansi pengukuran yang lebih besar jika dibandingkan dengan anemometer-anemometer yang sudah ada. Anemometer ini memiliki resolusi dan ambang batas awal sebesar 0.01 m/s, dengan kesalahan kecepatan udara mutlak sebesar 0.05 m/s. Anemometer ini juga memiliki kemampuan untuk mengukur suhu, memiliki kompas, dan sensor kemiringan, sehingga arah aliran udara dapat direferensikan secara global terlepas dari orientasi anemometer.

2.1.2. Novel wind measurement via thermoelectric anemometer

Penelitian ini fokus pada pengembangan metode inovatif untuk mengukur kecepatan angin menggunakan alat yang disebut termoelektrik anemometer. Prinsip yang mendasari penelitian ini adalah penerapan efek Seebeck untuk mengukur koefisien transfer panas konvektif yang terjadi ketika udara mengalir melintasi dua modul termoelektrik yang telah ditanamkan di dinding vertikal dan dinding horizontal di dalam saluran udara yang berukuran kecil. Penelitian ini

mempertimbangkan pentingnya pengukuran kecepatan angin, karena tingkat koefisien transfer panas konvektif sangat dipengaruhi oleh seberapa cepat angin bergerak. Untuk mengukur kecepatan angin secara akurat, para peneliti secara sistematis memanfaatkan tegangan Seebeck yang dihasilkan oleh modul termoelektrik. Dalam upaya untuk menguji dan memvalidasi metode ini, sebuah prototipe termoelektrik anemometer dikembangkan dan diuji coba di dua lingkungan yang berbeda, yaitu dalam sebuah *wind tunnel* (saluran angin) serta di lapangan terbuka. Hasil eksperimen mengkonfirmasi bahwa pengukuran kecepatan angin yang diperoleh dari termoelektrik anemometer ini cukup sejalan dengan hasil pengukuran konvensional yang dilakukan baik di dalam *wind tunnel* maupun di lapangan terbuka. Penelitian ini memperkenalkan pendekatan yang inovatif dan berpotensi efektif untuk mengukur kecepatan angin dengan memanfaatkan efek Seebeck dan teknologi termoelektrik. Dengan hasil yang meyakinkan dalam eksperimen, metode ini memiliki potensi untuk menjadi alat yang berguna dalam pemantauan kecepatan angin dalam berbagai konteks, termasuk dalam penelitian meteorologi atau aplikasi industri.

2.1.3. Measuring Air Speed With a Low-Power MEMS Ultrasonic Anemometer via Adaptive Phase Tracking

Penelitian ini menjelaskan pentingnya memahami pergerakan udara dalam ruangan dan dampaknya pada berbagai aspek penting bangunan, seperti sirkulasi udara, kualitas udara, kenyamanan penghuni, aspek keamanan terkait kebakaran, serta efisiensi energi. Penelitian ini menjawab kesulitan yang selama ini dihadapi dalam pengukuran pergerakan udara yang akurat, khususnya pada kecepatan udara yang rendah, di bawah 1 m/s. Selain itu, penelitian ini mencoba memanfaatkan teknologi dalam bentuk *transceiver* ultrasonik frekuensi tinggi yang diproduksi melalui sistem mikro-elektromekanik (MEMS) untuk membuat pengukuran menjadi lebih sensitif dan terjangkau. Anemometer ini diuji dalam *wind tunnel* dengan rentang kecepatan udara antara 0 hingga 4 m/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma pelacakan dengan *filter low-pass* dapat mengukur kecepatan udara dengan sensitivitas dan akurasi yang tinggi (kesalahan mutlak rata-rata sebesar 0.026 m/s). Hasil dari penelitian ini adalah teknologi anemometer berbasis pulsa

yang menggunakan transceiver ultrasonik frekuensi tinggi yang dapat mengukur kecepatan dan suhu udara dalam rentang suhu dan kecepatan yang lebih luas.

2.2. Kecepatan dan Arah angin

Dalam ilmu meteorologi dan ilmu lingkungan, arah angin dan kecepatan angin sangat penting untuk memahami perilaku angin karena keduanya membentuk sifat dan pengaruh angin di berbagai tempat dan kondisi. Kecepatan angin merujuk pada sejauh mana udara bergerak dalam satuan waktu tertentu. Kecepatan angin dapat diukur dalam berbagai satuan, seperti kilometer per jam (km/jam) atau meter per detik (m/detik). Ini memberikan kita informasi tentang tingkat energi kinetik yang dimiliki oleh udara yang bergerak. Kecepatan angin merupakan komponen penting dalam meteorologi dan ilmu lingkungan karena mempengaruhi berbagai aspek cuaca dan lingkungan, termasuk pertukaran massa dan energi antara permukaan bumi dan atmosfer. Kecepatan angin merupakan faktor penting dalam menentukan pola cuaca, seperti pembentukan badai, angin topan, dan tornado [9]. Selain itu, kecepatan angin juga berpengaruh pada pertukaran massa dan energi antara permukaan bumi dan atmosfer. Kecepatan angin yang tinggi dapat membawa energi panas dari satu tempat ke tempat lain, mempengaruhi suhu di berbagai wilayah. Selain itu, melalui pergerakan udara yang dihasilkan, kelembapan juga dapat didistribusikan di seluruh dunia, mempengaruhi kondisi iklim dan cuaca. Di bidang lingkungan, peran kecepatan angin juga sangat penting dalam studi polusi udara. Kecepatan angin dapat mengangkut polutan, seperti partikel debu, asap, dan gas, dalam jarak yang jauh dari sumber asalnya [10]. Ini berarti bahwa polusi yang dihasilkan di satu tempat dapat dengan mudah menyebar ke wilayah yang lebih luas, memengaruhi kualitas udara dan kesehatan manusia di berbagai lokasi.

Adapun arah angin, yang mana lebih mengacu pada arah dari mana angin bertiup. Arah angin diukur dalam derajat searah jarum jam dari utara, dan sering diwakili dengan mata angin (misalnya, utara, selatan, barat, timur, atau arah yang lebih tepat seperti barat laut, tenggara, dan sebagainya). Mengetahui arah angin penting karena ini membantu kita memahami pola aliran udara di berbagai lokasi. Arus angin

cenderung mengikuti pola tertentu, seperti aliran dari darat ke laut pada siang hari (angin darat) dan dari laut ke darat pada malam hari (angin laut) [1]. Arah angin juga memengaruhi aspek seperti polusi udara, karena polutan yang dihasilkan di satu tempat akan terbawa oleh arah angin.

Secara keseluruhan, kecepatan angin dan arah angin adalah dua komponen esensial untuk membentuk dinamika angin yang mengatur cuaca dan lingkungan. Memahami hubungan antara keduanya membantu kita memprakirakan, mengelola, dan merespons perubahan cuaca dan iklim yang terjadi di seluruh dunia. Oleh sebab itu dalam penelitian ini kecepatan dan arah angin akan menjadi objek observasi dan monitoring menggunakan perangkat 3D Anemometer.

