

**EVALUASI DATA PERANGKAT EDDY COVARIANCE STATION (ECS)
DAN DATA LI-COR (LI-7500) MENGGUNAKAN METODE ANALISIS
DESKRIPTIF**

**Studi Kasus Pengukuran Emisi Karbon di Perkebunan Kelapa Sawit Lahan
Gambut**

(Skripsi)

**Oleh :
Sofya Ning Dyaz
2115031002**



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

**EVALUASI DATA PERANGKAT EDDY COVARIANCE STATION (ECS)
DAN DATA LI-COR (LI-7500) MENGGUNAKAN METODE ANALISIS
DESKRIPTIF**
**Studi Kasus Pengukuran Emisi Karbon di Perkebunan Kelapa Sawit Lahan
Gambut**

Oleh
Sofya Ning Dyaz

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung



PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025

ABSTRAK

EVALUASI DATA PERANGKAT EDDY COVARIANCE STATION (ECS) DAN DATA LI-COR (LI-7500) MENGGUNAKAN METODE ANALISIS DESKRIPTIF

Studi Kasus Pengukuran Emisi Karbon di Perkebunan Kelapa Sawit Lahan Gambut

**Oleh
SOFYA NING DYAZ**

Perkebunan kelapa sawit di lahan gambut merupakan sumber penting emisi gas rumah kaca, khususnya karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4), akibat oksidasi dan dekomposisi cadangan karbon pada biomassa serta material organik gambut ketika aerasi meningkat. Besarnya stok karbon, sensitivitas terhadap perubahan hidrologi dan tata air, serta pengaruh faktor meteorologis menjadikan ekosistem ini prioritas pemantauan berbasis fluks. Dalam kerangka monitoring–reporting–verification (MRV) kredibel, diperlukan pengukuran kontinu yang lebih representatif berfrekuensi tinggi pada skala ekosistem untuk menangkap dinamika harian–musiman, menapis gangguan sesaat, dan memisahkan sinyal proses (misalnya respirasi ekosistem) dari artefak instrumentasi. Metode eddy covariance (EC) dengan instrumen seperti Eddy Covariance Station (ECS) dan analisator gas terbuka LI-7500 menyediakan kerangka tersebut seraya merekam parameter mikroklimat (temperatur udara, kelembapan relatif/RH, uap air, dan tekanan udara) untuk interpretasi proses. Penelitian ini mengevaluasi fungsionalitas, durabilitas, dan reliabilitas sebuah ECS yang dioperasikan pada perkebunan kelapa sawit lahan gambut PT. Persada Dinamika Lestari, serta membandingkan kualitas dan kelengkapan data antara ECS Station 2 dan LI-7500. Analisis dilakukan secara deskriptif dengan visualisasi deret waktu dan ringkasan statistik (minimum, maksimum, rerata, simpangan baku, dan varians) guna menilai konsistensi antarperangkat. Dataset yang dianalisis mencakup $\pm 1,85$ juta catatan temporal per perangkat selama tujuh hari pada awal setiap bulan periode Juni–Desember 2024; frekuensi akuisisi 7 Hz (ECS) dan 10 Hz (LI-7500). Data kemudian diagregasi menjadi resolusi 1 menit dan 30 menit untuk menilai keterwakilan sinyal, dan dilakukan penapisan kualitas untuk menghapus *outlier*, *spike*, dan jeda. Hasil menunjukkan bahwa, berdasarkan simpangan baku, nilai minimum pada LI-7500 lebih kecil (selisih relatif $\approx 0,21\%$), mengindikasikan stabilitas pengukuran yang lebih baik pada kondisi tenang; sebaliknya, nilai maksimum simpangan baku pada ECS lebih kecil ($\approx 0,44\%$), menandakan performa kompetitif saat variabilitas tinggi. Setelah penapisan dan agregasi, kurva tren serta distribusi konsentrasi/flux CO_2 dari ECS selaras dengan LI-7500, memvalidasi kemampuannya merepresentasikan dinamika lapangan. Meskipun demikian, kelengkapan data LI-7500 lebih baik

(lebih sedikit *missing data*) dibandingkan ECS, mengisyaratkan perlunya peningkatan pada keberlanjutan daya, penjadwalan pemeliharaan, dan ketahanan sistem akuisisi. Secara keseluruhan, ECS yang dikembangkan oleh Tim Peneliti Universitas Lampung layak digunakan untuk pemantauan fluks karbon di lahan gambut, dengan prioritas perbaikan kontinuitas data guna memenuhi kebutuhan MRV dan mendukung kebijakan mitigasi emisi di perkebunan kelapa sawit.

