

**RANCANG BANGUN PERANGKAT *CARBON SENSING* UNTUK
MENGUKUR EMISI GAS KARBON DIOKSIDA (CO₂) BERBASIS
*INTERNET OF THINGS***

(Skripsi)

Oleh

HANA YUNUS PUTRI

NPM.1955031007



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN PERANGKAT *CARBON SENSING* UNTUK MENGUKUR GAS KARBON DIOKSIDA (CO₂) BERBASIS INTERNET OF THINGS

Oleh:

HANA YUNUS PUTRI

Berdasarkan data dari 118 stasiun pengamatan BMKG, pada bulan Juli 2023 suhu udara di Indonesia mengalami anomali positif sebesar 0.5 °C, nilai ini menunjukkan nilai anomali tertinggi ke-4 sepanjang periode pengamatan BMKG sejak 1981. Terjadinya kenaikan suhu udara merupakan salah satu akibat dari pemanasan global. Perkebunan kelapa sawit merupakan persoalan yang sering dikaitkan dengan perubahan iklim, dimana CO₂ adalah pergerak utamanya. Jalur utama pelepasan CO₂ pada kelapa sawit ke atmosfer adalah melalui deforestasi, eksploitasi lahan gambut serta perkebunan kelapa sawit. Tercatat selama 25 tahun terakhir, lahan gambut kehilangan stok karbon sebesar 63% akibat aktivitas pekebunan kelapa sawit. Hal ini menunjukkan bahwa mitigasi perlu dikembangkan untuk mengurangi beban gas rumah kaca. Untuk melakukan pemantauan tingkat emisi gas karbon dapat dilakukan dengan berbagai macam teknik, Metode Eddy Covariance merupakan salah satu metode untuk pengukuran emisi karbon yang paling akurat. Untuk melakukan penerapan metode Eddy Covariance, maka diperlukan beberapa variabel seperti intensitas gas karbon, kecepatan angin dan variabel cuaca lainnya.

Maka berdasarkan permasalahan yang sudah diuraikan, penelitian ini akan merancang sebuah perangkat yang dapat mengukur konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂) dan variabel cuaca lainnya menggunakan Arduino Portenta H7 sebagai mikrokontroler dan untuk sensor pengukur gas karbon dioksida menggunakan DFRobot SEN0220. Perangkat ini juga akan mengirim dan menyimpan data yang didapatkan oleh sensor ke *data logger* dan *platform IoT* sehingga data-data tersebut dapat digunakan untuk pengukuran emisi karbon dengan menggunakan metode Eddy Covariance.

Kata Kunci: Emisi Karbon, Eddy Covariance, Arduino Portenta H7, DFRobot SEN0220, Perangkat Pengukur Karbon

ABSTRACT

DESIGNING A CARBON SENSING DEVICE TO MEASURES CARBON DIOXIDE (CO₂) EMISSION BASED ON INTERNET OF THINGS

By:

HANA YUNUS PUTRI

Based on data from 118 BMKG observations stations, in July 2023 the air temperature in Indonesia experienced a positive anomaly of 0.5 °C. This value shows as the 4th highest anomaly value throughout the BMKG observation period since 1981. The phenomenon of rising air temperature is one of the consequences of global warming. Oil palm plantations are an issue often associated with climate change, where CO₂ is the primary driver. The main pathway for the release of carbon dioxide in palm oil into the atmosphere is through deforestation, exploitation of peatlands, and oil palm plantations. It has been recorded that over the last 25 years, peatlands have lost 63% of their carbon stocks due to oil palm plantation activities. This shows that mitigation needs to be developed to reduce the burden of greenhouse gases. Monitoring the level of carbon gas emissions can be done with a variety of techniques, the Eddy Covariance method is one of the most accurate methods for measuring carbon emissions. To apply the method, several variables are needed such as carbon gas intensity, wind speed and other weather variables.

Based on the problems that have been described, this study will design a device that can measures the concentration of carbon dioxide (CO₂) gas and other weather variables using the Arduino Portenta H7 as a microcontroller and to measure carbon dioxide gas using the DFRobot SEN0220 sensor. This device will also send, and store data obtained by the sensor to the data logger and IoT platform, so the data can be used for measuring carbon emission using the Eddy Covariance method.

Keywords: Carbon Emissions, Eddy Covariance, Arduino Portenta H7, DFRobot SEN0220, Carbon Sensing Device

**RANCANG BANGUN PERANGKAT *CARBON SENSING* UNTUK
MENGUKUR EMISI GAS KARBON DIOKSIDA (CO₂) BERBASIS
*INTERNET OF THINGS***

Oleh

HANA YUNUS PUTRI

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN PERANGKAT *CARBON SENSING* UNTUK MENGUKUR GAS KARBON DIOKSIDA (CO₂) BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

Nama Mahasiswa : **Hana Yunus Putri**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1955031007

Program Studi : Teknik Elektro


Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005



Aryanto, S.T., M.T.
NIP 19900621 201903 1 011

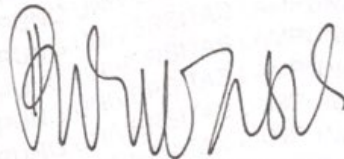
2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., M.T.
NIP 19710314 199903 2 001

Ketua Program Studi Teknik Elektro



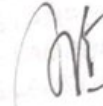
Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP 19740422 200012 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

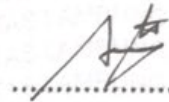
: **Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.**



.....

Sekretaris

: **Aryanto, 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 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **3 Agustus 2023**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang saya buat dengan judul "Rancang Bangun Perangkat *Carbon Sensing* Untuk Mengukur Gas Karbon Dioksida (CO₂) Berbasis *Internet of Things*" dibuat tidak berdasarkan karya yang pernah dilakukan orang lain. Bahwa karya ini tidak terdapat karya lain atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar Pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Randa Lampung, 9 Oktober 2023



Hana Yunus Putri
NPM. 1955031007

RIWAYAT HIDUP



Penulis Lahir di Bekasi, pada tanggal 24 Desember 2001 sebagai anak terakhir dari 3 bersaudara, anak dari bapak Y.M. Yunus dan Atti Kurniati. Pendidikan Sekolah Dasar penulis diselesaikan di SD Islam Al-Azhar 9 Kemang Pratama pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama di SMP Islam Al-Azhar 9 Kemang Pratama diselesaikan pada tahun 2016, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Islam Al-Azhar 4 Kemang Pratama diselesaikan pada tahun 2019.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur SMMPTN BARAT (Mandiri). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro sebagai Anggota Divisi Media Informasi dan Anggota Departemen Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) Universitas Lampung pada dinas Pendidikan dan Pengabdian. Penulis mengambil konsentrasi Telekomunikasi dan Teknik Informasi pada semester 5 dan secara aktif mengikuti kegiatan penelitian di Laboratorium Telekomunikasi. Selama masa kuliah, penulis aktif mengikuti kegiatan di luar kampus seperti Kampus Merdeka, Riset Lomba, Kegiatan Pengabdian Wira Desa dan PPK Ormawa yang diselenggarakan oleh Belmawa.

PERSEMBAHAN



Dengan segala Syukur bagi Allah SWT atas berkah Rahmat dan karunia-Nya,
Kupersembahkan karya ini dengan rasa Syukur, hormat dan kasih sayang:

Kepada Papap dan Mamah

Atas semua rasa kepercayaan, pengorbanan, dukungan doa selama ini kepada Hana sehingga Hana selalu kuat dan selalu dalam lindungan Allah SWT selama menempuh perkuliahan yang jauh dari rumah.

Kepada Kakak Tercinta,

Genki Judawinata dan **Annisa Yurika**. Yang telah menjadi teman diskusi, penyemangat dan sosok figur kakak yang memberikan dampak positif kepada Hana selama ini. Dan kepada **Fayza Alesya Deswinata** selaku keponakan Hana yang selalu menanyakan “Kapan Hana Pulang?” sehingga selalu menyemangati Hana untuk menyelesaikan perkuliahan dengan baik.

Kepada Dosen Pembimbing dan Penguji, Drone Nirwana Bentala

Atas kesempatan dan ilmu yang telah diberikan kepada Hana selama perkuliahan.
Terimakasih atas bimbingan, motivasi dan inspirasi kepada Hana.

Kepada Eternity 2019

Terima kasih atas kekeluargaan, do’a, serta dukungan yang selalu mengiringi hingga merasa lebih baik dari hari ke hari

MOTTO HIDUP

“Say, indeed, my prayer, my rites of sacrifice,
my living and my dying are for Allah, Lord of the Worlds”.

(QS. Al-An’am:162)

“Seeing everything as an opportunity to learn, is a foolproof way to kind of get over a fear of failure. Because if it’s just an opportunity to learn, then whatever it is, the failure will not define you as a human being. We’re just humans trying to be better”.

“Love your Parents. We are so busy growing up,
often forgot they are also growing old.”

“This dunia, will break you repeatedly to the point where trusting His plan is the only way you can peace.”

SANWACANA

Puji Syukur bagi Allah SWT atas berkah, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul skripsi “**Rancang Bangun Perangkat *Carbon Sensing* Untuk Mengukur Karbon Dioksida (CO₂) Berbasis *Internet of Things***” dengan lancar. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapat banyak dukungan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Kedua orang tua, aa, teteh dan keluarga penulis yang selalu mendo’akan, memberikan semangat, nasihat dan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan lancar.
2. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan penulis kesempatan untuk mengikuti riset penelitian ini dan atas segala waktu yang telah diluangkan untuk memberikan bimbingan, nasihat dan saran kepada penulis sehingga penelitian dan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Aryanto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping atas segala waktu yang telah diluangkan untuk memberikan bimbingan, nasihat, arahan dan juga motivasi yang membangun kepada penulis sehingga penelitian dan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar.
4. Ibu Melvi, S.T., M.T. selaku Pembimbing Akademik dan juga Dosen Penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan, kritik dan motivasi yang membangun kepada penulis sehingga perkuliahan, penelitian dan skripsi ini dapat diselesai dengan baik.
5. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan dan kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

6. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
7. M. Juan Pradana selaku tim dari Penelitian Riset Sawit atas segala dukungan, ilmu, kerjasama dan waktu yang telah diluangkan dalam penelitian ini, sehingga dapat selesai dengan baik dan lancar.
8. Segenap dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama menempuh pendidikan perkuliahan
9. Hans Khalif Hafif yang telah menjadi seseorang yang selalu menemani dan mempercayai penulis, sebagai teman bertukar pikiran, penyemangat dan mendoakan penulis untuk bisa menyelesaikan segala hal dengan maksimal.
10. Ratu Meutuah dan Alm. Syauqi Farid selaku teman jauh yang selalu sabar kepada penulis, dan juga sebagai pendengar dan penyemangat penulis untuk menyelesaikan perkuliahan.
11. Tim Lintasi yang telah mengikuti proses berkembang bersama penulis saat masa perkuliahan dan juga dukungan, semangat dan bantuan sehingga dapat menyelesaikan perkuliahan ini dengan baik.
12. Seluruh teman-teman Telekomunikasi dan Teknik Informasi 2018, 2019, 2020, 2021 dan 2022 yang telah memberikan dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
13. Angkatan Teknik Elektro 2019, Eternity 2019. Terima kasih atas segala proses, pengalaman, semangat dan kebersamaanya selama menempuh pendidikan di Teknik Elektro.
14. Keluarga Besar HIMATRO yang telah memberikan pengalaman dan ilmu kepada penulis selama menempuh pendidikan di Teknik Elektro.
15. Seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak untuk membangun skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat membantu dan memberikan manfaat penulis dan juga pembaca.

Alhamdulillahil'alamin

Bandar Lampung, 9 Oktober 2023

Penulis,

Hana Yunus Putri

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	vi
SURAT PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
PERSEMBAHAN	ix
MOTO.....	x
SANWACANA.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Tujuan Peneliatan.....	2
1.3. Rumusan Masalah	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
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 Rumah Kaca (GRK).....	6
2.3 Emisi Karbon.....	8

2.4	Kelembaban Udara dan Uap Air	9
2.5	<i>Flux Measurement, Eddy Covariance Method</i>	12
2.5.1.	<i>Earth's Energy Budget</i>	12
2.5.2.	<i>Eddy Flux</i>	13
2.5.3.	Variabel Dalam Eddy Covariance	14
2.5.4.	<i>Physical Instrument</i>	15
2.6	Sangkar Cuaca Meteorologi	17
2.7	<i>Fundamental Driver of Motion in The Atmosphere</i>	18
2.8	Arduino Portenta H7	20
2.9	<i>BreakoutBoard</i> Portenta H7	22
2.10	DFRobot SEN0220	23
2.11	Sensirion SHT85	25
2.12	Gravity BMP388	26
2.13	Arduino IDE.....	28
III.	METODE PENELITIAN.....	29
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.2.	Diagram Alir Penelitian	29
3.3.	Perancangan Sistem.....	31
3.3.1.	Skenario Sistem Perangkat <i>Eddy Station</i>	32
3.3.2.	Perancangan <i>Power Supply</i> Perangkat <i>eddy station</i>	34
3.3.3.	Perancangan Komunikasi Perangkat <i>Eddy Station</i>	37
3.3.4.	Skema Implementasi Perangkat <i>Eddy Station</i>	39
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1.	Realisasi Perangkat	42
4.2.	Pengaturan Perangkat Lunak.....	46