2.3. Arduino Potenta H7

Microcontroller development board Arduino Portenta H7 dibuat dan dirancang oleh Arduino, yang telah lama dikenal sebagai industri mikrokontroler ternama. Arduino Portenta H7 yang ditampilkan pada gambar 2.1 merupakan *development board* yang sangat kuat dan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Prosesor dual core STM32H747 di Portenta H7 menggabungkan Cortex® M7 berkecepatan tinggi (480 MHz) dan Cortex® M4 (240 MHz). Pada *development board* ini terdapat mekanisme *Remote Procedure Call* memungkinkan kedua core berkomunikasi satu sama lain, yang memungkinkan pemanggilan fungsi pada prosesor lain dengan mudah. *Remote Procedure Call* (RPC) adalah salah satu mekanisme komunikasi yang krusial dalam dunia mikrokontroler dan pengembangan perangkat terkoneksi. RPC memungkinkan berbagai perangkat, terutama mikrokontroler, untuk berkomunikasi dan berkoordinasi secara efisien [11]. Penerapan RPC pada mikrokontroler dapat dilakukan melalui berbagai protokol komunikasi, seperti UART, SPI, dan I2C, tergantung pada kebutuhan aplikasi.



Gambar 2. 1. Portenta H7

Arduino Portenta H7 dilengkapi dengan WiFi dan Bluetooth yang memungkinkan integrasi yang mudah dengan jaringan dan perangkat lainnya. Portenta H7 juga memiliki daya komputasi yang luar biasa, menjadikannya cocok untuk menjalankan aplikasi yang membutuhkan kinerja tinggi, seperti pembelajaran mesin dan pemrosesan gambar, sehingga dapat digunakan untuk mengembangkan berbagai aplikasi yang kompleks dan mengambil keuntungan dari kemampuan pemrosesan yang kuat [12]. Portenta H7 dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pengendalian peralatan industri, eksperimen laboratorium, aplikasi komputer vision seperti pengenalan objek dan pelacakan gerakan, PLC (Programmable Logic Controller), antarmuka pengguna industri, pengendalian robot, sistem keamanan, hingga digunakan sebagai komputer stasioner. *Microcontroller development board* Arduino Portenta H7 sangat serbaguna dan kuat dan cocok untuk berbagai kebutuhan riset dan aplikasi yang membutuhkan konektivitas yang handal dan daya komputasi tinggi dengan spesifikasi dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Spesifikasi Portenta H7

Microcontroller	STM32H747XI dual Cortex®-M7+M4 32bit low power Arm® MCU
Board Power Supply	5V
Supported Battery	Li-Po Single Cell, 3.7V, 700mAh Minimum
Operational Temperature	-40 °C to +85 °C

2.4. Protokol I2C

Komunikasi I2C, singkatan dari "*Inter-Integrated Circuit*" adalah salah satu protokol komunikasi serial yang paling umum digunakan dalam mikrokontroler dan perangkat elektronik. Protokol ini dikembangkan oleh Philips (sekarang NXP Semiconductors) dan digunakan secara luas karena kelebihanannya dalam menghubungkan berbagai perangkat dalam sistem elektronik [13]. I2C adalah sistem komunikasi yang berbasis *master-slave*, yang berarti ada satu perangkat master yang mengontrol komunikasi dengan beberapa perangkat *slave*. Setiap perangkat di jaringan memiliki alamat unik yang digunakan oleh master untuk mengidentifikasinya saat berkomunikasi. Salah satu keunggulan utama I2C adalah kemampuannya untuk menghubungkan banyak perangkat dengan hanya dua jalur sinyal, yaitu SDA (*Serial Data*) dan SCL (*Serial Clock*). SDA adalah jalur yang digunakan untuk mengirim dan menerima data, sedangkan SCL adalah jalur yang mengatur waktu komunikasi. Selain itu, I2C mendukung transfer data dengan berbagai kecepatan, memungkinkan fleksibilitas dalam menghubungkan perangkat dengan berbagai tingkat kecepatan yang dibutuhkan. Kecepatan transfer data dari protokol I2C ditentukan oleh besar clock speed yang digunakan pada jalur SCL line. Kecepatan clock standar yang diberikan pada jalur SCL line pada I2C sebesar 100 KHz. Philips sebagai pencipta protokol I2C ini membuat standar kecepatan I2C lainnya yaitu Fast Mode yang mempunyai kecepatan clock sebesar 400 KHz dan High Speed Mode yang mempunyai kecepatan hingga sebesar 3.4 MHz. Protokol ini juga mendukung transfer data dalam bentuk paket, yang memungkinkan pengiriman data yang lebih terstruktur [14]. Oleh karena itu, I2C menjadi salah satu pilihan utama dalam menghubungkan sensor, EEPROM, display, dan berbagai perangkat lain dalam proyek-proyek elektronik dan mikrokontroler.

2.5. Holybro Digital Air Speed Sensor

Pada gambar 2.2 menampilkan Holybro Digital Air Speed Sensor yang merupakan sebuah perangkat sensor yang dirancang untuk mengukur kecepatan aliran udara secara akurat karena sensor ini memiliki tingkat ofset yang sangat rendah, resolusi yang tinggi. Sensor ini bekerja dengan mengukur seberapa cepat udara bergerak di

sekitarnya, dan hasil pengukuran ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan pemahaman tentang kecepatan udara.



Gambar 2. 2. Holybro Digital Air Speed Sensor

Salah satu fitur kunci dari Holybro Digital Air Speed Sensor adalah kemampuannya untuk memberikan data dalam bentuk output digital. Artinya, sensor ini menghasilkan data dalam format sinyal digital yang dapat dengan mudah diinterpretasikan oleh perangkat atau sistem lainnya. Keuntungan dari output digital adalah keakuratan dan keandalannya yang tinggi, sehingga data yang dihasilkan oleh sensor ini dapat diandalkan. Sensor ini menggunakan sensor *Measurement Specialties 4525DO* yang sangat akurat, spesifikasi pada tabel 2.2 menunjukkan rentang pengukuran 1 psi, setara dengan sekitar 100 m/s, 360 km/jam, atau 223 mph. Kelebihan sensor ini adalah resolusi yang luar biasa, mencapai 0,84 Pa yang mana dapat dicapai melalui penyampaian data sebanyak 14 bit dari ADC delta-sigma 24 bit, sehingga memastikan pengukuran yang sangat akurat [15]. Dalam dunia *Internet of Things (IoT)* dan teknologi terkait, keandalan dan akurasi seperti ini sangat penting untuk menghadirkan solusi yang efisien dan handal.