Kata Kunci: Karbon, Lahan Gambut, *Eddy Covariance Station* (ECS), LI-7500, Analisis Deskriptif.

ABSTRACT

EVALUATION OF EDDY COVARIANCE STATION (ECS) DEVICE DATA AND LI-COR DATA (LI-7500) USING DESCRIPTIVE ANALYSIS METHOD

Case Study of Carbon Emission Measurement in Peatland Oil Palm Plantations

**By
SOFYA NING DYAZ**

Oil palm plantations on tropical peatlands are significant sources of greenhouse gases, particularly carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄), as increased aeration promotes oxidation and decomposition of carbon stocks in plant biomass and peat organic matter. The combination of large carbon reservoirs, sensitivity to hydrological and water-management changes, and strong meteorological forcing makes these ecosystems a high priority for flux-based monitoring. For credible monitoring–reporting–verification (MRV), continuous, high-frequency measurements at the ecosystem scale are required to capture diurnal-to-seasonal dynamics, filter transient disturbances, and separate process signals (e.g., ecosystem respiration) from instrumentation artifacts. The eddy-covariance (EC) method, implemented with an Eddy Covariance Station (ECS) and an open-path gas analyzer such as the LI-7500, provides this framework while also recording key microclimate variables (air temperature, relative humidity, water vapor, and air pressure) for process interpretation. This study evaluates the functionality, durability, and reliability of an ECS deployed in a peatland oil palm plantation operated by PT. Persada Dinamika Lestari and compares data quality and completeness between ECS Station 2 and an LI-7500. We conduct descriptive analyses with time-series visualization and statistical summaries (minimum, maximum, mean, standard deviation, and variance) to assess inter-instrument consistency. The dataset comprises approximately 1.85 million temporal records per instrument over seven days at the beginning of each month from June through December 2024, sampled at 7 Hz (ECS) and 10 Hz (LI-7500). Records are then downsampled to 1-minute and 30-minute resolutions—standard EC averaging periods—to evaluate signal representativeness. Quality control includes removal of outliers, spikes, and gaps to ensure robust comparison. Results indicate that, based on standard deviation, the LI-7500 exhibits a smaller minimum value (relative difference $\approx 0.21\%$), suggesting slightly greater stability under quiescent conditions. Conversely, the ECS shows a smaller maximum standard deviation ($\approx 0.44\%$), indicating competitive performance during periods of higher variability. After filtering and aggregation, trend curves and distributions of CO₂ concentration/flux

derived from the ECS closely align with those from the LI-7500, validating the ECS's ability to capture field dynamics. Nevertheless, the LI-7500 achieves better data completeness (fewer missing records), highlighting the need to enhance ECS power autonomy, maintenance scheduling, and acquisition-system resilience. Overall, the ECS developed by the University of Lampung research team is suitable for carbon-flux monitoring on peatland oil palm plantations, provided improvements to data continuity are prioritized to meet MRV requirements and to inform emission-mitigation decisions in plantation management.

Keywords: Carbon, Peatland, Eddy Covariance Station (ECS), LI-7500, Descriptive Analysis.

Judul Skripsi : **EVALUASI DATA PERANGKAT EDDY COVARIANCE STATION (ECS) DAN DATA LI-COR (LI-7500) MENGGUNAKAN METODE ANALISIS DESKRIPTIF**
Studi Kasus Pengukuran Emisi Karbon di Perkebunan Kelapa Sawit Lahan Gambut

Nama Mahasiswa : **Sofya Ning Dyaz**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115031002

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP. 19731128 199903 1 005

Aryanto, S.T., M.T.

NIP. 19900621 201903 1 011

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Herlinawati, S.T., M.T.

NIP. 19710314 199903 2 001

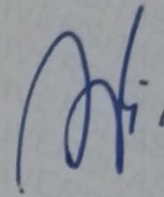
Sumadi, S.T., M.T.