4.3. Pengujian Tegangan Pada Sensor.....	51
4.3.1. Pengujian Tegangan Pada SEN0220	52
4.3.2. Pengujian Tegangan Pada BMP388	53
4.4. Pengujian Pada Perangkat <i>Eddy Station</i>	53
4.4.1. Perbandingan Jumlah Data dan <i>Timestamp</i> Pada Perangkat	54
4.4.2. Perbandingan Pengambilan Data Pada Perangkat	55
4.4.3. Perbandingan <i>Measurement Range</i> Sensor Pada Perangkat.....	58
4.6. Analisa Permasalahan.....	61
4.6.1. Permasalahan Komunikasi I2C pada Sensor BMP388.....	61
4.6.2. Permasalahan Perangkat <i>Eddy Station</i>	62
4.6.3. Permasalahan Penentuan Casing Sensor.....	64
V. PENUTUP.....	68
5.1. Kesimpulan.....	68
5.2. Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Portenta H7.....	21
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Portenta <i>Breakoutboard</i>	23
Tabel 2.3 Spesifikasi Sensor <i>Infrared</i> CO ₂ DFRobot SEN0220	24
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensirion SHT85	26
Tabel 2.5 Spesifikasi Gravity BMP388	27
Tabel 3.1 Komponen Perangkat <i>eddy station</i>	33
Tabel 3.2 Kebutuhan Daya Setiap Komponen.....	35
Tabel 3.3. Sistem Komunikasi Sensor Pada Perangkat <i>Eddy Station</i>	38
Tabel 4.1 <i>Library</i> Pada Perangkat <i>Eddy Station</i>	46
Tabel 4.2 Pembacaan Tegangan Sensor SEN0220	52
Tabel 4.3 Pembacaan Tegangan Sensor BMP388	53
Tabel 4.4 Sampel Data <i>Eddy Station</i>	54
Tabel 4.5 Jumlah Data dan <i>Timestamp</i> Pada Perangkat	55
Tabel 4.5 Realisasi Keseluruhan Pengambil Data Pada Perangkat.....	58
Tabel 4.6 Rentang <i>Missing Value</i> Pada Data Hasil Perangkat.....	63
Tabel 4.7 Jumlah Data dan <i>Timestamp</i> Pada 23 – 31 Juli 2023.....	63
Tabel 4.7 Data Perbandingan <i>Casing</i> Sensor	65
Tabel 4.8 Data Perbandingan <i>Casing</i> Sensor Percobaan 2	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Efek Rumah Kaca [7]	6
Gambar 2.2 Proses Efek Rumah Kaca [3]	9
Gambar 2.3 <i>Earth's Energy Budget</i> [4]	12
Gambar 2.4 Pergerakan <i>Eddy Flux</i> [4].....	13
Gambar 2.5 Variabel Pada Instrumen Eddy Covariance [4].....	14
Gambar 2.6 <i>Typical Physical Design</i> [4].....	16
Gambar 2.7 Sangkar Meteorologi [13]	17
Gambar 2.8 Perubahan Volume Gas Terhadap Suhu [8].....	18
Gambar 2.9 Hubungan Antara Suhu, Tekanan dan Massa Jenis Berdasarkan <i>Ideal Gas Law</i> [8].....	19
Gambar 2.10 <i>Fundamental Driver of Motion in The Atmosphere</i> [8]	19
Gambar 2.11 Mikrokontroler Arduino Portenta H7.....	20
Gambar 2.12 Arduino Portenta <i>Breakoutboard</i>	23
Gambar 2.13 Sensor <i>Infrared CO₂</i> DFRobot SEN0220	24
Gambar 2.14 Sensirion SHT85	25
Gambar 2.15 Sensor Gravity BMP388	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3.2 Diagram Alir Pembangunan Perangkat.....	31
Gambar 3.3 Lokasi Tower Tempat Pemasangan Perangkat <i>Eddy Station</i>	32
Gambar 3.4 Skema Sistem Perangkat <i>eddy station</i>	33
Gambar 3.5 Skema Power Supply Perangkat <i>Eddy Station</i> [Koleksi Pribadi]	36
Gambar 3.6 Skema Power Supply Sensor <i>Eddy Station</i> [Koleksi Pribadi]	37
Gambar 3.7 Skema Sistem Komunikasi Sensor <i>Eddy Station</i> [Koleksi Pribadi] .	38
Gambar 3.8 Skema Implementasi Perangkat <i>Eddy Station</i> [Koleksi Pribadi].....	39

Gambar 3.9 Desain <i>Casing</i> Sensor <i>Eddy Station</i> [Koleksi Pribadi]	40
Gambar 3.10 Keterangan Penempatan Sensor [Koleksi Pribadi]	40
Gambar 4.1 Implementasi Perangkat <i>Eddy Station</i>	42
Gambar 4.2 Perangkat <i>Eddy Station</i>	43
Gambar 4.3 Panel Box Busbar	44
Gambar 4.4 Panel Box Komponen Perangkat <i>Eddy Station</i>	45
Gambar 4.5 Power Supply Perangkat <i>Eddy Station</i>	46
Gambar 4.6 Menghubungkan Arduino Portenta H7 Dengan Internet	47
Gambar 4.7 Menghubungkan Arduino Portenta H7 Dengan <i>Data Logger</i>	47
Gambar 4.8 Skenario Pengambilan Data Pada Perangkat <i>Eddy Station</i>	48
Gambar 4.9 Sensor SEN0220	48
Gambar 4.10 Sensor BMP388.....	49
Gambar 4.11 Pembacaan Sensor SHT85	49
Gambar 4.12 Konversi Nilai Uap Air	50
Gambar 4.13 Pengiriman Ke Data Logger.....	51
Gambar 4.15 Pengambilan Data 1 Menit Pertama Pada <i>Eddy Station 1</i>	56
Gambar 4.15 Pengambilan Data 1 Menit Pertama Pada <i>Eddy Station 2</i>	56
Gambar 4.16 Pengambilan Data 1 Menit Kedua Pada <i>Eddy Station 1</i>	57
Gambar 4.17 Pengambilan Data 1 Menit Kedua Pada <i>Eddy Station 2</i>	57
Gambar 4.18 <i>Measurement Range</i> Karbon Dioksida pada Perangkat.....	59
Gambar 4.19 <i>Measurement Range</i> Tekanan Udara pada Perangkat.....	60
Gambar 4.20 <i>Measurement Range</i> Kelembaban Udara pada Perangkat	60
Gambar 4.21 <i>Measurement Range</i> Suhu Udara pada Perangkat	61
Gambar 4.22 <i>Timestamp</i> Pada Perangkat.....	63
Gambar 4.23 Percobaan 1 <i>Casing</i>	65

Gambar 4.24 Desain Final *Casing* Sensor 66

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Berdasarkan data dari 118 stasiun pengamatan BMKG, normal suhu udara pada bulan Juli periode 1991-2020 di Indonesia adalah sebesar 26.2 °C sedangkan suhu udara rata-rata pada bulan Juli 2023 adalah sebesar 26.7 °C. Berdasarkan dua nilai tersebut, suhu udara di Indonesia mengalami anomali positif sebesar 0.5 °C pada bulan Juli 2023. Nilai ini menunjukkan nilai anomali tertinggi ke-4 sepanjang periode pengamatan BMKG sejak 1981 [1]. Terjadinya kenaikan suhu udara merupakan salah satu akibat dari pemanasan global. Pemanasan global merupakan fenomena panasnya udara dibandingkan beberapa dekade sebelumnya, hal ini diakibatkan bertambahnya gas rumah kaca (GRK) [2]. Perkebunan kelapa sawit merupakan persoalan yang sering dikaitkan dengan perubahan iklim, dimana CO₂ adalah pergerak utamanya. Jalur utama pelepasan CO₂ pada kelapa sawit ke atmosfer adalah melalui deforestasi, eksploitasi lahan gambut serta perkebunan kelapa sawit. Total luas lahan gambut di Asia Tenggara diperkirakan mencapai 25 juta ha, dengan 43,1% di Papua, 22.5% di Sumatera dan 22% di Kalimantan. Karena tekanan ekonomi, kawasan lahan gambut mengalami deforestasi, dikeringkan dan dibakar untuk keperluan pertanian seperti perkebunan kelapa sawit, melalui proses tersebut, lahan gambut akan melepaskan sebagian stok karbon ke atmosfer. Tercatat selama 25 tahun terakhir, lahan gambut kehilangan stok karbon sebesar 63% akibat aktivitas perkebunan kelapa sawit. Pelepasan karbon ke atmosfer dalam jumlah yang cukup banyak, tentunya akan menyebabkan efek gas rumah kaca [3]. Hal ini menunjukkan bahwa mitigasi perlu dikembangkan untuk mengurangi beban gas rumah kaca. Pemantauan tingkat emisi gas karbon dapat dilakukan dengan berbagai macam teknik, salah satunya adalah dengan menggunakan metode Eddy

Covariance. Metode Eddy Covariance merupakan salah satu metode pengukuran emisi karbon paling akurat. Sejak tahun 1990, ahli mikrometeorologi menggunakan metode Eddy Covariance untuk mengukur tingkat emisi karbon dioksida dari berbagai ekosistem, perkotaan dan pertanian [4]. Untuk melakukan perhitungan Eddy Covariance, maka diperlukan beberapa variabel seperti intensitas gas karbon, kecepatan angin dan variabel lainnya. Oleh karena itu, diperlukannya perangkat yang dapat melakukan mengukur emisi gas rumah kaca untuk penerapan Eddy Covariance. Maka berdasarkan permasalahan yang sudah diuraikan, penelitian ini akan merancang perangkat yang dapat mengukur konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) dan variabel cuaca lainnya menggunakan Arduino Portenta H7 sebagai mikrokontroler dan untuk mengukur konsentrasi gas karbon dioksida akan menggunakan DFRobot SEN0220. Perangkat ini juga akan mengirim dan menyimpan data yang didapatkan oleh sensor ke *data logger* dan *platform IoT*, sehingga data-data tersebut dapat digunakan untuk pengukuran emisi karbon dengan menggunakan metode Eddy Covariance.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat dua buah perangkat *Eddy Station* yang dapat mengukur konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) yang ada di sekitar Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.
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 pengukuran konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) yang ada di sekitar Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung dan mengirim data yang didapat secara *real-time* tanpa interaksi secara langsung.

2. Bagaimana merancang sebuah sistem yang efisien pada perangkat sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut.

1.4. Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroler yang digunakan pada perangkat merupakan Arduino Portenta H7.
2. Variabel yang digunakan pada penelitian adalah konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂), konsentrasi uap air (H₂O), temperatur udara, kelembaban udara dan tekanan udara.
3. Perangkat akan diuji di sekitar Laboratorium Terpadu Teknik Elektro
4. Pembahasan dari penelitian ini berfokus pada perancangan operasional dari perangkat.
5. Data yang didapatkan pada penelitian ini berasal dari *data logger*.
6. Perangkat belum melakukan kalibrasi dengan alat kalibrasi terstandar dikarenakan kalibrasi akan dilakukan setelah penelitian ini menggunakan perangkat *Eddy Station* dari Li-Cor.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah menghasilkan perangkat yang dapat mengukur konsentrasi karbon dioksida, sehingga data yang didapatkan oleh perangkat dapat di olah untuk pengukuran emisi karbon dengan metode Eddy Covariance. Perangkat ini juga dirancang agar dapat menerima, mengirim dan menyimpan data dari perangkat ke *data logger* dan *platform IoT*. Dengan adanya *platform IoT*, *user* dapat memantau konsentrasi dari gas karbon dioksida.

1.6. Hipotesis

Pada penelitian ini, perangkat dapat melakukan pengukuran konsentasi gas karbon dioksida (CO₂) di udara menggunakan sensor SEN0220. Satuan yang digunakan

pada gas karbon dioksida adalah PPM (*Part Per Million*). Data yang didapatkan akan disimpan pada *data logger* dan juga yang dikirim ke *cloud* secara otomatis melalui jaringan internet agar data dapat diaplikasikan oleh *user* untuk pemantauan emisi karbon dengan metode Eddy Covariance.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari penulisan laporan kerja praktik ini adalah:

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 mengenai penelitian sebelumnya, gas rumah kaca (GRK), emisi karbon, kelembaban udara dan uap air, Eddy Covariance, sangkar cuaca, Arduino Portenta H7, *Breakoutboard* Portenta H7, DFRobot SEN0220, Gravity BMP388 dan Arduino IDE.

III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai waktu dan tempat penelitian, diagram alir penelitian dan perancangan sistem.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan mengenai realisasi perangkat, perancangan perangkat lunak, pengujian tegangan pada sensor, pengujian pada perangkat, measurement rang pada sensor dan analisa permasalahan

V PENUTUP

Bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan yang didapatkan dari penelitian dan juga saran yang dapat diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisikan referensi dari penulisan dan pelaksanaan proyek.

II. TINJAUAN PUSTAKA

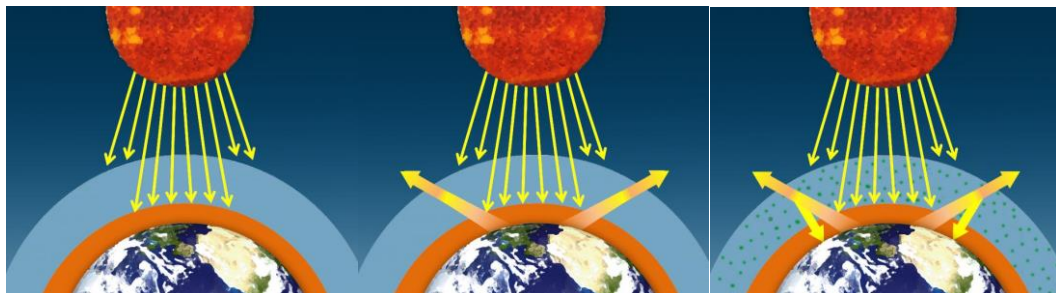
2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian "*Eddy Covariance Method for CO₂ Emission Measurements in CCUS Application: Principles, Instrumentation and Software*" George Burba, Rodney Madsen dan Kristin Feese membahas mengenai metode Eddy Covariance yang merupakan teknik mikrometeorologi untuk mengukur transportasi langsung gas antara permukaan dan atmosfer. Penelitian ini menjelaskan mengenai prinsip utama dalam metode Eddy Covariance, yaitu instrumentasi dan variabel penting yang diperlukan untuk melakukan penelitian penyerapan karbon [5]. Berdasarkan penelitian ini, penulis mendapatkan informasi mengenai instrumentasi dan variabel yang dibutuhkan dalam merancang perangkat sehingga dapat mengukur variabel yang diperlukan dalam pengukuran transportasi gas menggunakan metode Eddy Covariance.

Kemudian penelitian selanjutnya dilakukan oleh Frankie Kiew dengan judul penelitian "*CO₂ Balance of a Secondary Tropical Peat Swamp Forest in Sarawak, Malaysia*". Pada penelitian ini, Frankie Kiew membahas keseimbangan karbon dioksida pada hutan rawa gambut di Sarawak, Malaysia. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur keseimbangan karbon dioksida pada ekosistem dan bagaimana respon perubahan lingkungan terkait peran karbon dioksida. Pada penelitian ini, Frankie Kiew menggunakan metode Eddy Covariance sebagai metode untuk melakukan perhitungan fluks karbon dioksida pada hutan rawa gambut di Sarawak, Malaysia. [6]. Berdasarkan penelitian ini, penulis dapat mengetahui karakteristik dari gas karbon dioksida dan juga bagaimana penerapan metode Eddy Covariance untuk perhitungan fluks karbon dioksida.