Tabel 2. 2. Spesifikasi Holybro Airspeed Sensor

Operating Voltage	5V
I2C Address	0x28H
Measurement Range	1 psi (up to 100 m/s, 360 km/h, 223 mph)
Data Output	14 bits

Sensor ini bekerja dengan mengukur tekanan total dan tekanan statis udara. Tabung Pitot, yang terdiri dari tabung koaksial, memiliki bagian dalam yang mengukur tekanan total dan bagian luar yang mengukur tekanan statis seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.3. Sensor ini juga dapat dilengkapi dengan sensor statis terpisah (MS4525DO). Tekanan total diukur oleh sensor Pitot, sementara tekanan statis diukur oleh saluran keluar lateral atau tabung bagian luar. Perbedaan antara tekanan total dan tekanan statis memberikan tekanan dinamis, yang digunakan untuk menghitung kecepatan udara menggunakan rumus Bernoulli,

$$P_t = P_s + \frac{1}{2} \rho \left(\frac{\Omega}{k} \right)^2$$

Keterangan :

P_t = Tekanan total

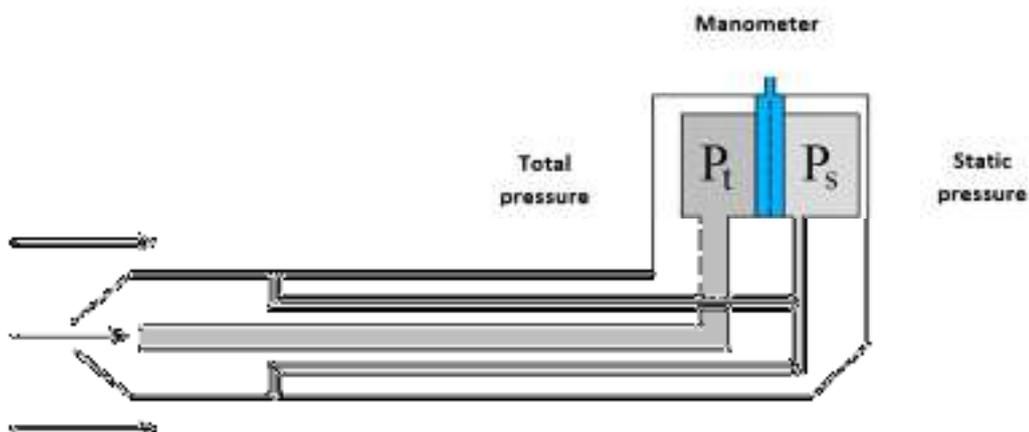
P_s = Tekanan statik

ρ = Kerapatan aliran

Ω = Kecepatan rata-rata aliran

k = Koefisien aliran

Manometer digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan antara tekanan total dan tekanan statis, sehingga memberikan nilai tekanan dinamis[16]. Dengan demikian, sensor Pitot memberikan informasi tentang kecepatan udara dengan mengukur perbedaan tekanan yang dihasilkan oleh gerakan udara.



Gambar 2. 3. Prinsip kerja pitot airspeed sensor

Sensor ini dapat diintegrasikan ke dalam berbagai aplikasi yang melibatkan pengukuran kecepatan udara. Meskipun sering digunakan dalam dunia drone atau UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) untuk membantu mengontrol kecepatan selama penerbangan, sensor ini juga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi lainnya. Contohnya termasuk pengendalian sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) untuk menjaga suhu udara yang nyaman, serta dalam aplikasi industri untuk memantau aliran udara dalam proses produksi. Pada penelitian ini Holybro Digital Air Speed Sensor diimplementasikan pada perangkat 3D anemometer dengan menggunakan 6 buah sensor yang disusun membentuk sumbu koordinat kartesian 3 dimensi, sehingga dapat mengukur kecepatan angin pada 6 arah dalam satu waktu yang sama (atas, bawah, utara, selatan, barat, timur). Penting untuk dicatat bahwa pengukuran kecepatan udara yang akurat adalah kunci untuk menjaga keselamatan dan kinerja optimal dalam berbagai aplikasi. Misalnya, dalam penerbangan drone, data kecepatan udara membantu menghindari kondisi stall dan menjaga kontrol yang baik selama penerbangan. Oleh karena itu, Holybro Digital Air Speed Sensor adalah alat yang penting dalam banyak situasi di mana pemahaman tentang aliran udara sangat diperlukan.

Adapun metode pengukuran kecepatan angin yang lain seperti dengan menggunakan sensor ultrasonik. Anemometer ultrasonik menggunakan sinyal gelombang ultrasonik untuk mengukur kecepatan udara. Anemometer ultrasonik bekerja berdasarkan prinsip pengukuran waktu tempuh (TOF) suara frekuensi tinggi yang dipancarkan dari satu transceiver dan diterima oleh transceiver kedua. TOF diukur dengan memancarkan pulsa suara dan menerima kembali pulsa tersebut. Perbedaan waktu antara kedua transmisi ini memungkinkan anemometer untuk menentukan pengaruh pergerakan udara sepanjang jalur antara transceiver. TOF dipengaruhi oleh kecepatan suara dalam udara, yang terutama bergantung pada suhu, serta kecepatan udara yang menambah atau mengurangi kecepatan suara dalam jalur antara transceiver. Keberadaan pergerakan udara memiliki efek yang berlawanan terhadap TOF, di mana TOF mengalami penurunan dalam arah yang sama dengan aliran udara, sementara mengalami peningkatan dalam arah yang berlawanan. Untuk menghitung kecepatan udara, rumus melibatkan TOF dan jarak

antara sepasang transceiver. Prinsip ini menjadikan anemometer ultrasonik sebagai alat yang efektif untuk mengukur kecepatan udara dengan memanfaatkan sifat perambatan suara dalam udara. Kelebihan utama anemometer ultrasonik adalah sedikit bagian yang bergerak, sehingga mengurangi keausan dan memungkinkannya bekerja tanpa terhambat oleh kotoran [17].

Selain itu pengukuran kecepatan udara juga dapat menggunakan metode termoelektrik. Anemometer termoelektrik menggunakan perbedaan suhu antara elemen pemanas dan elemen pendingin untuk mengukur kecepatan udara. Prinsipnya melibatkan konveksi udara yang merespon perubahan suhu, dan perbedaan suhu ini diukur untuk menghitung kecepatan udara. Berdasarkan efek Seebeck, modul termoelektrik dapat digunakan untuk menentukan koefisien transfer panas konvektif dari permukaan modul termoelektrik ke aliran udara seiring waktu. Efek Seebeck merupakan fenomena fisika yang mendeskripsikan terjadinya perbedaan potensial listrik pada dua ujung material konduktor ketika suhu pada ujung-ujung tersebut berbeda. Dalam konteks modul termoelektrik yang digunakan untuk mengukur koefisien transfer panas konvektif, efek Seebeck menjadi fundamental karena menyediakan dasar untuk mengekstraksi informasi tentang transfer panas dari suatu permukaan ke aliran udara.

Modul termoelektrik, yang terdiri dari dua jenis material konduktor yang berbeda, memanfaatkan efek Seebeck untuk mengonversi perbedaan suhu antara permukaan modul dan udara sekitarnya menjadi perbedaan potensial listrik. Ketika aliran udara melewati modul termoelektrik, perubahan suhu dan kecepatan udara menghasilkan perubahan dalam koefisien transfer panas konvektif. Informasi ini kemudian dapat diekstraksi dari perbedaan potensial listrik yang dihasilkan oleh efek Seebeck [18]. Kelebihan dari anemometer termoelektrik juga memiliki ketahanan terhadap aus. Namun, akurasi pengukuran dapat dipengaruhi oleh fluktuasi suhu lingkungan, dan kisaran kecepatan udara yang dapat diukur terbatas pada rentang tertentu.