NIP. 19731104 200003 1 001

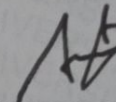
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

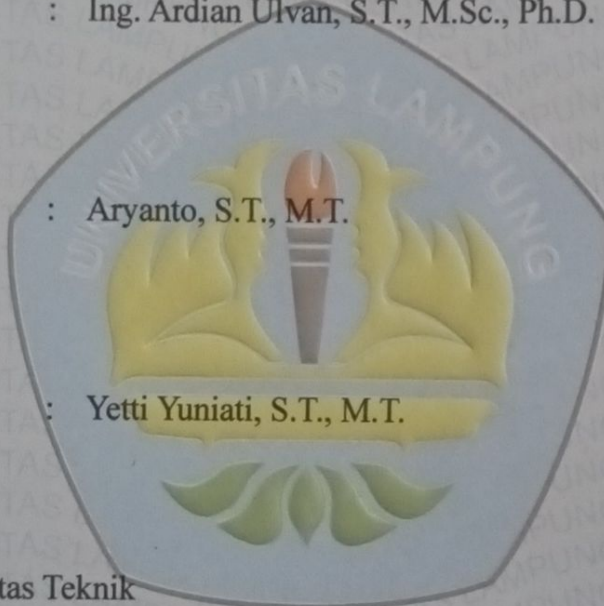
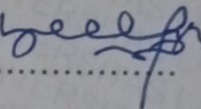
Ketua : Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., Ph.D.



Sekretaris : Aryanto, S.T., M.T.



Penguji : Yetti Yuniati, 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 : 29 Juli 2025

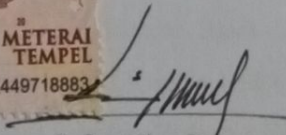
SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh 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, 29 Juli 2025




Sofya Ning Dyaz
NPM. 2115031002

RIWAYAT HIDUP



Nama Sofya Ning Dyaz lahir di Sukadana, 23 Januari 2003 anak dari Bapak Sofyan dan Ibu Diah Nining Sri Rezeki sebagai anak tengah dari tiga bersaudara. Pendidikan Sekolah Dasar diselesaikan di SD Negeri 2 Muara Jaya pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 2 Sukadana diselesaikan pada tahun 2018, Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Purbolinggo diselesaikan pada tahun 2021. Pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (PRESTASI). Selama kuliah, saya aktif dalam berbagai organisasi dan kegiatan. Saya aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro sebagai anggota pengurus selama 2 periode, dimana saya mengikuti serangkaian kegiatan dan menjadi sekretaris pelaksana dan pengajar Taklim Himatro Unila 2022, pimpinan sidang 3 kegiatan Musyawarah Besar Himatro 2022/2023, sekretaris koordinator Hubungan Masyarakat *Electrical Engineering in Action 2023*, penanggung jawab dari kegiatan Karya Tulis Ilmiah dari kegiatan HRC Himatro Unila 2023, pemateri pada kegiatan *Electrical goes to School* Himatro Unila 2023, dan pemateri pada kegiatan Himatro Riset Center (HRC Himatro Unila) 2024. Saya juga aktif mengikuti UKM Kopma Unila pada tahun kepengurusan 2022/2023 menjabat sebagai Gugus Fakultas Bidang 2 Kopma Fakultas Teknik. Selain itu, saya aktif mengikuti *Society of Renewable Energy* Unila yang menjabat sebagai *General Secretary* selama 1 periode serta saya anggota aktif dalam beberapa organisasi lain yaitu Unila Robotika Otomasi (URO), BEM FT Unila dan Ikatan Mahasiswa Lampung Timur. Adapun beberapa kegiatan yang saya ikuti program MBKM yaitu Riset Sawit dan magnrove dari MBKM internal kampus, PPK ORMAWA 2023 dari Belmawa, dan mengikuti MSIB (Studi Independen) PT. Orbit Future Academy (OFA). Selain itu saya berhasil lolos seleksi PKM tingkat Kampus, juara 2 poster tereduksi pada kegiatan Abdidaya Ormawa yang diselenggarakan Kemendikbudristek, dan menjadi tim terbaik 3 studi independent PT. OFA.

PERSEMBAHAN

Dengan Ridho Allah SWT
Teriring shalawat kepada Nabi Muhammad SAW Kupersembahkan Skripsi ini
Kepada Bapak dan Ibuku Tersayang

SOFYAN DAN DIAH NINING SRI REZEKI

Dan Kakak-adikku Tercinta

YUWONO SRIYANTORO
NYIMAS WIDYA NINGRUM

Serta keluarga besarku yang berjasa sampai akhir hayat

Terima kasih kepada segala pihak yang berjumpa sengaja maupun tidak sengaja
dengan penulis, karena kalian memiliki part masing-masing pada radarnya.

Terima kasih kepada Allah swt. yang telah menemani penulis hingga saat ini dan
nanti. Rasa syukur selalu tertuju pada apa yang penulis rasakan yang tertuju
kepada-Nya.