2.2 Gas Rumah Kaca (GRK)

Interaksi antara gas di atmosfer dengan *visible light* dan energi lainnya, merupakan interaksi gas dengan energi yang dipancarkan matahari dan juga energi yang dipantulkan dan dipancarkan oleh permukaan bumi. Interaksi ini dapat kita lihat setiap harinya. Seperti warna, serta penyebab cuaca dan iklim [7]. Matahari menghasilkan energi dalam jumlah yang besar, sekitar 51% energi sinar matahari diserap oleh permukaan bumi seperti tanah, air dan tumbuhan [8]. Selain diserap, sebagian besar dari energi sinar matahari akan dipancarkan kembali oleh permukaan bumi dalam bentuk radiasi *infrared*. Tidak semua energi yang dipancarkan permukaan bumi kembali ke angkasa, hal ini dikarenakan sebagian besar radiasi *infrared* akan diserap kembali oleh gas yang ada di atmosfer. Karena gas dapat berinteraksi dengan energi, maka gas yang berada di atmosfer akan kembali memancarkan radiasi *infrared* ke permukaan bumi. Proses ini dikenal sebagai efek rumah kaca (*Greenhouse Effect*).



Gambar 2.1 Proses Efek Rumah Kaca [7]

Gas di atmosfer memancarkan radiasi *infrared* ke segala arah, baik keluar menuju angkasa ataupun kembali ke bumi, hal ini menyebabkan bumi menjadi lebih hangat. Proses ini dikenal sebagai the *natural greenhouse effect* yang berfungsi untuk menjaga rata-rata temperatur bumi sekitar 15°C (59°F). Pada lapisan atmosfer terkandung berbagai macam gas. Berdasarkan volumenya, jumlah jenis gas yang paling banyak di temukan pada atmosfer adalah nitrogen (N₂) dan oksigen (O₂). Nitrogen dan oksigen merupakan gas yang transparan (tembus-cahaya) terhadap radiasi *infrared*, atau dapat dikatakan bahwa nitrogen dan oksigen tidak menyerap ataupun memancarkan radiasi *infrared*. Namun ada gas lain di atmosfer yang sifatnya dapat menyerap radiasi *infrared*, gas-gas tersebut dikenal sebagai gas-gas

rumah kaca. Terdapat beberapa gas-gas rumah kaca yang dapat mempengaruhi sistem iklim di bumi adalah sebagai berikut:

1. Uap Air (H_2O)

Uap Air merupakan gas rumah kaca yang terkuat. Sebagian besar dari kerapatan uap air diatur oleh suhu. Ketika udara menjadi lebih hangat, maka udara dapat menahan uap air, jika udara akan mencapai titik jenuh maka uap air akan mengembun menjadi awan. Apabila udara sudah mencapai titik jenuh (saturasi), maka embun akan berubah menjadi butiran air. Proses ini dapat disebut sebagai proses presipitasi (proses hujan).

2. Karbon Dioksida (CO_2)

Karbon dioksida merupakan gas rumah kaca yang penting. Karbon dioksida dapat menyerap energi dengan panjang gelombang 15 μm . Hal ini membuat karbon dioksida menjadi penyerap yang baik untuk radiasi *infrared*. Karbon dioksida dihasilkan melalui empat proses yaitu fotosintesis, respirasi, dekomposisi atau pembusukan organik dan pembakaran.

3. Metana (CH_4)

Metana merupakan gas rumah kaca yang 30 kali lebih kuat dari karbon dioksida sebagai penyerap radiasi *infrared*. Namun komposisi metana di atmosfer lebih sedikit dibandingkan karbon dioksida, sehingga efek rumah kaca dari metana tidak sebesar karbon dioksida. Metana dihasilkan ketika bakteri menguraikan tanaman organik dan di lahan basah seperti rawa-rawa, dataran lumpur, sawah yang tergenang dan lahan gambut.

4. Halokarbon

Halokarbon merupakan kumpulan gas yang terdiri dari karbon, klorin, *fluor* dan hidrogen. *Chlorofluorocarbons* (CFC) merupakan gas yang termasuk di halokarbon. Gas CFC merupakan gas yang dihasilkan dari aktivitas manusia seperti lemari es dan AC. Gas CFC dapat menyerap lebih banyak radiasi *infrared* dibandingkan gas rumah kaca lainnya. Dampak dari 1 molekul gas CFC setara dengan 10.000 molekul karbon dioksida. Hal ini menyebabkan

gas CFC sebagai penyebab utama menipisnya lapisan ozon pada stratosfer bumi (lapisan sebelum troposfer).

5. Nitrogen Oksida (N_2O)

Nitrogen oksida merupakan gas yang relatif meningkat konsentrasinya di atmosfer, hal ini dikarenakan meningkatnya aktivitas pertanian. Nitrogen oksida berasal dari bakteri yang mengubah sejumlah nitrat (NO_3^-) dan amonia (NH_4^+) pada pupuk.

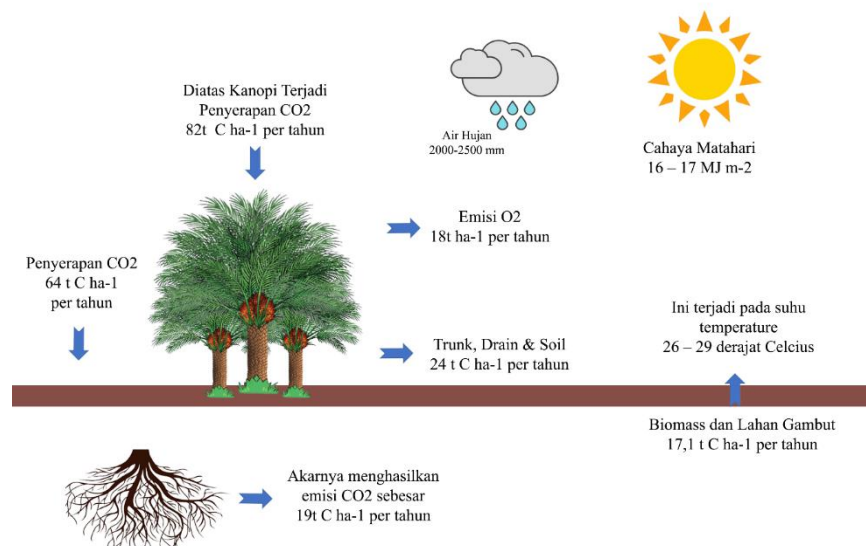
6. Ozon (O_3)

Ozon merupakan gas rumah kaca yang memiliki komposisi relatif rendah di troposfer (lapisan terendah atmosfer). Pada troposfer, ozon dibentuk berdasarkan kombinasi polutan yang sebagian besar berasal dari hidrokarbon dan nitrogen dioksida.

Efek dari gas rumah kaca tergantung pada kelimpahan gas rumah kaca di atmosfer dan seberapa banyak gas yang dapat menyerap panjang gelombang energi tertentu. Karbon dioksida dan uap air dapat menyerap panjang gelombang dalam kisaran 4 hingga 80 μm , dengan pengecualian pada panjang gelombang 8 μm dan 12 μm [7][8].

2.3 Emisi Karbon

Emisi adalah salah satu dari beberapa aspek lingkungan yang berbahaya dan dapat berdampak terhadap perubahan global di dunia. Emisi karbon adalah pelepasan karbon ke atmosfer. Emisi karbon juga berhubungan dengan emisi gas rumah kaca yang merupakan penyebab utama dari perubahan iklim. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) dalam Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan dan Verifikasi (MPV) nasional mencatat, tingkat emisi gas rumah kaca Indonesia mencapai 1637,16 Gigaton karbon dioksida ekuivalen ($Gg CO_2e$) pada tahun 2018 [14]. Namun, perlu dicatat bahwa total emisi Indonesia sangat bervariasi dari tahun ke tahun, dimana sebagian besar diakibatkan dari kebakaran lahan gambut [3].



Gambar 2.2 Proses Efek Rumah Kaca [3]

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Uning, emisi karbon pada kelapa sawit terjadi pada dua bagian, yaitu pada akar kelapa sawit dan pada bagian batang, saluran, dan tanah. Emisi karbon pada akar kelapa sawit diperkirakan sebesar 19 ton C ha⁻¹ per tahun dan rata-rata emisi karbon pada batang, saluran dan tanah sebesar 24 ton C ha⁻¹ per tahun. Sedangkan untuk penyerapan karbon pada kelapa sawit terjadi pada bagian atas kanopi kelapa sawit yaitu sebesar 82 ton C ha⁻¹ per tahun [3].

2.4 Kelembaban Udara dan Uap Air

Kelembaban di atmosfer dalam bentuk uap air, air dan es dapat mengendalikan sebagian besar aspek cuaca dan iklim di bumi. Jumlah uap air yang terkandung di udara dapat disebut sebagai kelembaban (*humidity*). Kelembaban dapat dirasakan apabila udara terasa lembab atau kering [8]. Data klimatologi untuk kelembaban yang umumnya dilaporkan adalah kelembaban relatif (*Relative Humidity-RH*). Rumus dari kelembaban relatif adalah sebagai berikut.

$$RH = \frac{p_a}{p_s} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana:

p_a = Tekanan uap air actual

p_s = Tekanan uap air pada kondisi jenuh

Kelembaban relatif adalah perbandingan antara tekanan uap air aktual (terukur) dengan tekanan uap air pada kondisi jenuh, dimana tekanan uap air adalah tekanan keseluruhan (parsial) uap air dalam udara dan tekanan uap air jenuh adalah tekanan uap air maksimum yang dapat dicapai udara pada suhu tertentu. Satuan yang biasanya digunakan dalam tekanan uap air adalah *pascal* (Pa). Tekanan uap air ditentukan oleh kerapatan uap air (*water vapor density*) dan juga suhu udara [9].

Uap air pada atmosfer mendorong banyak fenomena meteorologi penting. Persamaan *Clausius-Clapeyron* biasa digunakan untuk uap air dalam kondisi atmosfer tipikal (mendekati suhu dan tekanan standar). Pada persamaan *Clausius-Clapeyron* dibutuhkannya nilai *Specific Humidity*. *Specific Humidity* merupakan perbandingan antara massa uap air terhadap massa udara kering [10]. Persamaan *Clausius-Clapeyron* untuk uap air adalah sebagai berikut.

$$\frac{de_s}{dT} = \frac{L_v(T)e_s}{L_v T^2} \quad (2.2)$$

Dimana:

e_s = *Specific Humidity*

T = Suhu Udara

L_v = Latent Heat

R_v = *Universal Gas Constanta* (8,31 J/mol.k)

Namun pada rumus ini, masih adanya ketergantungan akan *latent heat* yang tidak dapat diabaikan. Oleh karena itu, Persamaan *August-Roche-Magnus* melakukan pengembangan dari persamaan tersebut.

$$e_s(T_a) = 0.611 \exp\left(\frac{17,502 (T_a)}{240,97 - T_a}\right) \quad (2.3)$$

Dimana:

$$e_s = \text{Specific Humidity (hPa)}$$

$$T_a = \text{Suhu Udara dalam Celcius (}^\circ\text{C)}$$

Setelah ditemukannya nilai dari *specific humidity*, maka langkah selanjutnya adalah dengan mengetahui nilai dari *absolute humidity* [11]. *Absolute humidity* adalah total massa uap air per satuan volume udara [10]. Untuk mengetahui nilai dari *absolute humidity* adalah sebagai berikut.

$$e_a(T_a) = RH (e_s \times T_a) \quad (2.4)$$

Dimana:

$$e_a = \text{Absolute Humidity (hPa)}$$

$$RH = \text{Relative Humidity (hPa)}$$

$$T_a = \text{Suhu Udara dalam Celcius (}^\circ\text{C)}$$

Setelah diketahui nilai dari *absolute humidity*, maka didapatkan nilai uap air sebagai berikut.

$$p_v = \frac{e_a \times M_w}{R_v \times t_a} \quad (2.5)$$

Dimana:

$$p_v = \text{Uap Air (g/m}^2\text{)}$$

$$e_a = \text{Absolute Humidity (hPa)}$$

$$M_w = \text{Molecular Weight of Water (18,02 g/mol)}$$

$$R_v = \text{Universal Gas Constanta (8,31 J/mol.k)}$$

$$t_a = \text{Suhu Udara dalam Kelvin (}^\circ\text{K)}$$

Persamaan ini biasa juga disebut dengan *Magnus-Tetens Approximation*. Berdasarkan persamaan tersebut diketahui bahwa tekanan uap air saturasi dapat berubah secara eksponensial dengan kondisi atmosfer. Hal ini dikarenakan kapasitas penahanan air pada atmosfer dapat berubah-ubah [11]. Saturasi merupakan kondisi apabila udara mencapai titik maksimal dalam menahan uap air, maka kondisi akan berubah menjadi kondisi jenuh dimana dalam kondisi ini akan

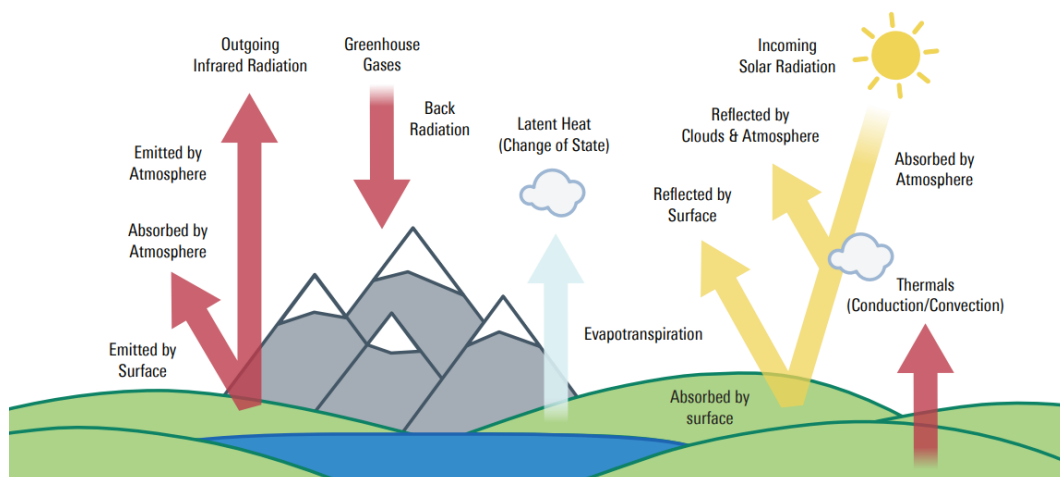
terjadi proses pengembunan. Apabila kondisi suhu dan tekanan uap air untuk beberapa volume udara tidak mencapai titik maksimal, maka kondisi tersebut dinyatakan sebagai kondisi tidak jenuh (*unsaturated*) [8].