2.6. I2C Multiplexer

I2C Multiplexer, atau yang juga dikenal sebagai Mux I2C, adalah sebuah perangkat yang secara khusus dirancang untuk menangani potensi konflik alamat dalam konteks komunikasi menggunakan protokol I2C (*Inter-Integrated Circuit*). Umumnya, protokol I2C memungkinkan sejumlah perangkat untuk berkomunikasi melalui satu jalur bus tunggal, sebuah pendekatan yang efisien namun dapat menimbulkan kesulitan ketika dua atau lebih perangkat memiliki alamat I2C yang serupa. Dalam mengatasi kendala ini, I2C Multiplexer muncul sebagai solusi. Perangkat ini dirancang dengan tujuan utama untuk menangani konflik alamat, memungkinkan sejumlah perangkat yang sebelumnya tidak dapat berbagi jalur I2C karena memiliki alamat yang sama, untuk beroperasi bersama-sama tanpa mengalami interferensi. Dalam penelitian ini, I2C Mux yang digunakan adalah DFRobot Gravity: I2C Multiplexer yang ditampilkan pada gambar 2.4. Multiplexer ini dilengkapi dengan 8 port I2C, memungkinkan pengguna untuk menghubungkan hingga 8 perangkat dengan alamat I2C yang sama ke satu port I2C seperti yang dicantumkan pada tabel spesifikasi 2.3. Alamat I2C default pada multiplexer adalah 0x70, namun dapat diubah sesuai kebutuhan dalam rentang 0x70 hingga 0x77 [19].



Gambar 2. 4. DFRobot Gravity I2C Multiplexer

Tabel 2. 3. Spesifikasi DFRobot Gravity I2C Multiplexer

Operating Voltage	3.3 - 5.0 Volt
Interface Protocol	I2C(IIC)
I2C Clock Rate	100K, 400K
I2C Port Quantity	8
I2C Address Range	0x70 - 0x77
Dimension	32*32mm / 1.26*1.26in

2.7. Real Time Clock (RTC)

RTC (*Real Time Clock*) adalah sebuah perangkat modul yang bertugas melaksanakan fungsi pelacakan waktu dan tanggal secara real-time. Modul ini mampu beroperasi secara mandiri, yang berarti memiliki sumber daya sendiri dan tidak tergantung pada mikrokontroler yang sedang digunakan. Dengan kata lain, pengaturan waktu yang telah dilakukan pada saat pertama kali akan terus berjalan bahkan ketika modul ini tidak terhubung dengan sumber daya listrik apa pun. Dalam konteks penelitian ini, RTC digunakan untuk mengatur pengiriman data agar dapat dijadwalkan dengan lebih teratur. RTC Module yang digunakan pada penelitian ini adalah RTC DS3231 yang ditampilkan pada gambar 2.5. DS3231 dikenal karena tingkat akurasi yang sangat tinggi dalam melacak waktu. Kesalahan waktu yang umumnya rendah membuatnya cocok untuk aplikasi yang membutuhkan presisi waktu yang baik [20]. Adapun spesifikasi dari RTC DS3231 ditampilkan pada tabel 2.4.



Gambar 2. 5. RTC DS3231

Tabel 2. 4. Spesifikasi RTC DS3231

Operating Voltage	2.7 V - 5.5 V
Voltage Supply for RTC	2.2 V ~ 5.5 V
I2C interface	Fast (400kHz) I2C Interface
Operating Temperature Range	-40°C to 85°C
Dimensions in mm (LxWxH)	38 x 22 x 14

2.8. Data Logger

Alat pengumpul data atau yang lebih dikenal sebagai Data Logger merupakan perangkat elektronik yang dirancang untuk merekam dan menyimpan data secara

kontinyu dari waktu ke waktu. Perangkat ini memanfaatkan memori eksternal untuk menyimpan informasi yang dikumpulkan dari berbagai sensor. Data Logger ini umumnya dilengkapi dengan soket kartu SD (*Secure Digital*) untuk menyimpan data dengan kapasitas yang cukup besar seperti yang terlihat pada gambar 2.6. Dengan menggunakan teknologi modul kartu SD, perangkat ini dapat dengan efisien menyimpan dan mengelola data yang dihasilkan oleh sensor-sensor yang terhubung. Spesifikasi dari SD Card Reader Module ditampilkan pada tabel 2.5.



Gambar 2. 6. SD Card Reader Module

Tabel 2. 5. Spesifikasi SD Card Reader Module

Tegangan kerja	3.3V – 5.5V
Penyimpanan	Micro SD atau MicroSDHC
Komunikasi Data	SPI
Fungsi	Penyimpanan Data

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan tempat Penelitian

Pengerjaan tugas akhir ini dilakukan pada bulan Juli 2023 sampai dengan Januari 2024 yang bertempat di Laboratorium Telekomunikasi dan Teknologi Informasi (Telti) Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2. Alat dan bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada proses pengerjaan tugas akhir ini tertulis pada tabel 3.1.

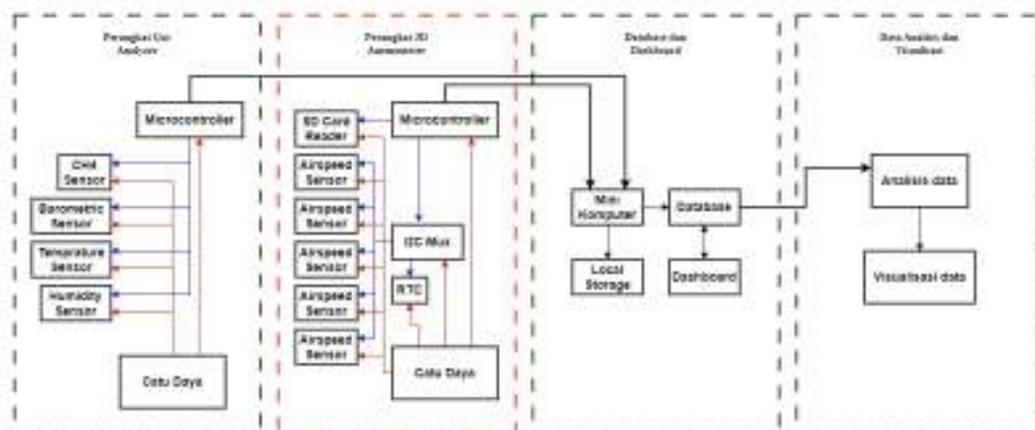
Tabel 3. 1. Alat dan bahan

No	Komponen	Fungsi atau kegunaan
1	Laptop, dengan rincian spesifikasi: <ul style="list-style-type: none"> - Processor : Intel Core i5 7200U-2.5Ghz - Memori : 8 GB DDR4 - Kartu Grafis : Intel HD Graphics 620 & Nvidia GT940MX-2GB DDR5. 	Digunakan untuk melakukan pengkodean pada <i>microcontroller</i> , dan juga sebagai serial monitor untuk melihat luaran (output) program.
2	Arduino IDE (versi 2.2.1)	Software ini digunakan untuk menulis kode program, mengunggah program ke microcontroller, dan berinteraksi dengan board microcontroller.

3	Kabel USB Type A to Type C	Menghubungkan antaran microcontroller dengan laptop, koneksi ini diperlukan untuk melakukan upload kode program dan menjadikan laptop serial monitor.
4	Arduino Portenta H7	Komponen ini adalah otak dari perangkat yang akan dibuat, dan mengontrol semua jalannya program pada perangkat.
5	DFR0576 Gravity Digital 1-to-8 I2C Multiplexer	Komponen ini digunakan untuk menghubungkan lebih banyak perangkat I2C ke satu bus I2C. Dengan 8 port I2C, memungkinkan untuk menghubungkan hingga 8 perangkat I2C. Multiplexer ini juga digunakan untuk menghindari konflik alamat I2C dan memperluas jaringan I2C.
6	Holybro Airspeed Sensor	Komponen ini digunakan sebagai sensor utama dalam melakukan pengukuran kecepatan angin.
7	DS3231 Mini RTC Module	Komponen yang digunakan untuk menghitung waktu dan menghasilkan data timestamp.
8	Micro SD Card Reader Module	Sebagai data logger yang digunakan untuk menyimpan data dalam memory SD Card.
9	Display OLED Module 0.96 Inch	Komponen ini digunakan untuk menampilkan luaran program, dan juga sebagai indikator apakah perangkat bekerja atau tidak.