Terima kasih kepada diri sendiri yang sudah bertahan hingga sejauh ini, karena
jika bukan dirimu sendiri lalu siapa lagi? Semangat selalu untuk Sofya Ning Dyaz.

MOTTO HIDUP

“Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Mulia”

(Al-Alaq: 3)

“....,sesungguhnya aku telah (bermimpi) melihat sebelas bintang, matahari, dan bulan. Aku melihat semuanya sujud kepadaku.”

(Q.S Yusuf: 4)

“Tidak ada rasa bersalah yang dapat mengubah masa lalu dan tidak ada kekhawatiran yang dapat mengubah masa depan.”

(Umar bin Khattab)

“Bumi dan seisinya pun tak mendengar kata ‘tidak’, jadi usahakan berucap yang layak untukmu.”

(Penulis)

“Jangan menutup jalanmu sendiri seraya menutup hidung dengan tanganmu untuk mengakhiri hayatmu, jalani semua selayaknya hingga menemukan arti dari setiap nafasnya, karena kebenaran adalah balasan yang nyata.”

(Penulis)

“Buatlah dirimu berharga karena orang lain hanya akan membuat sia-sia, dan akan ada waktunya orang itu merasakan apa ulah yang dituahnya”

(Penulis)

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala karunia, hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis, sehingga laporan skripsi ini yang berjudul **“EVALUASI DATA PERANGKAT EDDY COVARIANCE STATION (ECS) DAN DATA LI-COR (LI-7500) MENGGUNAKAN METODE ANALISIS DESKRIPTIF (Studi Kasus Pengukuran Emisi Karbon di Perkebunan Kelapa Sawit Lahan Gambut)”** 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. Kepada Bapak dan Ibu yang telah memberikan dukungan untuk menuju kehidupan dengan bekal pesan moral, materi, dan lainnya sampai pada akhirnya penulis dapat menuliskan nama Bapak dan Ibu di Skripsi serta penulis mendapatkan gelar yang memang seharusnya didapatkan.
2. Kepada abang dan adikku, yang telah memberikan pengertian, motivasi, dan banyak hal yang tidak bisa penulis minta maupun lakukan kepada orang lain.
3. Kepada Bu Poh Yuli Astuti dan Eni Mastuti yang telah memberikan motivasi, arahan, serta biaya jajan tak terduga selama penulis menjadi keponakan kecil yang cantik dan manis.
4. Kepada keluarga besar penulis yang telah menanyakan dan menceritakan hal menarik yang membuat penulis semakin semangat dan berusaha lebih baik lagi.

5. Kepada sahabatku Laura Febriyanti, yang telah menjadi pendengar, pendukung, pemberi solusi-solusi gilanya, pesan dan kesan yang menikam supaya penulis tetap hidup dikarenakan masih diberikan kehidupan.
6. Bapak Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Laboratorium Telekomunikasi Informasi, sekaligus pembimbing tugas akhir dan telah banyak membantu memberikan kritik, saran, dan motivasi yang bermanfaat bagi penulis.
7. Bapak Aryanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pendamping, yang telah banyak membimbing dan memberi dukungan kepada penulis.
8. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama, yang telah banyak membimbing dan memberi dukungan kepada penulis.
9. Bapak FX. Arinto Setyawan, S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing Akademik, yang telah banyak membimbing dan membantu penulis selama menjalani kuliah.
10. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
11. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung, sekaligus Dosen Pembimbing Pendamping.
12. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
13. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
14. Seluruh Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
15. Keluarga besar EXCALTO Angkatan 2021, yang telah memberikan banyak motivasi, dan bantuan dalam berbagai hal.
16. Keluarga besar HIMATRO UNILA, yang telah menjadi wadah dalam mengembangkan nilai-nilai organisasi bagi penulis.
17. Keluarga besar KOPMA UNILA, yang telah memberikan teman teman luar biasa dan memberikan hal banyak yang membuat penulis berkembang.
18. Keluarga besar SRE UNILA, yang telah menjadi rekan untuk menyusun suatu kepengurusan, menjaga, dan mencari hal baru yang bermanfaat lainnya.