2.5 Flux Measurement, Eddy Covariance Method

Ditemukan oleh Montgomery (1948), Swinbank (1951) dan Obuhov (1951), metode Eddy Covariance merupakan metode untuk mengukur pertukaran panas, massa, dan momentum antara permukaan dan permukaan di atas atmosfer [12].

2.5.1. Earth's Energy Budget

Sebelum pembahasan secara detail mengenai metode Eddy Covariance, maka perlu dipahami terdahulu mengenai pertukaran energi yang ada pada bumi atau biasa disebut dengan *Earth's Energy Budget*.



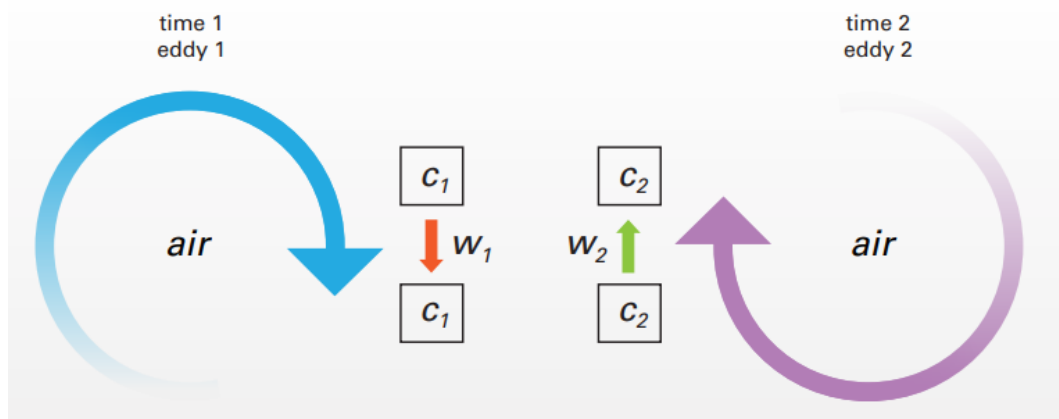
Gambar 2.3 *Earth's Energy Budget* [4]

Dapat kita lihat pada Gambar 2.3 bahwa beberapa energi dari matahari dipantulkan kembali oleh awan, atmosfer dan permukaan bumi, energi tersebut dipantulkan ke angkasa sebagai *thermal radiation* (seperti *infrared* atau *longwave*). Energi matahari yang tidak terpantulkan ke angkasa akan digunakan untuk menyediakan energi *latent heat flux* (energi yang dibutuhkan untuk proses evaporasi air dari permukaan bumi) dan proses transpirasi pada tumbuhan. Tentunya proses pertukaran energi pada bumi berhubungan dengan perhitungan fluks dengan metode Eddy Covariance. Perangkat yang digunakan untuk melakukan perhitungan

fluks akan mengevaluasi flus dari *sensible heat* (proses permukaan bumi memantulkan energi matahari ke atmosfer) dan fluks dari *latent heat* [4].

2.5.2. Eddy Flux

Dalam istilah yang sederhana, fluks merupakan jumlah dari sesuatu bergerak melalui satuan luas per satuan waktu. Prinsip fisika umum untuk pengukuran *Eddy flux* adalah mengukur berapa banyak molekul yang bergerak secara *upward* dan *downward* dari waktu ke waktu. Secara matematis, fluks vertikal dapat direpresentasikan sebagai kovariansi antara kecepatan vertikal, pergerakan *upward* dan *downward*, dan juga konsentrasi dari entitas gas.



Gambar 2.4 Pergerakan *Eddy Flux* [4]

Pada gambar 2.4 merupakan ilustrasi dari *Eddy flux*. Apabila pada suatu momen, molekul c_1 pada eddy 1 bergerak *downward* dengan kecepatan w_1 . Kemudian pada momen berikutnya di titik yang sama, molekul c_2 pada eddy 2 bergerak *upward* dengan kecepatan w_2 . Oleh karena itu pergerakan molekul pada momen tertentu memiliki karakteristik masing masing seperti konsentrasi dari gas, temperatur dan juga kelembabannya. Dengan melakukan perhitungan pada setiap karakteristik dan juga kecepatan angin vertikal, tentunya kita dapat menghitung fluks *upward* atau *downward* pada konsentrasi gas tertentu. Contoh, apabila pada momen tertentu kita mengetahui terdapat 3 molekul dari CO_2 bergerak *upward*, kemudian pada momen berikutnya hanya 2 molekul dari CO_2 yang bergerak *downward*. Maka dapat kita asumsikan bahwa *net flux* pada momen ini adalah *upward*, dimana terdapat 1

molekul CO₂ yang terlepas. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Frankie Kiew, bahwa satuan waktu yang digunakan untuk melakukan perhitungan flux adalah menggunakan raw data eddy station selama setengah jam [6].

2.5.3. Variabel Dalam Eddy Covariance

Menentukan tujuan pengukuran dan memilih *ouput* dan variabel yang dibutuhkan merupakan langkah pertama yang penting dalam alur kerja Eddy Covariance. Idealnya penentuan variabel dan tujuan pengukuran dapat membantu dalam alur kerja Eddy Covariance. Idealnya penentuan variabel dan tujuan pengukuran dapat membantu dalam menentukan instrumen apa saja yang harus digunakan dan bagaimana pengukuran yang harus dilakukan. Instrumen Eddy Covariance sendiri memiliki beragam keperluan variabel sesuai dengan tujuannya masing masing.



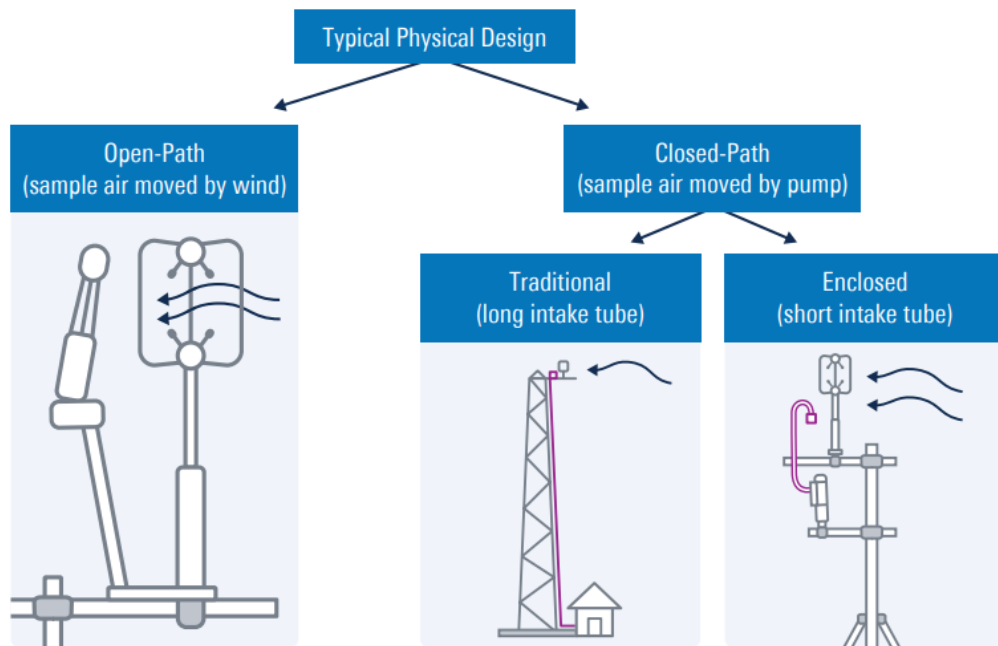
Gambar 2.5 Variabel Pada Instrumen Eddy Covariance [4]

Variabel yang paling umum dibutuhkan oleh semua instrumen adalah variabel untuk *turbulent transport* itu sendiri yang ada pada instrumen “*Minimal Flux*

Station”. Variable yang dibutuhkan merupakan nilai tiga komponen kecepatan angin 3 dimensi (u, v, w), *temperature sonic* (T_s), konsentrasi gas yang diinginkan dan juga konsentrasi uap air. Pengukuran ini harus dilakukan secara cepat untuk dapat menghitung fluks gas. Instrumen “*Typical Flux Station*” memiliki variabel yang sama dengan *Minimal Flux Station*. Namun terdapat beberapa tambahan seperti variabel cuaca terukur (suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan jumlah curah hujan). Instrumen “*Full Flux Station*” mencakup semua variabel yang ada pada *Typical Flux Station*. Tambahan yang ada pada *Full Flux Station* adalah nilai konsentrasi gas dan uap air dibawah tingkat pengukuran fluks, data radiasi matahari dan nilai fluks dari kelembaban dan panas tanah (*soil heat*) [4]. Pada penelitian, variabel yang akan dijadikan acuan adalah variabel yang ada pada *Full Flux Station*

2.5.4. Physical Instrument

Instrumen yang digunakan untuk pengukuran *Full Flux Station* antara lain adalah sonic anemometer dan *open-path gas analyzer*. *Physical instrument* yang digunakan pada *gas analyzer* dapat menyesuaikan dengan lingkungan pengukuran, selain *open-path gas analyzer* terdapat juga *closed-path analyzer*. Gas analyzer yang dapat digunakan untuk pengukuran *eddy flux* telah tersedia sejak akhir tahun 1970. Secara tradisional, *high speed gas analyzer* memiliki kecepatan respons sebesar 10 Hz atau lebih tinggi untuk pengukuran *eddy flux* yang didesain dengan konsep *open-path* atau *closed-path*.



Gambar 2.6 *Typical Physical Design* [4]

Pada desain *open path*, perangkat biasanya memiliki desain yang *compact* dan tidak membutuhkan *enclosure*. Sampel udara yang digunakan pada desain ini adalah udara yang bergerak di udara. Pada desain ini, posisi *sampling cell* berada di dekat sonic anemometer dan perangkat lainnya dengan jarak pemisah sekitar 10 – 20 cm, hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya distorsi pada aliran udara yang melalui *gas analyzer*. Pada desain *closed path*, instrumen memiliki dimensi yang relatif besar dikarenakan membutuhkan *weather enclosure* atau *climate control box*. Sampel udara yang digunakan pada desain ini adalah sampel udara yang diambil melalui *intake tube* yang kemudian akan di analisa pada *gas analyzer cell* melalui sebuah pompa. Pada desain ini, *gas analyzer cell* berada di dekat bagian bawah tower atau beberapa meter di bawah sonic anemometer, hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya distorsi pada aliran udara. Kemudian untuk posisi dari *intake tube* berada di dekat sonic anemometer dengan jarak pemisah sekitar 5 – 10 cm. Pada desain *enclosed path*, instrument memiliki desain yang tidak berbeda jauh dengan *closed path*. Perbedaan dari desain *enclosed path* adalah sampel udara yang diambil melalui intake tube memiliki jarak yang pendek, dan sampel udara dapat diambil menggunakan kipas atau pompa. Pada desain ini, *gas analyzer* berada di

bawah sonic anemometer dengan jarak 10 – 100 cm dan *intake tube* berada di dekat sonic anemometer dengan jarak pemisah sebesar 5 – 10 cm [4]. Pada penelitian ini desain yang digunakan sebagai acuan adalah desain *open path*.

2.6 Sangkar Cuaca Meteorologi

Pengukuran suhu udara untuk kepentingan klimatologi harus terhindar dari beberapa macam gangguan yang dapat mengurangi kemurnian suhu atmosfer. Beberapa gangguan yang dihindari adalah:

1. Pengaruh radiasi matahari langsung dan pemantulan oleh benda sekitar
2. Gangguan tetesan air hujan
3. Tiupan angin yang terlalu kuat
4. Pengaruh lokal gradien suhu tanah akibat pemanasan dan pendinginan permukaan tanah.

Untuk mencegah terjadinya gangguan pada pengukuran suhu maka diperlukannya tempat untuk menempatkan alat pengukur dalam suatu tempat yang biasa disebut dengan sangkar cuaca. Sangkar cuaca atau sangkar meteorologi merupakan sebuah bangunan yang memiliki bentuk seperti sangkar dan terbuat dari kayu. Bangunan ini berfungsi untuk melindungi peralatan meteorologi dari hujan dan radiasi panas langsung.



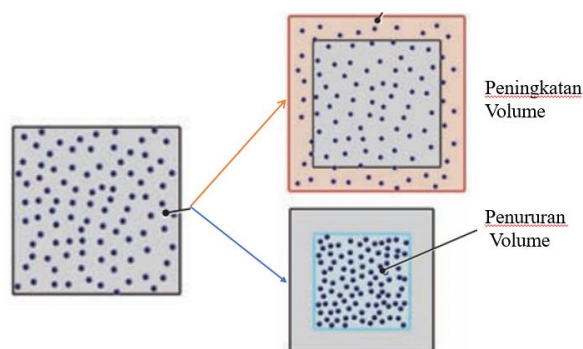
Gambar 2.7 Sangkar Meteorologi [13]

Spesifikasi umum sangkar cuaca adalah terbuat dari kayu yang kuat dan tahan lama, memiliki atap, plafon, lantai dan dinding dengan ventilasi ganda dan bercat putih, hal ini bertujuan untuk mengurangi penyerapan dari panas matahari. Fungsi

ventilasi ganda pada sangkar cuaca adalah untuk merendam turbulensi dari arah luar sangkar. Hal ini bertujuan agar data yang didapatkan tidak terpengaruh oleh gangguan-gangguan [13].