10	Buck Boost Converter	Berfungsi sebagai penaik atau penurun tegangan.
11	Pipa stainless steel ukuran diameter 19,05 mm (3/4 Inch)	Sebagai tiang penyangga casing atau body utama perangkat.
12	Pelat stainless steel tebal 1,2 mm	Sebagai bahan dasar casing atau body utama perangkat.
13	Kipas angin	Digunakan untuk melakukan kalibrasi perangkat.
14	Handheld anemometer	Digunakan untuk melakukan kalibrasi perangkat.

3.3. Diagram Alir Penelitian



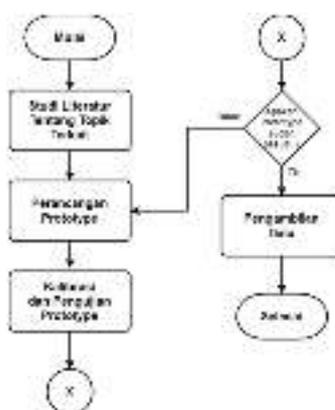
Gambar 3. 1. Bagan Riset Utama

Pada gambar 3.1 ditampilkan bagan utama penelitian yang menunjukkan bahwa topik penelitian tugas akhir ini merupakan salah satu bagian dari proses riset utama yaitu Monitoring dan Controlling Keseimbangan Emisi karbon Perkebunan Kelapa Sawit di Lahan Gambut dan Non-Gambut Dengan Metode Kecerdasan Buatan. Riset utama yang dimaksudkan terbagi kedalam beberapa subtopik penelitian diantaranya adalah perangkat gas analyzer, perangkat 3D anemometer, website dashboard, data analisis. Perangkat gas analyzer terdiri dari Sensor Winsen MH-441D, Sensor SHT85, Sensor BMP388, Sensor DHT22, dan Sensor SEN0220.

Sehingga didapatkan Perangkat system monitoring gas yang dapat melakukan monitoring konsentrasi CO₂ dan metana dalam udara, kadar uap air di udara, suhu dan kelembaban udara. Dengan kecepatan sensing 6 Hz serta mampu mengirimkan data ke data logger. Kemudian subtopik 3D anemometer dikerjakan pada penelitian tugas akhir ini. Telah dilakukan perancangan perangkat 3D anemometer sebagai alat pengukur kecepatan angin dan fluks udara dalam proses monitoring emisi karbon. Perangkat 3D anemometer yang telah dirancang memiliki sensing rate yang optimal pada 8 Hz serta mampu melakukan penyimpanan data ke data logger. Dalam pelaksanaan riset utama data logger yang digunakan adalah cloud database menggunakan PostgreSQL, akan tetapi pada penelitian tugas akhir ini perangkat 3D anemometer menggunakan data logger berupa SD card. Perbedaan metode penyimpanan data ini dikarenakan perangkat 3D anemometer pada tugas akhir ini masih bersifat mandiri dan belum terintegrasi ke dalam sistem utama, sehingga tidak terhubung ke internet dan database. Dalam riset utama data yang didapatkan dari cloud database nantinya akan ditampilkan pada website dashboard untuk memudahkan dalam melakukan monitoring dengan tampilan visual yang mudah diakses dan dipahami. Pembuatan website dashboard ini merupakan salah satu subtopik dari riset utama yang sedang dikerjakan. Subtopik terakhir yang telah diselesaikan melibatkan analisis korelasi antara data yang diperoleh dari perangkat gas analyzer dan perangkat 3D anemometer. Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mendalam tentang hubungan antara konsentrasi gas di atmosfer (seperti CO₂) dengan fluktuasi kecepatan angin dalam tiga dimensi. Hasil dari analisis korelasi ini dapat memberikan wawasan yang berharga terkait dengan bagaimana perubahan kecepatan angin dapat memengaruhi distribusi gas di lingkungan. Selain itu, informasi ini dapat menjadi dasar untuk pemahaman lebih lanjut tentang dinamika pertukaran gas antara ekosistem dan atmosfer, memperkuat pemahaman tentang proses-proses ekologis yang terjadi.

Pengerjaan tugas akhir ini diawali dengan studi literatur tentang topik rancang bangun 3D anemometer. Tahap ini dilakukan dengan pengumpulan artikel, jurnal, buku, dan sumber lainnya sebagai landasan dalam mengerjakan tugas akhir ini. Setelah melalui tahap studi literatur dan memahami konsep dari rancang bangun

yang akan dibuat, dilanjutkan kedalam tahap pembuatan *prototype*. Pada tahap ini dilakukan pemilihan perangkat dan komponen yang akan digunakan, pengumpulan alat dan bahan, pembuatan kerangka alat, dan perakitan alat. Tahap selanjutnya adalah kalibrasi dan pengujian alat, pada tahap ini terdapat beberapa hal yang harus dilakukan diantaranya adalah melakukan kalibrasi pada setiap *sensor air speed* dengan menggunakan kipas angin dan handheld anemometer. Selanjutnya adalah mendesain penempatan perangkat pada tower pengujian, dan pemasangan perangkat pada tower untuk pengujian lapangan. Jika hasil pengujian alat didapatkan ketidaksesuaian, maka tahapan penelitian kembali ke tahap perancangan alat guna mencari dan menyelesaikan masalah yang ada. Jika perangkat telah sesuai, penelitian dilanjutkan ke tahap pengumpulan data sensor. Adapun diagram alir penelitian pada tugas akhir ini ditampilkan pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2. Diagram Alir Penelitian

3.4. Perancangan Model Prototipe

3.4.1. Desain Perangkat 3D Anemometer

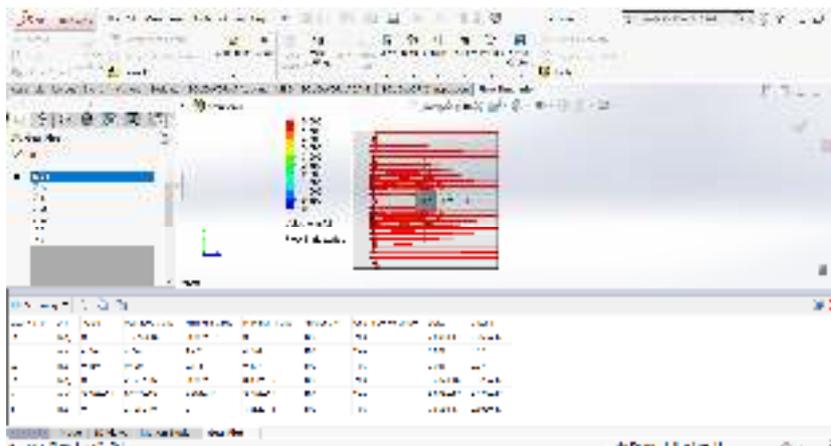
Pada tahap ini dilakukan desain rancangan perangkat 3D Anemometer menggunakan software solidworks seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3. Proses desain didasarkan pada hasil studi literatur dan pemahaman konsep dasar cara kerja perangkat dan komponen sensor yang digunakan. Proses ini berguna untuk mengetahui gambaran perangkat secara detail dan terperinci agar memudahkan dalam proses fabrikasi karena ukuran dan bentuk telah diketahui.