19. Keluarga besar TELTI, PPK Ormawa Internal Dipasena, URO dan tim riset lainnya yang telah menjadi bagian penting dalam perjuangan selama menempuh perjalanan ini.
20. Eddy Station Team kepada bapak-bapak keren nan sabar Aldi Rifqi, Wisnu Tubagus, dan Rizky Firmansyah serta satu-satunya rekan cantikku Ibu Nur Afni Latifatul Muchlisa. Yang menjadi teman berdiskusi dan solusi dari hiru pikuk kehidupan penelitian ini, selamat menjalani kehidupan sesungguhnya kawan.
21. Keluarga besar MAFIA ASTRI21 yang terdiri dari Azizah Sapta Agustina, Armita Dianti Febryana, Nur Afni Latifatul Muchlisa, dan Sefia Apriyani kalian rekan yang menjadi canda tawa bagi penulis.
22. Dan 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 untuk menerima masukan kritik dan saran yang dapat membangun penulis kedepannya. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 29 Juli 2025

Penulis,

Sofya Ning Dyaz

NPM. 2115031002

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Metode <i>Eddy Covariance</i>	6
2.3 LI-COR (LI-7500)	8
2.4 <i>Eddy Covariance Station</i> (ECS)	8
2.5 Analisis Kondisi Sensor Perangkat <i>Eddy Covariance Station</i> (ECS).....	10
2.5.1 Fungsionalitas Perangkat	10
2.5.2 Durabilitas Perangkat	11
2.5.3 Reliabilitas Perangkat.....	11
2.6 <i>Python</i>	12
2.7 <i>Exploratory Data Analysis</i> (EDA).....	12
2.8 <i>Preprocessing Data</i>	12
2.8.1 Penanganan Data Duplikat	13
2.8.2 Penanganan <i>Missing Value</i>	13
2.8.3 Penanganan <i>Outlier</i>	14
2.9 Analisis Deskriptif	14
III. METODE PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
3.2 <i>Project Capstone</i>	17
3.3 Komponen dan Perangkat Lunak	18
3.4 Tahapan Penelitian	18
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	20

4.1	Data	20
4.1.1	Mengumpulkan Data	20
4.1.2	<i>Exploratory Data Analysis</i>	22
4.1.3	<i>Preprocessing Data</i>	23
4.1.4	Evaluasi Fungsional, Durabilitas, dan Reliabilitas	26
4.1.5	<i>Cleaning Data</i>	31
4.1.6	<i>Resampling</i>	31
4.1.7	Penyesuaian Data	36
4.2	Visualisasi dan Analisis Data ECS <i>Station 2</i> dengan LI-7500	40
4.2.1	Data <i>Raw</i> Perangkat <i>Eddy Covariance Station</i> (ECS)	40
4.2.2	Data Per Menit	42
4.2.3	Data Per 30 Menit	46
V.	PENUTUP	63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	64
	DAFTAR PUSTAKA	65
	LAMPIRAN	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Komponen <i>Hardware</i> dan <i>Software</i>	18
Tabel 4.1. Sampel Data Perangkat ECS Pada <i>Station 2</i>	21
Tabel 4.2. Jumlah Data Duplikat Pada Data <i>Raw</i> Perangkat ECS	23
Tabel 4.3. Tabel Jumlah <i>Missing Value</i> Perangkat ECS	24
Tabel 4.4. Jumlah <i>Outlier</i> Perangkat ECS	25
Tabel 4.5 Jumlah Data yang Terekam oleh Perangkat	26
Tabel 4.6 Nilai Persentase untuk Fungsionalitas Perangkat ECS	27
Tabel 4.7 Nilai untuk Durabilitas Perangkat ECS	28
Tabel 4.8 Nilai Reliabilitas Dari Mean, Simpangan Baku, dan Koefisien Varian	30
Tabel 4.9. Jumlah Data Setelah <i>Resampling</i>	35
Tabel 4.10. Penyesuaian Pada Perangkat ECS <i>Station 1</i> dan <i>Station 2</i>	36
Tabel 4.11. Satuan Pada Perangkat ECS dan LI-COR (LI-7500)	37
Tabel 4.12. Tabel Nilai <i>Min</i> dan <i>Max</i> ECS <i>Station 2</i> dan LI-7500 (30 Menit)	53
Tabel 4.13. Hasil Mean, Standar Deviasi, Varian Koefisien Keseluruhan Data	54
Tabel 4.14. Nilai Persentase Standar Deviasi Perangkat ECS dan LI-7500	61
Tabel 4.15. Selisih Mutlak Pembacaan Data Perangkat ECS dan LI-7500	62