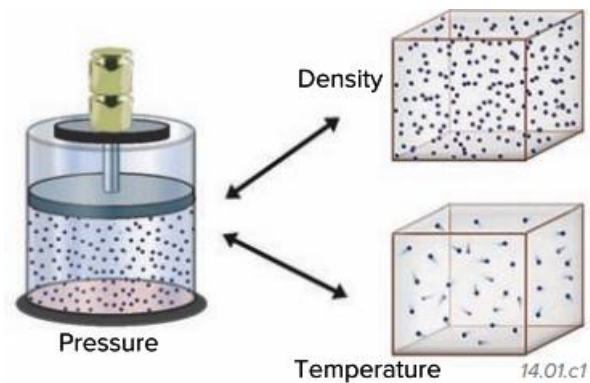
2.7 *Fundamental Driver of Motion in The Atmosphere*

Sebagian besar komponen yang ada pada atmosfer terdiri dari gas. Berdasarkan sifatnya, gas memiliki sifat volume yang mudah mengembang atau menyusut, hal ini merupakan respon gas terhadap perubahan suhu dan tekanan. Variasi suhu dan perubahan tekanan pada gas merupakan pendorong utama pergerakan pada atmosfer. Pada Gambar 2.8 kita dapat melihat bagaimana sejumlah gas bereaksi terhadap kenaikan atau penurunan suhu.



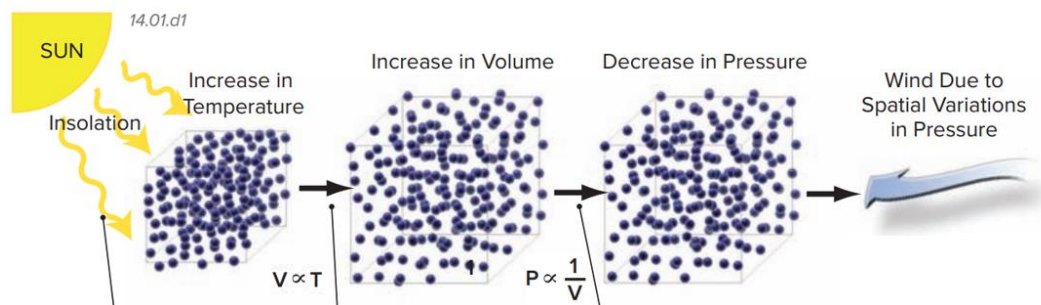
Gambar 2.8 Perubahan Volume Gas Terhadap Suhu [8]

Seperti pada Gambar 2.8 bahwa peningkatan suhu pada suatu gas akan membuat molekul gas menjadi lebih energik, sehingga diperlukannya volume yang lebih besar untuk menampung jumlah gas yang sama. Sedangkan jika suhu udara mendingin maka energi kinetik molekul-molekul gas akan melemah sehingga volume akan menyusut lebih kecil. Hal ini yang menyebabkan bagaimana volume gas dapat bereaksi terhadap perubahan suhu. *Ideal Gas Law* merupakan hasil penggabungan dari *Charles Law* dan *Boyle Law*, dimana *Charles Law* menghubungkan volume dengan suhu sedangkan *Boyle Law* menghubungkan volume dengan tekanan. Dengan menggabungkan kedua hukum tersebut, maka *Ideal Gas Law* merupakan kaitan antara suhu, tekanan dan massa jenis (volume). Aspek dasar dari *Ideal Gas Law* adalah untuk membantu dalam menjelaskan proses yang menghasilkan pergerakan energi di atmosfer.



Gambar 2.9 Hubungan Antara Suhu, Tekanan dan Massa Jenis Berdasarkan *Ideal Gas Law* [8]

Ideal Gas Law dapat dinyatakan seperti pada Gambar 2.9 dimana pada gambar ini terdapat dua sisi persamaan. Pada sisi kiri gambar persamaannya adalah tekanan, sedangkan pada sisi kanan persamaannya adalah massa jenis dan suhu. Ideal Gas Law menyatakan apabila kita menaikkan suatu variabel pada salah satu sisi maka variabel pada sisi persamaan yang lain harus berubah. Contoh pada Gambar 2.9 apabila tekanan mengalami kenaikan maka massa jenis dan suhu akan mengalami penurunan. Cara gas merespons perubahan suhu dan tekanan merupakan penggerak dasar pergerakan di atmosfer (*Fundamental Driver of Motion in The Atmosphere*).



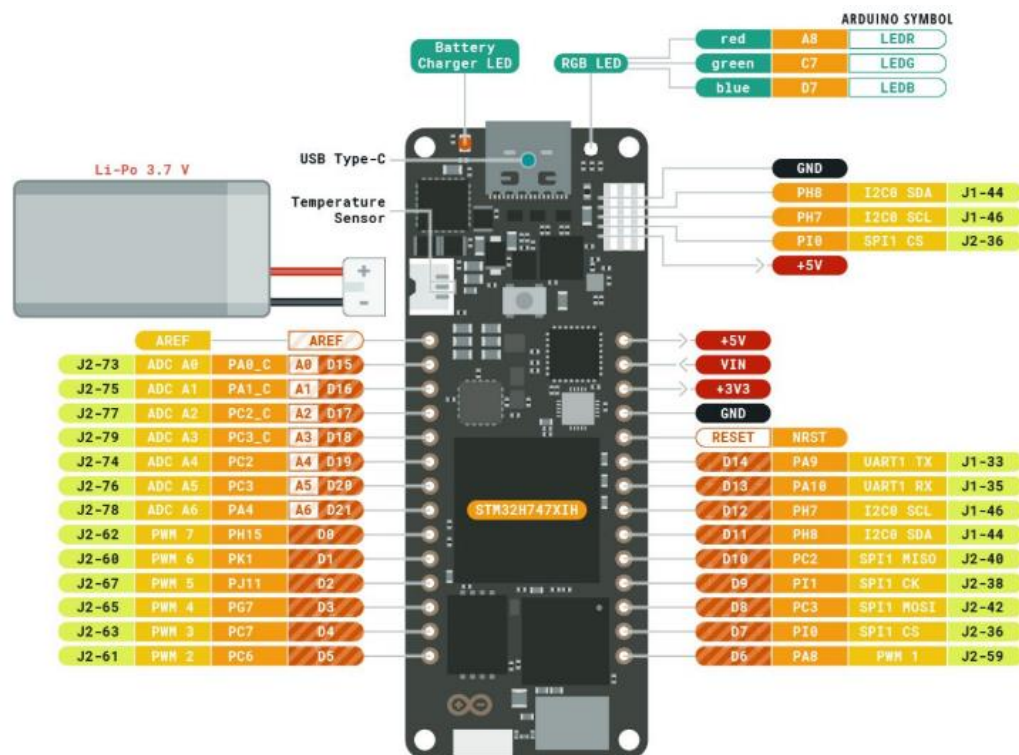
Gambar 2.10 *Fundamental Driver of Motion in The Atmosphere* [8]

Pada Gambar 2.10 dapat kita lihat bahwa matahari merupakan sumber energi utama bagi bumi. Isolasi pada matahari terpancar pada permukaan bumi yang kemudian memanaskan sejumlah gas yang melapisi atmosfer. Peningkatan suhu mengakibatkan pemuaian gas karena peningkatan energi kintek molekul dalam pemuaian gas sehingga volume menjadi bertambah. Peningkatan volume dapat mengakibatkan penurunan tekanan dikarenakan massa udara menjadi lebih kecil dibandingkn udara di sekitarnya. Hal tersebut menyebabkan adanya

pergerakan udara secara vertikal dan lateral. Pergerakan tersebut terjadi saat suhu udara panas naik bergerak mengisi area yang memiliki udara lebih dingin [8].

2.8 Arduino Portenta H7

Arduino Portenta H7 merupakan mikrokontroler yang memiliki prosesor utama *dual core* STM32H747 dalam satu *board* yaitu Cortex M7 pada 480 Mhz dan Cortex M4 pada 240 Mhz. Sistem *dual core* menjadi hal unggul pada Portenta H7 karena prosesor dapat menjalankan tugas secara paralel. Portenta H7 memiliki 2 konektor *high density* tambahan sebanyak 80 pin dibagian bawah *board* yang bertujuan untuk memberikan Portenta H7 skalabilitas dalam pengaplikasiannya sesuai dengan kebutuhan masing-masing *user*. Dengan segala keunggulannya menjadikan Portenta H7 dua kali lipat dapat berjalan sebagai *embedded microcontroller* dan juga sebagai prosesor utama pada *embedded computer*. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan Arduino Portenta H7 seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Mikrokontroler Arduino Portenta H7

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

Portenta H7 memiliki banyak bagian, namun fitur-fitur utama pada Portenta H7 adalah sebagai berikut:

a. Prosesor *dual core* STM32H747

Prosesor utama pada Portenta H7 adalah *Dual core* STM32H747 termasuk Cortex M7 yang bekerja pada 480 MHz dan Cortex M4 yang berjalan pada 240 MHz berkomunikasi melalui mekanisme *Remote Procedure Call* yang memungkinkan pemanggilan fungsi pada prosesor lain dengan lancar untuk *multitasking*. Manfaat prosesor utama pada Portenta H7 adalah mampu melakukan pembelajaran algoritma *machine learning* secara bersamaan. Seperti contoh, Portenta H7 dapat melakukan eksekusi *code* yang di *compile* Arduino dengan Micropython dimana kedua *core* dapat berkomunikasi satu sama lain.

b. Modul WiFi atau *On-board Connectivity*

Modul on-board wireless pada Portenta H7 memungkinkan untuk mengelola konektivitas WiFi dan *Bluetooth* secara bersamaan. *WiFi interface* pada Portenta H7 dapat dioperasikan sebagai *Access Point*, *Station* ataupun *dual mode* simultan AP/STA. Kecepatan transfer pada modul WiFi Portenta H7 dapat menangani hingga 65 Mbps. *Bluetooth interface* pada Portenta H7 dapat mendukung *Bluetooth Classic* dan juga *Bluetooth Low Energy*.

c. *Port*

Port memiliki bertugas sebagai penghubung berbagai perangkat lain ke mikrokontroler, seperti sensor, memori dan lain-lain.

Spesifikasi yang dimiliki Arduino Portenta H7 berdasarkan mikrokontroler STM32H747 dijelaskan lebih lanjut pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Portenta H7

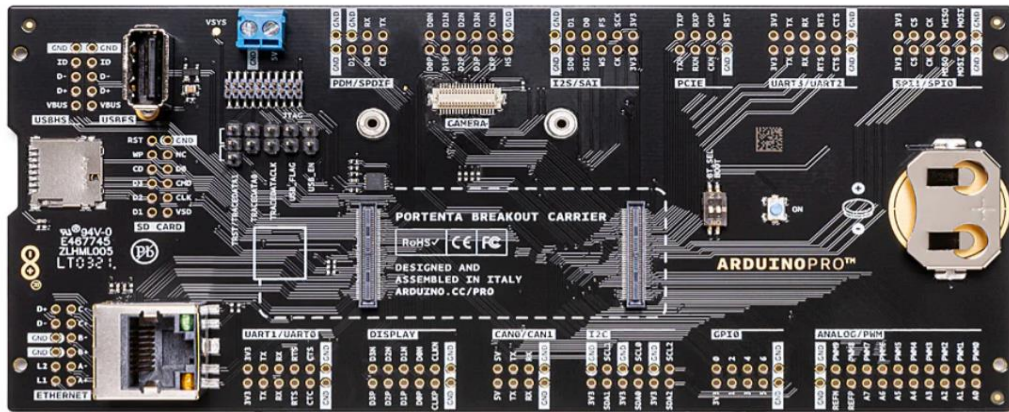
[sumber: Arduino Portenta H7, <https://docs.arduino.cc/>.]

Microkontroler	STM32H747XI <i>dual</i> Cortex®-M7+M4 32bit low power Arm® MCU
Modul Radio	Murata 1DX <i>dual</i> WiFi 802.11b/g/n 65 Mbps dan <i>Bluetooth</i> ® (<i>Bluetooth</i> ® <i>Low Energy</i> . 5 via <i>Cordio stack</i> , <i>Bluetooth</i> ® <i>Low Energy</i> 4.2 via <i>Arduino Stack</i>)

<i>Secure Element</i>	NXP SE0502
<i>Board Power Supply (USB/VIN)</i>	5V
<i>Circuit Operating Voltage</i>	3.3V
<i>GPU</i>	Chrom-ART <i>graphical hardware Accelerator</i> TM
<i>Timers</i>	22x <i>timers and watchdogs</i>
<i>UART</i>	4x <i>ports (2 with flow control)</i>
<i>Ethernet PHY</i>	10 / 100 Mbps (<i>hanya melalui port ekspansi</i>)
<i>SD Card</i>	<i>Interface for SD Card connector</i> (<i>hanya melalui port ekspansi</i>)
<i>Temperature</i>	-40 °C to +85 °C
<i>High-density Connectors</i>	<i>Two 80 pin connectors</i>
<i>Camera Interface</i>	8-bit, <i>up to 80 MHz</i>
<i>ADC</i>	3× <i>ADCs pada 16-bit maks. resolution (up to 36 channels, up to 3.6 MSPS)</i>
<i>DAC</i>	2× <i>12-bit DAC (1 MHz)</i>
<i>USB-C</i>	<i>Host / Device, DisplayPort out, High / Full Speed, Power delivery</i>

2.9 BreakoutBoard Portenta H7

Breakoutboard Portenta H7 dirancang untuk membantu *user* dalam mengembangkan prototipe untuk memaksimalkan *high-density connectors* pada kedua sisi *board*. *Breakoutboard Portenta H7* memberikan fleksibilitas total untuk mengembangkan *software* dan menguji sinyal *input* dan *output* pada *high-density connectors*. Dengan bantuan *Breakoutboard*, *Portenta* dapat bertindak sebagai langkah awal penelitian pada pendidikan ke ranah *industrial grade control* dan *embedded systems*. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan *Arduino Portenta Breakoutboard* seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Arduino Portenta *Breakoutboard*

[sumber: Portenta Breakout, <https://store-usa.arduino.cc/>]

Spesifikasi yang dimiliki Arduino Portenta *Breakoutboard* dijelaskan lebih lanjut pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Portenta *Breakoutboard*

[sumber: Portenta Breakout, <https://store-usa.arduino.cc/>]

USB port	USBA
Ethernet	RJ45 up to 1Gb/s
Memory slot	Micro SD card
Debug	MIPI 20T JTAG with trace capability
Connectors	HD male/female
RTC power battery	CR2032
Length	164 mm
Width	72 mm
Weight	0,069 Kg

2.10 DFRobot SEN0220

DFRobot 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 2.13.