Gambar 3. 3. Desain 3D perangkat

3.4.2. Simulasi Fluida

Tahapan selanjutnya setelah proses desain adalah melakukan simulasi fluida dengan *software solidworks* seperti pada gambar 3.4. Simulasi ini dilakukan dengan mengarahkan aliran udara ke *casing* perangkat yang telah didesain, dengan tujuan untuk memahami dampak interaksi udara pada perangkat tersebut. Simulasi fluida dengan *SolidWorks* memiliki beberapa manfaat, diantaranya untuk mengidentifikasi potensi masalah dalam desain mereka sebelum memulai produksi fisik. Dengan melakukan simulasi aliran udara, dapat diketahui apakah ada area yang mungkin mengalami tekanan atau turbulensi udara yang tidak diinginkan.

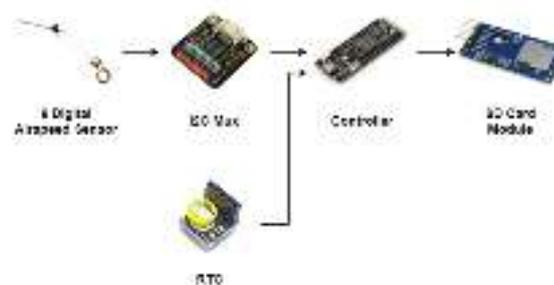


3.4.3. Pembuatan Kerangka Alat

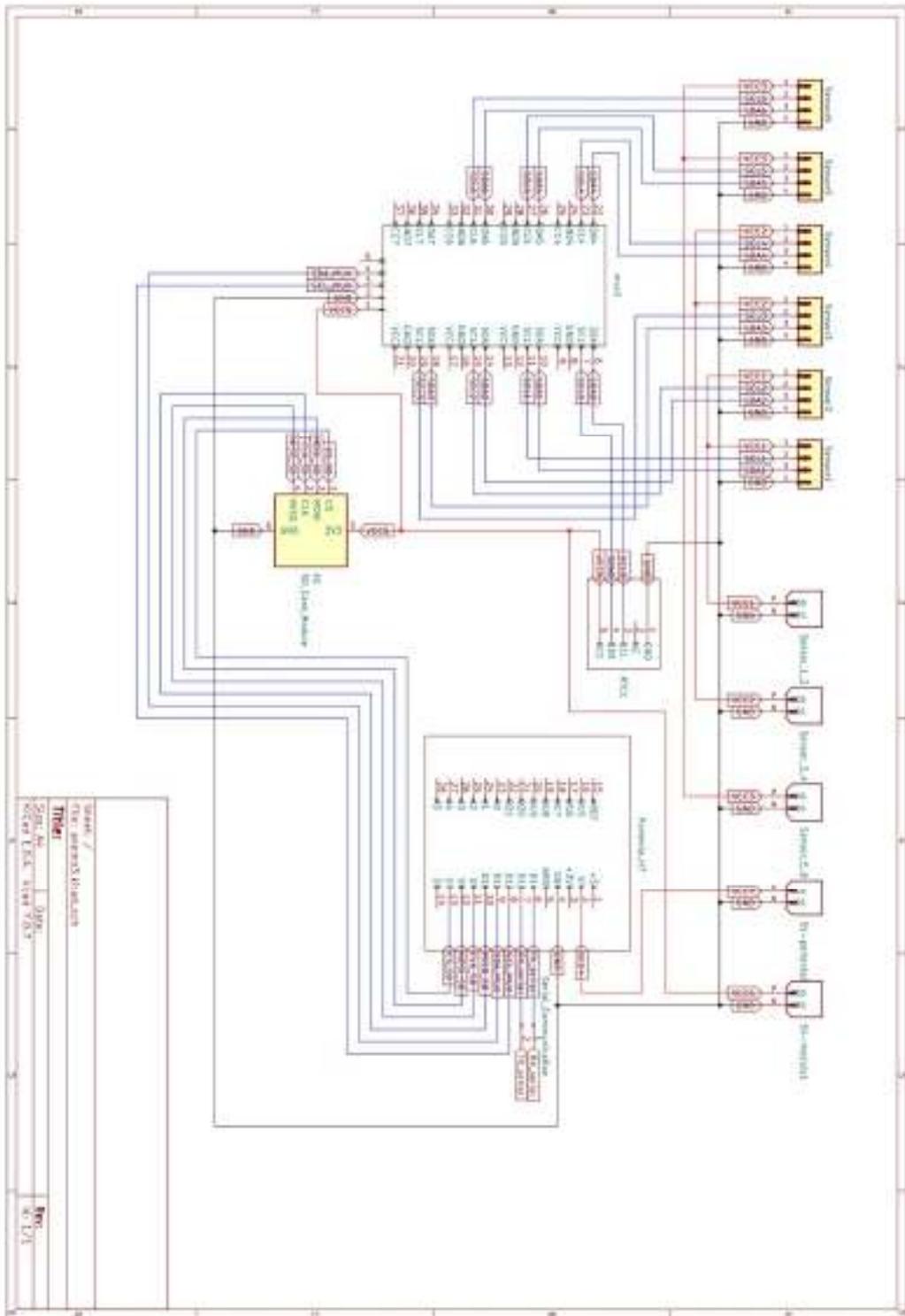
Pembuatan kerangka perangkat 3D anemometer yang akan dilakukan mengacu pada desain yang telah dibuat sehingga memiliki bentuk dan ukuran yang sama. Bahan yang digunakan dalam rancang bangun perangkat ini adalah logam *stainless steel*. Pada bagian kerangka utama perangkat berbentuk kubus dengan ukuran rusuk 15 cm, dibuat menggunakan bahan lempengan logam *stainless steel* dengan tebal 1,2 mm. Kemudian untuk bagian tiang penyangga digunakan pipa *stainless steel* dengan diameter 19,05 mm atau 0,75 inch.

3.4.4. Perancangan PCB

Alur penelitian selanjutnya pada tugas akhir ini adalah perancangan PCB. Adapun software yang digunakan dalam proses ini adalah KiCad versi 7.0, dalam merancang PCB hal pertama yang perlu dilakukan adalah membuat schematic. Hal ini akan dapat membantu dalam merencanakan dan memahami bagaimana komponen dan jalur sinyal akan berinteraksi dalam sirkuit. Pada gambar 3.5 menunjukkan hubungan antar komponen pada perangkat yang dirancang, *microcontroller* dihubungkan pada I2C Mux untuk menghindari konflik komunikasi dengan 6 buah airspeed speed Sensor sebagai komponen utama dalam melakukan pengukuran kecepatan angin. RTC dihubungkan dengan microcontroller untuk mengambil data waktu dan juga sebagai penjadwalan untuk mengaktifkan dan menonaktifkan perangkat. Data kecepatan angin yang didapat dari airspeed sensor dan data waktu yang didapatkan dari RTC kemudian diteruskan oleh microcontroller ke SD card module sebagai data logger untuk disimpan pada media penyimpanan SD card. Hubungan antar komponen secara detail dan menyeluruh dapat dilihat pada gambar 3.6.