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Kondisi Aliran Udara Pada Ekosistem	7
Gambar 2.2. Pusaran Turbulen (<i>Eddy</i>)	7
Gambar 2.3. Perangkat <i>Gas Analyzer</i> dan <i>Three Dimentional</i> Anemometer.....	9
Gambar 2.4. Standar Deviasi (The Bell Curve)	16
Gambar 3.1. <i>Project Capstone</i>	17
Gambar 3.2. Blok Diagram Penelitian	18
Gambar 3.3. Diagram Alur Analisis Data	19
Gambar 4.1. Penempatan Perangkat ECS dan LICOR (LI-7500)	20
Gambar 4.2. Visualisasi Data <i>Raw</i> ECS.....	41
Gambar 4.3. Visualisasi Grafik Data Bulan Juni	42
Gambar 4.4. Visualisasi Grafik Data Bulan Juli	43
Gambar 4.5. Visualisasi Grafik Data Bulan Agustus	44
Gambar 4.6. Visualisasi Grafik Data Bulan September	45
Gambar 4.7. Visualisasi Grafik Data Bulan Juni	46
Gambar 4.8. Visualisasi Grafik Data Bulan Juli	47
Gambar 4.9. Visualisasi Grafik Data Bulan Agustus	48
Gambar 4.10. Visualisasi Grafik Data Bulan September	49
Gambar 4.11. Visualisasi Grafik Data Bulan Oktober	50
Gambar 4.12. Visualisasi Grafik Data Bulan Desember	51
Gambar 4.13. Kurva Standar Deviasi CO ₂	56
Gambar 4.14. Kurva Standar Deviasi <i>Air Temperature</i>	57
Gambar 4.15. Kurva Standar Deviasi <i>Relative Humidity</i>	58
Gambar 4.16. Kurva Standar <i>Water Vapor</i>	59
Gambar 4.17. Kurva Standar Deviasi <i>Air Pressure</i>	60

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gas rumah kaca (GRK) merupakan gas di atmosfer yang dapat menyerap dan memancarkan radiasi infra merah dari sinar matahari yang meningkatkan suhu permukaan bumi sehingga menyebabkan perubahan iklim. Pada GRK terdiri karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dinitrogen oksida (N_2O), dan Uap Air (H_2O) [1]. Kemudian pada perkebunan kelapa sawit khususnya yang terletak pada lahan gambut memiliki emisi gas terutama pada karbon dioksida (CO_2) [2][3]. Hal ini terjadi saat teroksidasinya simpanan karbon dari tanaman maupun di dalam tanah gambut sendiri [4]. Kemudian penyebaran beberapa gas juga bisa berasal dari pabrik atau aktivitas masyarakat sekitar yang juga menyumbangkan gas karbon dan sebagainya. Lahan gambut dapat mudah terbakar saat musim kemarau ekstrem apabila tidak dipantau yang menyebabkan kebakaran besar, sehingga hal ini akan mengakibatkan pelepasan karbon dioksida dan unsur gas lainnya [5].

Pada permasalahan tersebut sudah terdapat perangkat yang telah diteliti dan dilakukan pemasaran yaitu LI-COR (LI-7500) yang mampu mengukur gas atau kondisi lingkungan. Dari perangkat tersebut menggunakan sistem dan metode *Eddy Covariance* yang mampu mengukur dan menghitung fluks untuk jumlah gas yang dilepaskan antara tanah, tanaman, air, atau udara per satuan luas dalam satuan waktu tertentu [6][7]. Hal ini adalah upaya untuk memantau keseimbangan, sumber dan penyerap CO_2 di lingkungan pada tumbuhan seperti mangrove dan sebagainya [8]. Pada penelitian kali ini, melakukan analisis kinerja perangkat *Eddy Covariance Station* (ECS atau saat ini dikenal dengan brand C-Flux) dengan menggunakan metode yang sama dengan LI-COR (LI-7500) yaitu *Eddy Covariance Method* di