Gambar 2.13 Sensor *Infrared* CO₂ DFRobot SEN0220
 [sumber: Gravity: UART Infrared Carbon Dioxide Sensor,
<https://www.dfrobot.com/>]

Spesifikasi yang dimiliki Sensor *Infrared* CO₂ DFRobot SEN0220 dijelaskan lebih lanjut pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi Sensor *Infrared* CO₂ DFRobot SEN0220

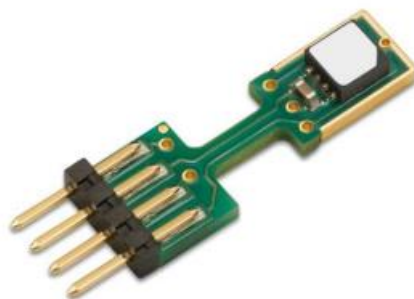
[sumber: Gravity: UART Infrared Carbon Dioxide Sensor,
<https://www.dfrobot.com/>]

<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>	$\pm (100\text{ppm} + 6\% \text{ readings})$
<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 (<i>No condensation</i>)
<i>Lifespan</i>	>5 years
<i>Dimension (PCB)</i>	21*27.1 mm
<i>Features</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>High Accuracy</i> 2. <i>Large Range</i> 3. <i>Long Lifespan</i> 4. <i>Auto Temperature Compensation</i> 5. <i>Water Vapor Interference Resistance</i> 6. <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 2.14



Gambar 2.14 Sensirion SHT85

[sumber: Youngusa, <https://sensirion.com/products/catalog/SHT85/>]

Spesifikasi yang dimiliki Sensirion SHT85 dijelaskan lebih lanjut pada tabel 2.4

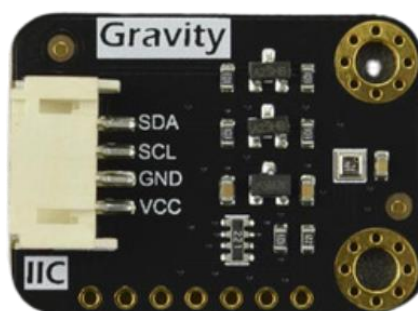
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensirion SHT85

[sumber: Youngusa, <https://sensirion.com/products/catalog/SHT85/>]

<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 Gravity BMP388

Sensor tekanan *barometric* BMP388 merupakan sensor yang memiliki fungsi untuk pengukuran suhu dan tekanan udara. Dibandingkan dengan versi sebelumnya BMP180 dan BMP280, BMP388 merupakan sensor yang memiliki konsumsi daya yang rendah, resolusi yang lebih tinggi, dan kecepatan dalam pengambilan data yang lebih tinggi. BMP388 memiliki teknologi sensor tekana resistif Piezo Bosch yang menampilkan akurasi tinggi serta konsumsi daya yang rendah dan juga ketahanan EMC yang tinggi. BMP388 memiliki akurasi sekitar ± 8 Pa yang setara dengan perbedaan ketinggian sekitar ± 0.5 m, dan suhu akurasi mutlak ± 0.5 °C untuk kisaran suhu antara 0 °C sampai dengan 65 °C. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan Gravity BMP388 seperti pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Sensor Gravity BMP388

[sumber: Gravity:BMP388 Barometric Pressure Sensors,

<https://www.dfrobot.com/>]

Spesifikasi yang dimiliki Gravity BMP388 dijelaskan lebih lanjut pada tabel 2.5

Tabel 2.5 Spesifikasi Gravity BMP388

[sumber: Gravity:BMP388 Barometric Pressure Sensors,

<https://www.dfrobot.com/>]

<i>Operating Voltage</i>	3.3V-5.5V
<i>Operating Current</i>	0.5mA
<i>Operating Range</i>	300-1250 hPa
<i>Relative Accuracy</i>	± 8 Pa (equivalent to $\pm 0.5\text{m}$ @700-900hPa, 25°C-40°C)
<i>Absolute Accuracy</i>	± 50 Pa (0°C-65 @300-1100 hPa)
<i>Temperature Coefficient Offset</i>	± 0.75 Pa/K (-20°C-65°C @700-1100 hPa)
<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-I2C or SPI (SPI is only used at 3.3V)

2.13 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan *software* yang berfungsi untuk membangun program yang dijalankan pada *Arduino Board* seperti mikrokontroler. Arduino IDE menyediakan *platform* terintegrasi menggunakan bahasa C atau C++. *Program code* yang ditulis untuk Arduino dikenal sebagai sketsa, oleh karena itu, *software* yang biasanya digunakan untuk mengolah sketsa adalah Arduino IDE. Pada Arduino IDE terdapat beberapa *tools* seperti *text editor* yang berfungsi untuk menulis kode sederhana menggunakan bahasa C++, *Message Area* yang berfungsi untuk menampilkan apabila terjadi kesalahan dan juga dapat digunakan sebagai *feedback* untuk menyimpan dan mengeksport kode, *Console Toolbar* yang berisikan tombol *verify*, *upload*, *new*, *open*, *save* dan *serial monitor*, dan terakhir adalah *development board* dan *serial port* yang digunakan pada bagian sudut kanan bawah tampilan.

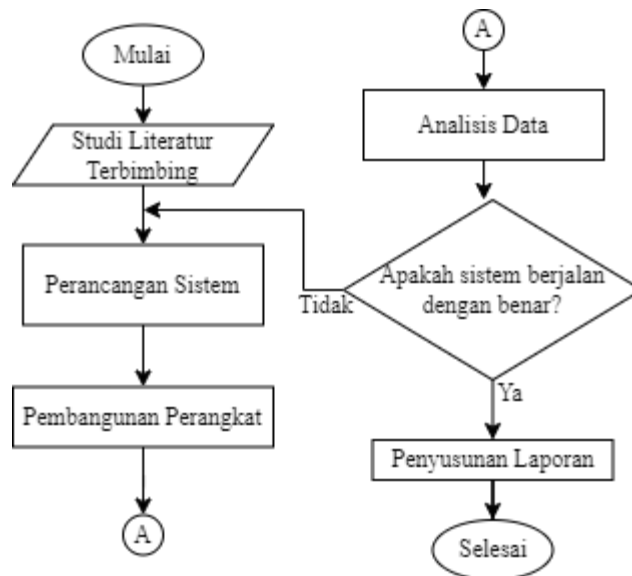
III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Dalam penelitian skripsi ini penulis melakukan observasi dan eksperimen selama 11 bulan, di mulai dari Agustus 2022 – Agustus 2023 di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro Univeritas Lampung.

3.2. Diagram Alir Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, terdapat tahap yang perlu dilalui oleh penulis dalam membangun sebuah perangkat *eddy station*. Tahap tersebut dijelaskan melalui diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian, merupakan tahap-tahap yang dilakukan penulis dalam membangun sebuah perangkat *eddy station*, dimana setiap tahap dari diagram alir akan dijelaskan lebih detail sebagai berikut:

1. Studi Literatur Terbimbing

Tahap studi literatur terbimbing merupakan tahap dimana penulis membaca, mengumpulkan, dan mencatat informasi yang dibutuhkan untuk membangun perangkat *eddy station*. Dalam tahap studi literatur terbimbing ini, terdapat proses bimbingan dengan dosen pembimbing mengenai permasalahan yang ditemukan selama studi literatur dan juga melakukan riset mengenai komponen yang diperlukan untuk membangun perangkat *eddy station*.

2. Perancangan Sistem

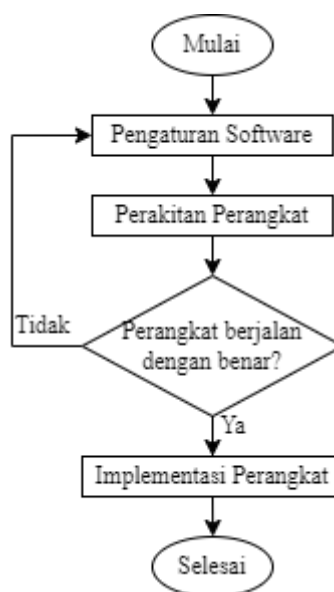
Setelah melakukan studi literatur terbimbing, maka tahap selanjutnya yaitu melakukan perancangan sistem perangkat *monitoring*. Pada tahap perancangan sistem, penulis melakukan beberapa perancangan, yaitu:

- a. Skematik Sistem Perangkat
- b. Perancangan *Power Supply* Perangkat
- c. Perancangan Komunikasi Perangkat
- d. Skema Implementasi Perangkat

Setelah perancangan telah dibuat maka tahap selanjutnya adalah melakukan pembangunan perangkat *eddy station*.

3. Pembangunan Perangkat

Pada tahap pembangunan perangkat, penulis akan mulai merakit alat sesuai dengan rancangan yang telah dibuat pada tahap perancangan sistem. Dalam proses pembangunan perangkat *eddy station*, terdapat beberapa tahap yang akan dijelaskan pada diagram berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Pembangunan Perangkat

Tahap awal yang dilakukan pada pembangunan perangkat dimulai dengan melakukan pengaturan *software*, dimana pada tahap ini penulis melakukan pembangunan program pada mikrokontroler dan *data logger*. Kemudian tahap selanjutnya adalah perakitan perangkat dengan menggabungkan perangkat, menyesuaikan komunikasi dan daya perangkat. Tahap selanjutnya merupakan implementasi perangkat sesuai dengan perancangan.

4. Analisis Data

Setelah perangkat sudah di implementasikan dan dapat berjalan dengan baik, maka dapat dilakukan pengambilan data dari perangkat, kemudian dilakukan analisis data.

5. Penyusunan Laporan

Hasil analisis data yang telah didapatkan akan ditulis dan dilaporkan pada tahap penyusunan laporan sebagai hasil penelitian dalam bentuk laporan skripsi.

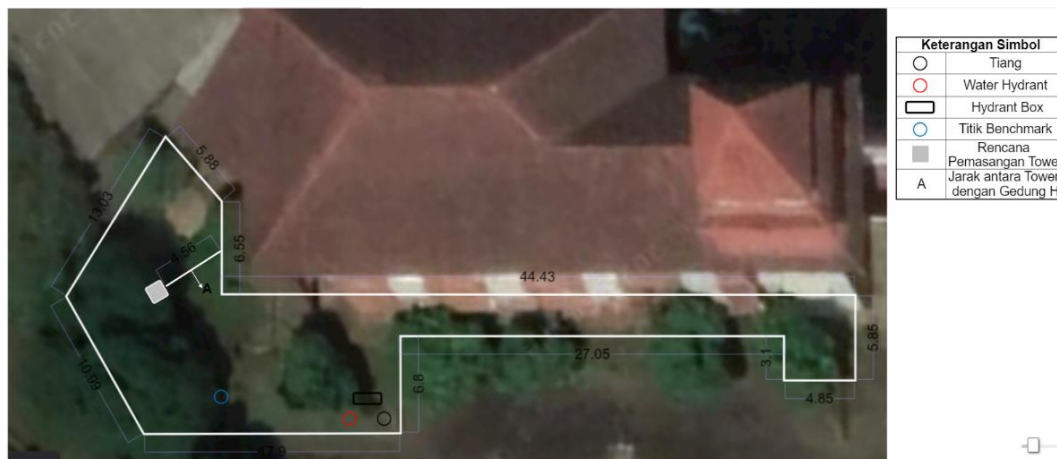
3.3. Perancangan Sistem

Penelitian skripsi yang dilakukan penulis merupakan bagian dari riset program Grand Riset Sawit (GRS) “*Monitoring dan Controlling Keseimbangan Emisi Karbon Perkebunan Kelapa Sawit di Lahan Gambut dan Non-Gambut Dengan Metode Kecerdasan Buatan*” dengan fokus riset adalah pengembangan model

sistem *monitoring* keseimbangan emisi karbon pada perkebunan kelapa sawit. Oleh karena itu, penelitian skripsi yang dilakukan penulis merupakan bagian langkah awal dari riset ini, yaitu melakukan pengembangan perangkat *eddy station*.

3.3.1. Skenario Sistem Perangkat *Eddy Station*

Sesuai dengan tujuan penelitian, bahwa skripsi ini bertujuan untuk membangun dua buah perangkat *eddy station* yang dapat mengukur emisi karbon yang ada di sekitar Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung. Dalam mengukur emisi karbon, maka terdapat beberapa variabel yang diperlukan yaitu Konsentrasi Gas, Konsentrasi Uap Air dan Variabel Cuaca (Suhu, Kelembaban dan Tekanan Udara).



Gambar 3.3 Lokasi Tower Tempat Pemasangan Perangkat *Eddy Station*

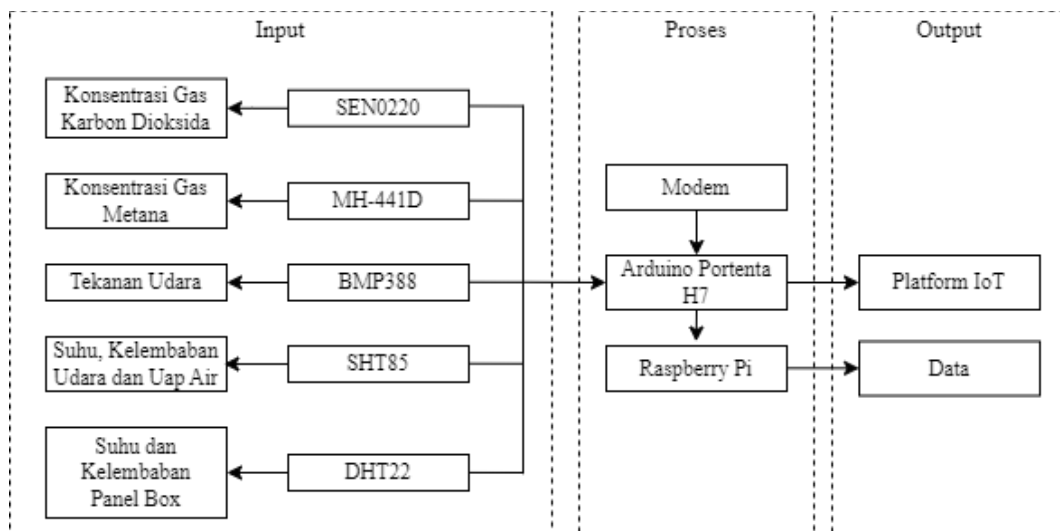
[Koleksi Pribadi]

Skenario yang dirancang pada penelitian ini adalah dengan memasang dua buah perangkat *eddy station* pada tower di belakang Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung pada ketinggian 1 dan 7 m. Hal ini bertujuan untuk melakukan perbandingan data emisi karbon pada ketinggian yang berbeda. Sesuai dengan variabel yang dibutuhkan perangkat *eddy station*, komponen yang dibutuhkan pada penelitian ada pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komponen Perangkat *eddy station*

No.	Nama Sensor	Keterangan Penggunaan
1.	Arduino Portenta H7 dan Breakoutboard Arduino Portenta H7	Sebagai mikrokontroler yang merupakan pusat kontrol dari pengolahan data
2.	DFRobot SEN0220	Sebagai pengukur konsentrasi gas karbon dioksida (CO ₂)
3.	Winsen MH-441D	Sebagai pengukur konsentrasi gas metana (CH ₄)
4.	Gravity BMP388	Untuk mengukur tekanan udara
5.	Sensirion SHT85	Sebagai pengukur suhu, kelembaban udara dan Uap Air (H ₂ O)
6.	DFRobot DHT22	Sebagai pengukur suhu dan kelembaban pada panel box
7.	Solar Panel	Digunakan sebagai sumber listrik perangkat
8.	MPPT	Sebagai modul <i>Charger Control</i>
9.	Modem	Sebagai penghubung perangkat ke layanan internet

Skenario pengukuran emisi karbon pada perangkat *eddy station* ada pada Gambar 3.4 berikut.