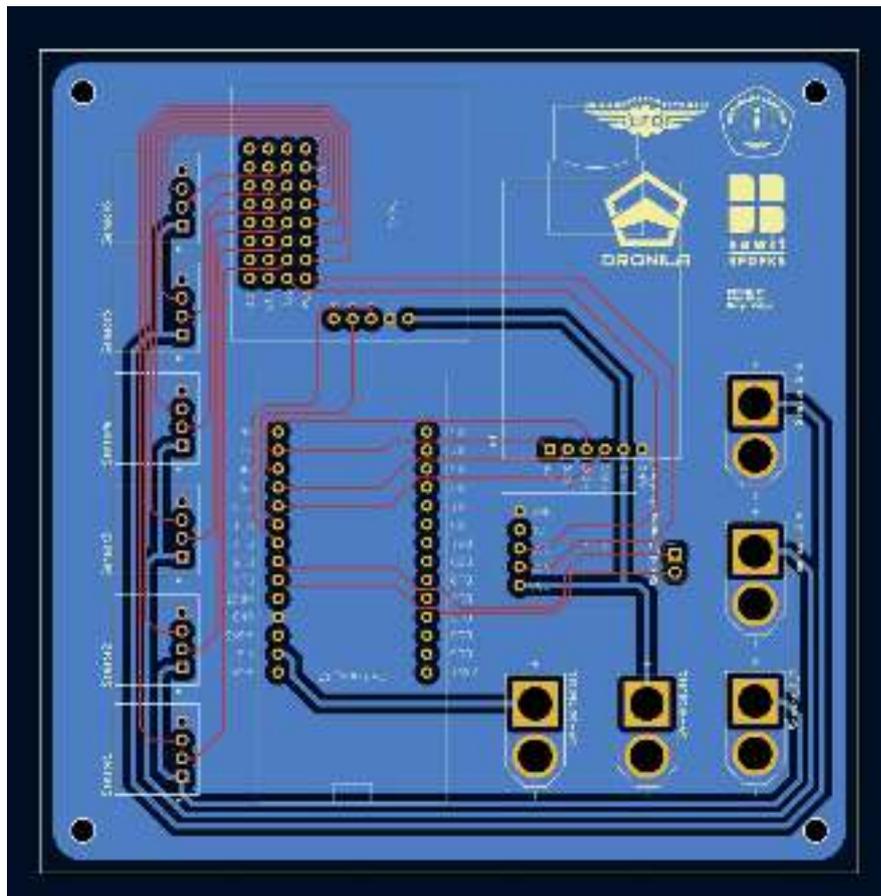


Gambar 3. 5. Wiring diagram

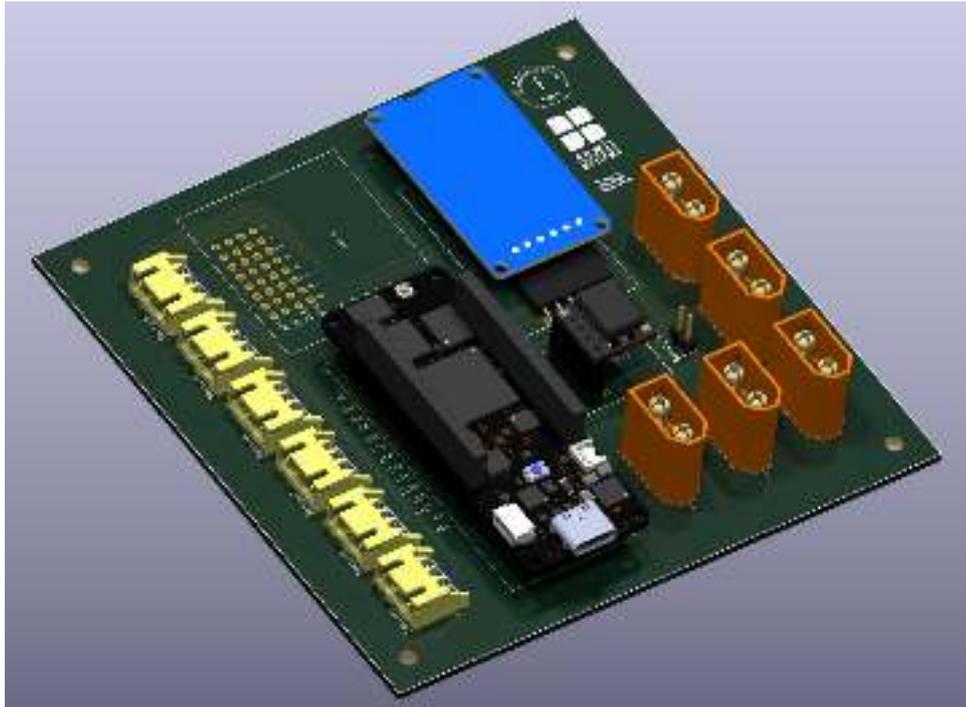


Gambar 3. 6. Schematic Diagram

Hal selanjutnya yang harus ditentukan dalam pembuatan PCB adalah jumlah layer atau lapisan PCB. Jumlah layer yang digunakan dalam perancangan PCB ini adalah 2 layer yang ditandai dengan warna merah dan biru pada gambar 3.7. Tujuan dari penggunaan 2 layer ini adalah untuk mempermudah dalam membuat jalur transmisi dari masing-masing komponen. Adapun 2 layer yang digunakan berperan sebagai layer data atau signal dan layer lainnya sebagai power layer. Layer signal digunakan untuk jalur transmisi sinyal data dari sensor menuju multiplexer, kemudian dari multiplexer menuju mikrokontroler. Layer kedua adalah power layer yang berisi jalur distribusi catu daya atau sinyal daya ke berbagai komponen pada PCB. Selain itu pada layer ini juga terdapat jalur ground yang menghubungkan semua pin ground dari setiap komponen pada PCB. Kemudian dilanjutkan dengan proses desain PCB, yaitu menempatkan dan penyusunan komponen pada PCB, lalu membuat rute jalur tembaga. Tampilan 3 dimensi dari desain PCB dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3. 7. Desain PCB



Gambar 3. 8. Tampilan 3D desain PCB

3.4.5. Perakitan Alat

Proses perakitan alat dapat dilakukan setelah seluruh alat dan bahan yang diperlukan terkumpul. Perakitan alat mengacu pada desain 3D yang telah dibuat menggunakan *software solidworks* sebagaimana yang telah diuraikan pada bagian 3.4.1. Pada proses ini diperlukan perhatian pada detail-detail penting seperti penempatan sensor pada sisi kubus yang harus tegak lurus, memastikan kubus kedap terhadap air untuk membuat komponen di dalam kubus tetap aman.

3.5. Kalibrasi dan Pengujian Prototype

Metode yang digunakan untuk kalibrasi *airspeed sensor* pada perangkat 3D anemometer ini adalah dengan membandingkan pembacaan *airspeed sensor* dan handheld anemometer seperti pada gambar 3.9 dalam membaca kecepatan angin dari sebuah kipas angin pada tekanan udara ruangan (sekitar 101.3 kPa) dan suhu udara ruangan (sekitar 20-25°C). Jika terdapat perbedaan nilai pembacaan, maka

perlu dilakukan penyesuaian nilai pada *airspeed sensor* melalui kode program yang telah dibuat.