perkebunan kelapa sawit lahan gambut PT. Persada Dinamika Lestari Kalimantan Selatan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis data dari kedua perangkat serta mengevaluasi akurasi dan konsistensi hasil pengukuran. Selanjutnya dilakukan *Exploratory Data Analysis* kemudian untuk pengolahan data menggunakan bahasa pemrograman *python*, hal ini merupakan bahasa pemrograman yang ketersediaan pustaka seperti *pandas*, *NumPy*, dan *matplotlib* untuk pengolahan data dan analisis [9]. Kemudian, untuk mendapatkan hasilnya diperlukan pengolahan dan analisis data yang komprehensif, termasuk pemantauan kinerja sensor untuk memastikan validitas data yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana *Exploratory Data Analysis* (EDA) pada perangkat ECS kemudian penyesuaian data antara *Eddy Covariance Station* (ECS) *Station 2* dengan data LI-COR (LI-7500) pada data *CO₂*, *air temperature*, *water vapor density*, *relative humidity*, dan *air pressure* untuk data per menit dan per 30 menit?
2. Bagaimana hasil visualisasi dan analisis data untuk mengetahui pembacaan data dari perangkat ECS dan LI-COR (LI-7500)?
3. Bagaimana fungsionalitas, reliabilitas, dan durabilitas dari data perangkat ECS dengan data LI-COR (LI-7500) pada perkebunan kelapa sawit di lahan gambut PT. Persada Dinamika Lestari?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan *Exploratory Data Analysis* (EDA) kemudian penyesuaian data antara *Eddy Covariance Station* (ECS) *station 2* dengan data LI-COR (LI-7500) pada data *CO₂*, *air temperature*, *water vapor density*, *relative humidity*, dan *air pressure* untuk data per menit dan per 30 menit.
2. Melakukan visualisasi dan analisis data untuk mengetahui pembacaan data dari perangkat ECS dan LI-COR (LI-7500).

3. Mengevaluasi fungsionalitas, durabilitas, dan reliabilitas dari data perangkat *Eddy Covariance Station* (ECS) dan data LI-COR (LI-7500) di perkebunan kelapa sawit lahan gambut PT. Persada Dinamika Lestari Kalimantan Selatan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan *Exploratory Data Analysis* (EDA) untuk mengecek *missing value*, *outlier*, dan data duplikat pada parameter yang terdiri dari CO₂, *air temperature*, *water vapor density* (H₂O), *relative humidity* (RH), dan *air pressure*.
2. Melakukan pemantauan kinerja perangkat *Eddy Covariance Station* (ECS) di perkebunan kelapa sawit lahan gambut PT. Persada Dinamika Lestari, Kalimantan Selatan terhadap fungsionalitas dari tujuan pembuatan perangkat yang dapat merekam data 7 Hz per detik. Pada durabilitas dinilai berapa lama perangkat mampu merekam data selama penelitian. Kemudian pada reliabilitas dilihat dari nilai simpangan baku (standar deviasi).
3. Pada penelitian ini tidak melakukan imputasi atau merubah data pada perangkat ECS tanpa keperluan seperti mengubah satuan untuk penyesuaian dan jumlah *timestamp/datetime* karena batas waktunya sesuai data LI-COR (LI-7500) untuk melihat hasil perekaman data pada masing-masing perangkat.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyajikan data kondisi terkini lingkungan dari perkebunan kelapa sawit di lahan gambut Kalimantan Selatan.
2. Evaluasi perangkat pengukuran *Eddy Covariance Station* (ECS) dan LI-COR (LI-7500) di perkebunan kelapa sawit.
3. Pemantauan kinerja sensor dengan menganalisis kondisi sensor dalam memastikan validitas dan kualitas data pengukuran selama alat beroperasi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari penelitian laporan penelitian ini adalah:

I. PENDAHULUAN

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

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai penelitian sebelumnya, Metode *Eddy Covariance*, LI-7500, *Gas Analyzer* dan *Three Dimensional Anemometer*, Analisis Kondisi Sensor Pada Perangkat ECS, *Python*, *Exploratory Data Analysis* (EDA) dan Analisis Deskriptif.

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 validasi data perangkat *Eddy Covariance Station* (ECS), visualisasi data, serta analisis data ECS dan LI-COR (LI-7500).

V PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisikan referensi dari penelitian dan pelaksanaan proyek.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dibuat dengan memperhatikan analisis dan hasil dari penelitian sebelumnya yang relevan dalam beberapa tahun terakhir. Penelitian pertama Ryan Delon Pratama pada artikel [10] berjudul “Penerapan Distribusi *T-Student* Untuk Penaksiran Interval Pada Data Sampel Kecil Menggunakan *Python*” membahas penerapan distribusi *t-Student* untuk penaksiran interval kepercayaan pada data sampel kecil, dengan studi kasus rata-rata lama sekolah tahun 2022 dari BPS, menggunakan *Python* dan pustaka seperti *NumPy*, *Pandas*, dan *SciPy*. Dalam kondisi ukuran sampel kecil dan varians populasi tidak diketahui, distribusi *t-Student* dianggap lebih akurat dibanding distribusi normal. dengan alur pengumpulan data, pengolahan data (mean dan simpangan baku menggunakan *python*) dan visualisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan sampel sebanyak 549 data, rata-rata lama sekolah sebesar 8,57 tahun memiliki interval kepercayaan 95% pada rentang 8,4–8,7 tahun. Penelitian ini menekankan efektivitas distribusi *t-Student* dalam statistik inferensial dan menunjukkan bagaimana pemanfaatan Python dapat mendukung proses analisis data [10].