Gambar 3.4 Skema Sistem Perangkat *eddy station*

Pada skenario pengukuran emisi karbon pada perangkat *eddy station*, Raspberry Pi akan memberikan perintah pada Arduino Portenta H7 untuk melakukan *sensing* selama 30 menit. Setelah mendapat perintah dari Raspberri Pi, Arduino Portenta H7

akan melakukan perintah ke setiap sensor untuk mendeteksi kondisi lingkungan sekitar selama 30 menit. Pada saat perangkat sedang dalam proses *sensing*, Arduino Portenta H7 akan memerintah setiap sensor untuk melakukan *sensing* sebanyak maksimal 7Hz pada setiap detiknya. Setelah *eddy station* melakukan *sensing* selama 30 menit, maka Arduino Portenta H7 akan masuk pada kondisi *idle* selama 30 menit sebelum kembali melakukan *sensing* pada 30 menit selanjutnya. Terdapatnya kondisi *sensing* dan kondisi *idle* merupakan referensi yang didapatkan berdasarkan Teori *Eddy Flux* pada Bab 2.5.2 *Eddy Flux*. Setiap sensor yang ada pada *eddy station* memiliki fungsi yang berbeda-beda, SEN0220 akan mendeteksi konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂), MH-441D akan mendeteksi konsentrasi gas metana (CH₄), BMP388 akan mendeteksi tekanan udara, SHT85 akan mendeteksi suhu dan kelembaban udara. Untuk mendapatkan nilai variabel konsentrasi uap air, maka nilai suhu dan kelembaban udara yang didapatkan oleh SHT85 akan dikonversi menjadi nilai konsentrasi uap air. Karena perangkat *eddy station* berada di luar ruangan, maka diperlukannya data suhu dan kelembaban pada panel box dengan tujuan untuk mengantisipasi adanya jamur yang disebabkan oleh perubahan cuaca lingkungan.

Kemudian data setiap sensor yang didapatkan oleh Arduino Portenta H7 akan dikirim dan dikumpulkan ke Raspberry Pi 4. Selain memberikan perintah pada Arduino Portenta H7 untuk melakukan *sensing*, Raspberry Pi4 juga berfungsi sebagai *data logger* dan data tersebut juga dikirim ke *Platform IoT* untuk ditampilkan sehingga *user* dapat melihat data yang didapatkan oleh sensor secara *real-time*. Arduino Portenta H7 dan Raspberry Pi 4 terhubung dengan jaringan internet melalui modem yang ada di Lab Telekomunikasi Teknik Elektro. *Power supply* dari perangkat *eddy station* dan *data logger* berasal dari modul surya dengan kapasitas 4 x 400 Wp dan baterai dengan kapasitas 4 x 12 V 100 Ah.

3.3.2. Perancangan Power Supply Perangkat *eddy station*

Setiap komponen pada perangkat membutuhkan daya yang berbeda-beda, oleh karena itu diperlukan perhitungan estimasi daya perangkat sehingga dapat diketahui

kebutuhan *power supply* pada perangkat. Pada penelitian ini, penulis dapat mengetahui daya yang dibutuhkan pada setiap komponen berdasarkan *datasheet* dari setiap komponen.

Tabel 3.2 Kebutuhan Daya Setiap Komponen

Sensor Pada Perangkat		
No.	Komponen	P (mW)
1.	Arduino Portenta H7	75
2.	DFRobot SEN0220	430
3.	Sensirion SHT85	33
4.	MH-441D	425
5.	Gravity BMP388	2.5
6.	DFRobot DHT22	7.5
Total Daya Perangkat Eddy Station		978
Total Daya Perangkat Eddy Station x 2		1956
Komponen Selain Sensor		
No.	Komponen	P (mW)
7.	Modem	7000
8.	Raspberry Pi 4	270
9.	SCC	480
Total Daya Komponen Selain Sensor		7750
Total Daya Keseluruhan		9706

Dengan mengetahui daya yang dibutuhkan masing-masing komponen, maka didapatkan perhitungan total estimasi daya yang dibutuhkan perangkat. Untuk menghindari rugi-rugi yang akan terjadi, pada penelitian ini rugi-rugi yang diperhitungkan adalah sebesar 25% dari daya yang dibutuhkan. Untuk perhitungan estimasi daya pada perangkat adalah sebagai berikut:

$$\text{Estimasi Daya} = 9706 \text{ mW}$$

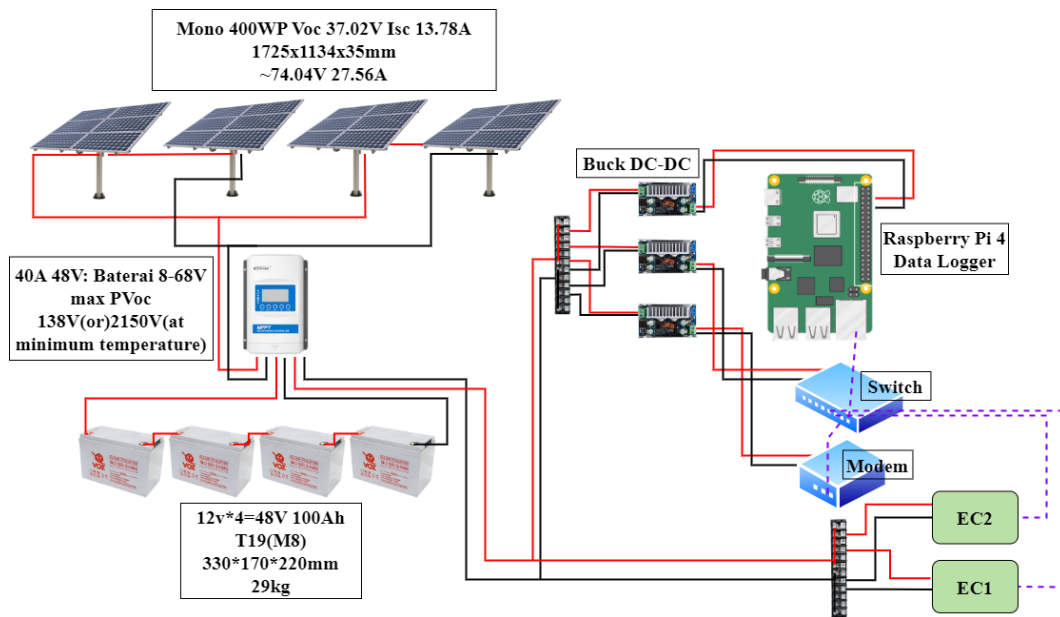
$$\text{Estimasi Daya} + \text{Rugi Rugi } 25\%$$

$$= 9706 + (9706 \times 0.25)$$

$$= 12132.5 \text{ mW}$$

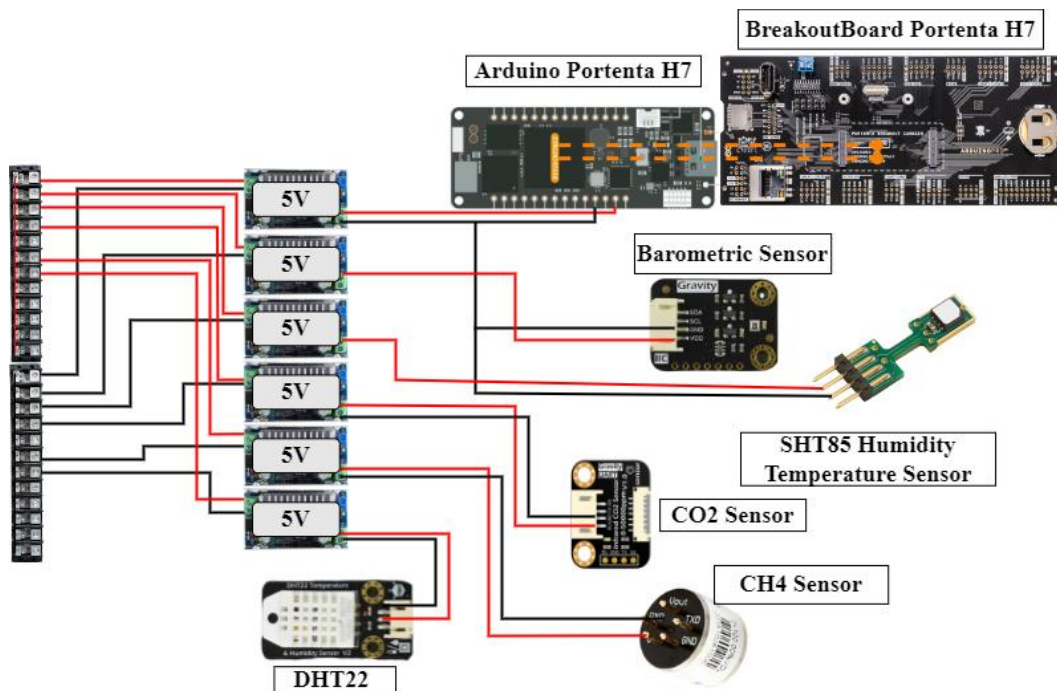
$$= 12.2 \text{ W}$$

Berdasarkan estimasi daya perangkat, maka skenario *power supply* pada perangkat *eddy station* ada pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Skema Power Supply Perangkat *Eddy Station* [Koleksi Pribadi]

Power supply yang didapatkan oleh perangkat berasal dari baterai Aki dengan kapasitas 4 x 12 V 100 Ah dengan pasokan baterai berasal dari modul panel surya 4 x 400 Wp yang sudah terpasang di Gudang Teknik Mesin dekat Laboratorium Terpadu Teknik Elektro. Modul panel surya akan terhubung dengan MPPT. Baterai dan MPPT akan tersimpan bersama dengan Raspberry Pi di Laboratorium Telekomunikasi. MPPT yang ada pada perangkat akan melakukan 2 tugas, yaitu mengisi pasokan pada baterai dan juga mengeluarkan tegangan dari baterai ke perangkat. Tegangan yang masuk ke perangkat Eddy Covariance adalah 48 V. Tegangan tersebut akan dibagi lagi sesuai dengan kebutuhan tegangan yang dibutuhkan setiap sensor. Skema *power supply* sensor *eddy station* ada pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Skema Power Supply Sensor *Eddy Station* [Koleksi Pribadi]

Tegangan sebesar 48V yang masuk ke perangkat akan dibagi dengan menyesuaikan kebutuhan tegangan pada setiap sensor. Dapat dilihat pada Gambar 3.6 Skema *Power Supply Sensor Eddy Station* bahwa setiap sensor yang ada perangkat hanya membutuhkan 5V. Setiap sensor terhubung dengan komponen *buck boost* masing-masing, yang mana setiap *buck boost* bertujuan untuk menurunkan tegangan 48 V yang masuk menjadi 5 V. Untuk sensor *Barometric Pressure* BMP388 dan SHT85 memiliki *ground* yang dipararelkan dari *ground* yang masuk ke Arduino Portenta H7. Hal ini dikarenakan sensor BMP388 dan SHT85 dapat berkomunikasi dengan Arduino Portenta H7 apabila *ground* mikrokontroler dengan sensor tersambung atau ada pada *ground* yang sama.

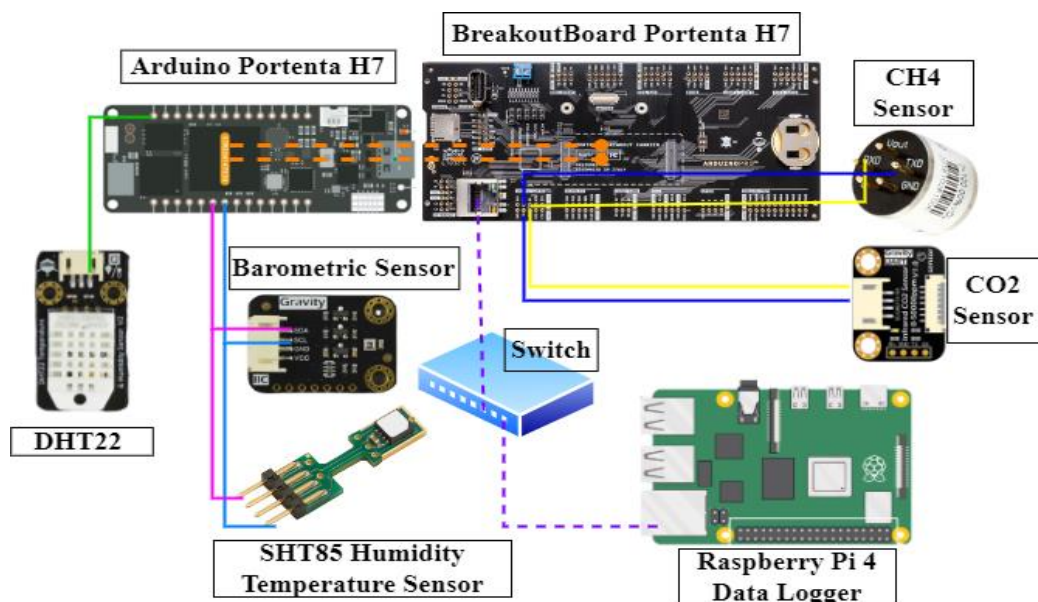
3.3.3. Perancangan Komunikasi Perangkat *Eddy Station*

Setiap sensor yang digunakan pada perangkat *eddy station* memiliki sistem komunikasi yang berbeda-beda. Sistem komunikasi yang dimiliki setiap sensor berdasarkan *datasheet* ada pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Sistem Komunikasi Sensor Pada Perangkat *Eddy Station*

No.	Nama Sensor	Komunikasi	Keterangan Penggunaan
1.	DFRobot SEN0220	UART	Untuk mengukur konsentrasi gas karbon dioksida
2.	MH-441D	UART	Untuk mengukur konsentrasi gas karbon dioksida
2.	Gravity BMP388	I2C	Untuk mengukur tekanan udara
3.	Sensirion SHT85	I2C	Untuk mengukur uap air, suhu dan kelembaban udara
4.	DHT22	PWM	Untuk melakukan perhitungan kecepatan angin

Setelah didapatkan informasi mengenai sistem komunikasi pada sensor, maka rancangan skema sistem komunikasi sensor pada perangkat *eddy station* adalah sebagai berikut.