Saat proses pengaplikasian di lapangan selama perangkat belum mulai bekerja, *pitot tube* dari *airspeed sensor* harus terlebih dahulu ditutup, untuk menjaga ketepatan nilai yang telah dikalibrasi dan tidak terpengaruh oleh faktor-faktor eksternal. Dengan menutup *pitot tube* dapat mencegah kontaminasi oleh debu, kotoran, atau serpihan lain yang dapat mengganggu pembacaan yang akurat.



Gambar 3. 9. Handheld Anemometer Untuk Kalibrasi

3.6. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dari perangkat 3D anemometer dilakukan dengan menyimpan data secara lokal menggunakan SD card reader module. Hal ini dikarenakan perangkat masih independent, dan belum dapat terhubung ke internet untuk menggunakan media penyimpanan cloud.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa.

1. Perangkat 3D anemometer berhasil dikonstruksi dengan memanfaatkan sistem dan perancangan alat yang telah disiapkan sebelumnya. Pada pengujian, diketahui bahwa konsumsi daya perangkat mencapai 2,2 Wh. Hal ini menunjukkan efisiensi dalam segi penggunaan daya daripada perangkat 3D Anemometer dipasaran yang memiliki konsumsi daya berkisar 2,5 sampai dengan 2,6 Wh.
2. Pengujian perangkat telah dilakukan dengan fokus pada pengukuran aliran udara dalam jangka waktu pengujian selama 7 Hari. Dari hasil akuisisi data, dapat disimpulkan bahwa tingkat keberhasilan perangkat mencapai 99,15 %, menunjukkan keandalan sistem pengujian yang tinggi. Temuan ini menggambarkan bahwa perangkat 3D anemometer mampu memberikan hasil yang konsisten dan akurat dalam mengukur aliran udara. Kesimpulan ini memberikan dasar kuat untuk potensial aplikasi perangkat ini dalam pemahaman dan pemantauan proses-proses ekologis yang melibatkan perubahan karbon dioksida di lingkungan.

5.2. Saran

Adapun saran yang disampaikan oleh peneliti berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan antara lain adalah.

1. Menggunakan repeater I2C yang mana hal ini ditujukan sebagai solusi untuk keterbatasan panjang kabel pada komunikasi I2C antara modul sensor dan

microcontroller, sehingga dapat menambah panjang kabel dan akan lebih fleksibel dalam penempatan perangkat saat implementasi.

2. Menggunakan NTP (Network Time Protocol) yaitu protokol jaringan yang digunakan untuk menyinkronkan waktu sistem komputer melalui jaringan. Sehingga memungkinkan komputer menjaga waktu yang akurat dengan berkoordinasi dengan server waktu pusat. Dengan tujuan untuk meminimalisir terjadinya pergeseran waktu. . Tentunya hal ini dapat dilakukan karena arduino portenta H7 dapat terhubung ke internet.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Spiridonov and M. Ćurić, *Fundamentals of Meteorology*, 1st ed. Cham: Springer International, 2020.
- [2] R. I. Woolway, B. M. Kraemer, J. D. Lenters, C. J. Merchant, C. M. O'Reilly, dan S. Sharma, "Global lake responses to climate change," *Nature Reviews Earth & Environment*, vol. 1, no. 8, hal. 388-403, 2020.
- [3] IPCC, "An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty," [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf. [Accessed: 10-Dec-2023].
- [4] V. Clemens, E. von Hirschhausen, dan J. M. Fegert, "Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Implications for the mental health policy of children and adolescents in Europe—a scoping review," *European Child & Adolescent Psychiatry*, pp. 1-13, 2020.
- [5] H. Wang, Z. Chen, X. Wu, dan X. Nie, "Can a carbon trading system promote the transformation of a low-carbon economy under the framework of the Porter hypothesis?—Empirical analysis based on the PSM-DID method," *Energy Policy*, vol. 129, hal. 930-938, 2019.
- [6] M. R. D. Putra, "Design of Service System for Carbon Trading (Case Study: Bandung City)," presented at the 2023 10th International Conference on ICT for Smart Society (ICISS), September 2023, pp. 1-7.
- [7] B. Fang, H. Lei, Y. Zhang, Q. Quan, dan D. Yang, "Spatio-temporal patterns of evapotranspiration based on upscaling eddy covariance measurements in the dryland of the North China Plain," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 281, hal. 107844, 2020.
- [8] D. D. Baldocchi, "How eddy covariance flux measurements have contributed to our understanding of Global Change Biology," *Global Change Biology*, vol. 26, no. 1, hal. 242-260, 2020.

- [9] N. Pizzo, L. Deike, and A. Ayet, "How does the wind generate waves?," *Physics Today*, vol. 74, no. 11, pp. 38–43, Nov. 2021.
- [10] H. Yang, Z. Fang, Y. Cao, C. Xie, T. Zhou, B. Wang, et al., "Impacts of transboundary dust transport on aerosol pollution in the western Yangtze River delta region, China: insights gained from ground-based lidar and satellite observations," *Earth and Space Science*, vol. 8, no. 3, pp. e2020EA001533, 2021.
- [11] T. Fischer, C. Lesjak, D. Pirker, and C. Steger, "RPC based framework for partitioning IoT security software for trusted execution environments," in *2019 IEEE 10th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, pp. 0430-0435, October 2019.
- [12] I. Idrissi, M. Mostafa Azizi, and O. Moussaoui, "A lightweight optimized deep learning-based host-intrusion detection system deployed on the edge for IoT," *International Journal of Computing and Digital System*, 2021.
- [13] A. S. Berger, *Debugging Embedded and Real-Time Systems The Art, Science, Technology, and Tools of Real-Time System Debugging*, 1st ed. Kidlington: Newnes, 2020.
- [14] A. M. Dragan, A. Enache, A. Negut, A. M. Tache, and G. Brezeanu, "An improved digital output buffer for a digital temperature sensor 2 with an I C high speed interface," *Solid State Electronics Letters*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [15] "Digital Air Speed Sensor", Holybro. [Online]. Available: <https://holybro.com/products/digital-air-speed-sensor>. [Accessed: Oct. 10, 2023].
- [16] E. W. Zeddine, J. Schutz, and N. Rezg, "Pitot sensor air flow measurement accuracy: Causal modelling and failure risk analysis," *Flow Measurement and Instrumentation*, vol. 65, pp. 7-15, 2019.
- [17] A. Ghahramani et al., "Measuring air speed with a low-power MEMS ultrasonic anemometer via adaptive phase tracking," *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 18, pp. 8136-8145, 2019.
- [18] N. Korprasertsak and T. Leephakpreeda, "Novel wind measurement via thermoelectric anemometer," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 149, pp. 107037, 2020.

- [19] DFRobot. "Gravity: Digital 1-to-8 I2C Multiplexer - SKU: DFR0576." DFRobot Wiki. https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Digital_1-to-8_I2C_Multiplexer_SKU_DFR0576. Accessed on December 26, 2023.
- [20] Analog Devices, Inc. "DS3231: Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal." Datasheet. Analog Devices, Inc., <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/ds3231.pdf>. Accessed on December 26, 2023.