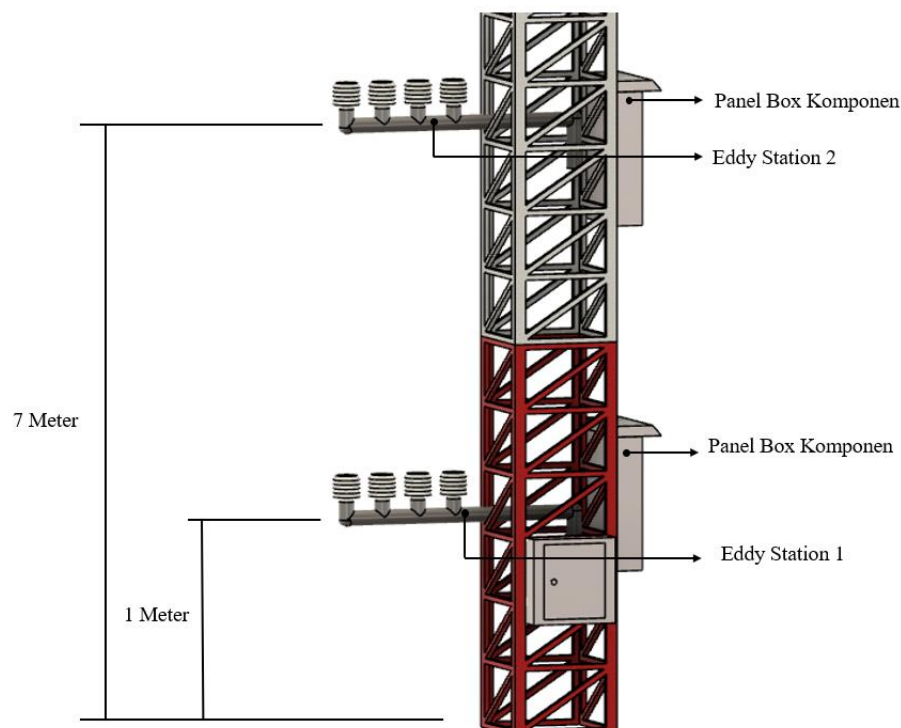
Gambar 3.7 Skema Sistem Komunikasi Sensor *Eddy Station* [Koleksi Pribadi]

Berdasarkan Gambar 3.7 maka dapat kita lihat bahwa sensor DHT 22 terhubung dengan Arduino Portenta H7 melalui pin PWM 2 dikarenakan DHT 22 memiliki sistem komunikasi PWM. Kemudian sensor BMP388 Barometric Pressure dan SHT85 terhubung secara paralel dengan Arduino Portenta H7 melalui pin I2C0 dikarenakan sensor BMP388 dan SHT85 memiliki sistem komunikasi yang sama yaitu I2C (*Inter-Integrated Circuit*). Sensor SEN0220 terhubung dengan Arduino

Portenta H7 melalui pin UART0 dan MH-441D terhubung dengan Arduino Portenta H7 melalui pin UART1. Hal ini dikarenakan SEN0220 dan MH-441D memiliki sistem komunikasi yang sama yaitu UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*). Agar data yang didapatkan setiap sensor dapat tersimpan pada *data logger*, maka Arduino Portenta H7 terhubung dengan Raspberry Pi melalui ethernet.

3.3.4. Skema Implementasi Perangkat *Eddy Station*

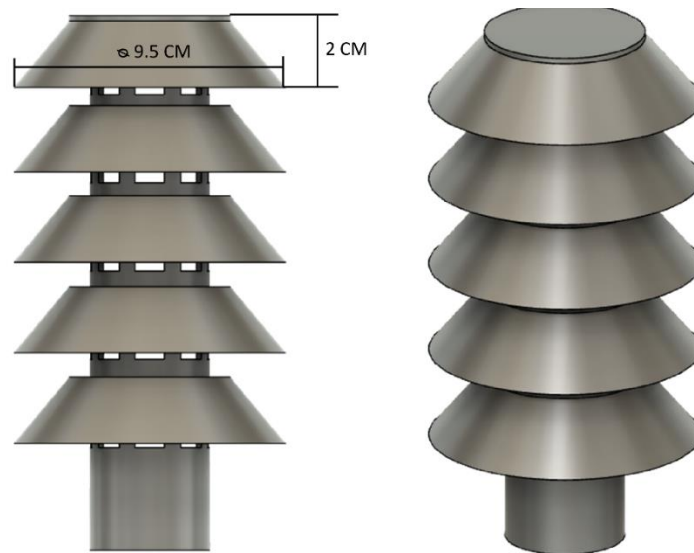
Berdasarkan Bab 2.3 Emisi Karbon, bahwa kelapa sawit memiliki emisi karbon yang berbeda pada setiap ketinggiannya. Oleh karena itu, skenario implementasi yang disiapkan pada perangkat *eddy station* adalah memasang dua buah perangkat pada tower di belakang Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung dengan ketinggian 1 dan 7 m. Hal ini bertujuan untuk melakukan perbandingan data emisi karbon pada ketinggian yang berbeda.



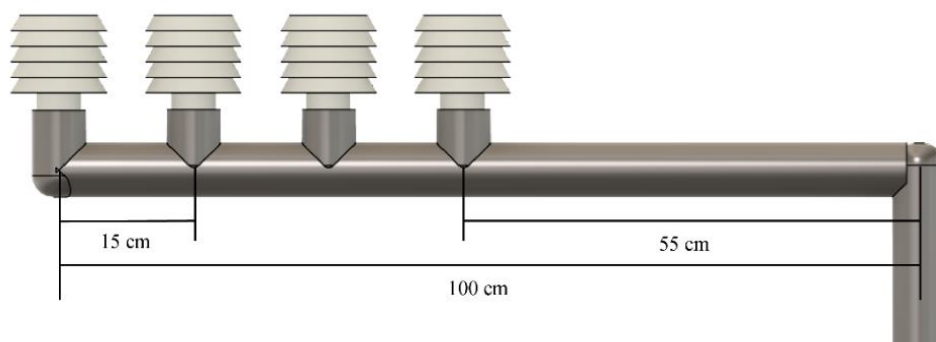
Gambar 3.8 Skema Implementasi Perangkat *Eddy Station* [Koleksi Pribadi]

Dikarenakan perangkat *eddy station* akan di pasang pada luar ruangan, sedangkan tidak semua sensor dapat bertahan di kondisi luar ruangan. Maka setiap sensor dari

perangkat *eddy station* memerlukan *casing* yang dapat melindungi sensor dari hujan dan panas matahari tanpa mempengaruhi fungsi dari sensor. Pada penelitian ini, desain dari *casing* bereferensi berdasarkan konsep sangkar cuaca klimatologi (Bab 2.6) dan juga bereferensi dengan konsep *physical* desain dari Li-Cor (Bab 2.5.4). Berdasarkan referensi tersebut dan menyesuaikan dengan fungsi yang pada setiap sensor, maka desain yang digunakan pada penelitian ini ada pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10



Gambar 3.9 Desain *Casing* Sensor *Eddy Station* [Koleksi Pribadi]



Gambar 3.10 Keterangan Penempatan Sensor [Koleksi Pribadi]

Dapat dilihat pada Gambar 3.9, pada penelitian ini *casing* sensor dibuat menggunakan pipa paralon 1 1/4-inch dan melamin dengan diameter 9,5 cm.

Berdasarkan Bab 2.6 maka pada penelitian ini menggunakan warna putih pada paralon dan melamin pada *casing* dikarenakan warna putih memiliki sifat tidak menyerap cahaya, sehingga *casing* sensor akan terjaga dari energi panas yang dihasilkan matahari. Berdasarkan Bab 2.6, sangkar cuaca harus memiliki ventilasi ganda yang bertujuan untuk merendam turbulensi dari arah luar sangkar, sehingga pada penelitian ini tinggi pada setiap *casing* sensor adalah sebesar 14 cm dan memiliki 8 bolongan setiap sisi nya yang mana pada satu *casing* berjumlah total 45 bolongan. Berdasarkan Bab 2.7 bahwa pergerakan udara bergerak dari suhu panas ke suhu yang dingin, oleh karena itu bolongan pada sisi-sisi *casing* juga bertujuan sebagai jalur keluar masuknya udara sebagai sirkulasi udara. Berdasarkan Bab 2.6, bahwa sangkar cuaca harus memiliki atap untuk melindungi sensor dari gangguan air hujan. Oleh karena itu, dapat dilihat pada Gambar 3.9 bahwa pada penelitian ini menggunakan melamin sebagai atap pada *casing*. Melamin yang digunakan pada penelitian memiliki diameter sebesar 9.5 cm dengan tinggi 2 cm, setiap melamin dipasang pada ketinggian 5 tingkat pada paralon. Pada Gambar 3.10, penempatan keempat sensor akan dipasang pada pipa galvanis 1 1/4-inch dengan jarak setiap sensor sebesar 15cm. Hal ini berdasarkan teori *open-path* yang ada pada Bab 2.5.4 *Physical Instrument*, bahwa jarak tersebut bertujuan untuk mencegah adanya distorsi aliran udara pada setiap sensor.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian “Rancang Bangun Perangkat *Carbon Sensing* Untuk Mengukur Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂) Berbasis *Internet of Things*” maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan analisa pengambilan data pada perangkat, dapat kita simpulkan bahwa pada setiap ketinggian yang berbeda, perangkat mampu melakukan *sensing* dengan nilai yang berbeda.
2. Berdasarkan data realisasi pengambilan data pada perangkat, rata-rata pengambilan data pada kedua perangkat adalah sebesar 6 data setiap detiknya.
3. Berdasarkan permasalahan yang ditemukan pada perangkat *Eddy Station*. Dapat kita simpulkan bahwa perangkat *Eddy Station* bersifat sangat *dependent* dengan jaringan internet. Hal ini dikarenakan perangkat *Eddy Station* mendapatkan waktu RTC (*Real Time Clock*) dari internet.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian “Rancang Bangun Perangkat *Carbon Sensing* Untuk Mengukur Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂) Berbasis *Internet of Things* (IoT)” maka saran di dapat diberikan penulis adalah sebagai beriku.

1. Dilakukannya peningkatan kualitas pada desain *casing*. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan pengujian aliran udara pada *casing*. Seperti yang diketahui, pengujian *casing* yang dilakukan pada penelitian ini adalah membandingkan nilai yang didapatkan menggunakan *casing* dengan nilai

menggunakan alat terukur. Namun belum dilakukan pengujian aliran udara yang ada pada *casing* atau *heat transfer* pada *casing*. Dengan melakukan pengujian tambahan tersebut, tentu akan meningkatkan kualitas *casing* yang digunakan pada perangkat *Eddy Station*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ekstrim Perubahan Iklim. 2022. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) [online]. Available: <https://www.bmkg.go.id/iklim/?p=ekstrem-perubahan-iklim> [Accessed 9 November 2022]
- [2] Harimurti, Danang. Hariyadi. Noor, Erliza. 2021. Pengurangan emisi gas rumah kaca pada perkebunan kelapa sawit dengan pendekatan life cycle assesment. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. 11(1): 1-9
- [3] Uning, Royston, Mohd T. L, Murnira O, Liew J, Norfazrin M, H, Mohd S, M, N, Khairul N, A, M, Wan S M J, Nor F S S, Fatimah A, & Mohd S.T. 2020. A Review of Southeast Asian Oil Palm and Its CO₂ Fluxes. Department of Earth Sciences and Environment, Faculty of Science and Technology. Universiti Kebangsaan Malaysia. 12, 5077; doi:10.3390/su12125077
- [4] Burba, George. 2021. Eddy Covariance Method for Scientifical, Industrial, Agricultural and Regulatory Applications. Li-Cor Biosciences. Lincoln, Nebraska.
- [5] Burba, George. 2013. Eddy Covariance Method for CO₂ Emission Measurements in CCUS Application, Principles, Instrumentation and Software. Li-Cor Biosciences. 40 (2013) 329-336
- [6] Kiew, Frankie. 2017. CO₂ Blacne of Secondary Tropycal Peat Swamp Forest in Sariwak, Malaysia. Hokaido University. 248 (2018) 494-501
- [7] Climate Science Investigation. 2019. The Greenhouse Effect [online]. Available: <http://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/how-greenhouse-effect-works.php> [Accessed 23 Agustus 2022]
- [8] Reynolds, Stephen J., Johnson, Julia K., Rohli, Robert V., Waylen, Peter R., Francek, Mark A dan Morin, Paul J. 2019. Exploring Earth Science. McGraw Hill Education. New York.
- [9] L. Benyamin. Dasar-dasar Klimatologi. PT. RajaGrafindo Persada. Jakarta. 1994.
- [10] Haryanto, Agus. Termodinamika. Innosain. Yogyakarta. 2016.

- [11] Alduchov, Oleg A.; Eskridge, Robert E. (1996). "Improved Magnus Form Approximation of Saturation Vapor Pressure". *Journal of Applied Meteorology*. 35 (4): 601–609.
- [12] Foken, T. Aubinet, M dan Leuning, R. 2012. *Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis*. Springer Atmospheric Sciences, DOI 10.1007/978-94-007-2351
- [13] Sujalu, Akas Pinarigan. Pulihasih, Akas Y. Biantary, Maya P. "Instrumentasi Klimatologi dan Meteorologi". Zahir Publishing. Yogyakarta. 2022
- [14] Kusnandar, V.B. 2018. KLHK: Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia Capai 1637 Gg CO₂e pada 2018. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan [online]. Available: [KLHK: Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia Capai 1637 Gg CO₂e pada 2018 | Databoks \(katadata.co.id\)](#) [Accessed 2 September 2023]