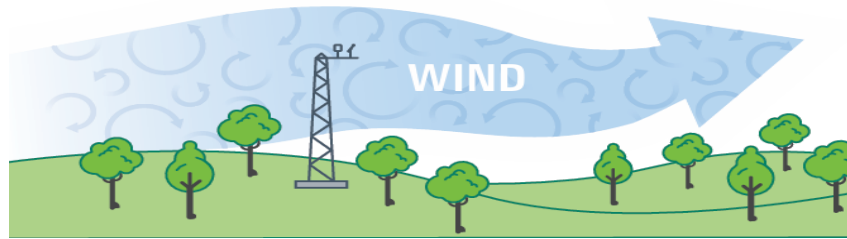
Penelitian kedua adalah studi oleh Jose Angel Callejas-Rodelas pada artikel [11] berjudul "*Comparison between lower-cost and conventional eddy covariance setups for CO₂ and evapotranspiration measurements above monocropping and agroforestry systems*" membandingkan sistem eddy covariance biaya rendah (LC-EC) dengan sistem konvensional (CON-EC: IRGA Li-7200) untuk mengukur fluks CO₂ dan evapotranspirasi (ET) di atas lahan pertanian monokultur (MC) dan sistem agroforestri (SRAC) di Jerman. Pada pengolahan data LC-EC melakukan

preprocessing namun data CON-EC tidak dilakukan sebelum pengolahan fluks. Kemudian melakukan perhitungan fluks (mencari nilai deviasi LC-EC dan CON-EC), *post-processing* dan analisis data. Kemudian setelah tahapan tersebut melakukan perbandingan data terhadap nilai mean, median, nilai tinggi dan rendah frekuensi fluks, *linear regression* pengaturan sistem, serta perbedaan fluks antara LC-EC dan CON-EC. Sehingga hasilnya menunjukkan bahwa LC-EC perangkat dengan sistem yang sama dengan CON-EC menunjukkan kesesuaian yang mereproduksi pola fluks CO₂ yang sama [11].

Penelitian ketiga adalah studi oleh Waheed Ullah pada artikel [12] yang berjudul "*Comparison of 2-m Surface Temperature Data between Reanalysis and Observations over the Arabian Peninsula*" pada penelitian ini mengevaluasi kinerja tiga dataset reanalisis yang terdiri dari ERA5, ERA5-Land, dan MERRA-2 dalam mereproduksi data suhu permukaan 2 meter (T2M) dibandingkan dengan observasi in-situ di Semenanjung Arab (AP) dari tahun 1990 hingga 2022. Hasilnya menunjukkan bahwa ERA5-Land memiliki akurasi tertinggi, terutama dalam merepresentasikan suhu ekstrem dan variasi musiman, sementara ERA5 dan MERRA-2 menunjukkan deviasi yang lebih besar, khususnya di wilayah pesisir dan berbukit. Studi ini menekankan pentingnya validasi data reanalisis untuk wilayah dengan data observasi yang terbatas [12].

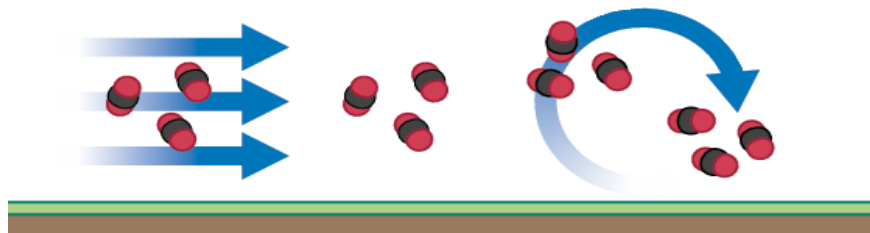
2.2 Metode Eddy Covariance

Metode *Eddy Covariance* adalah suatu teknik ilmiah yang digunakan untuk mengukur dan menganalisis pertukaran gas (seperti karbon dioksida, metana, dan uap air) serta energi (panas dan momentum) antara permukaan bumi (tanah, vegetasi, atau air) dan atmosfer di atasnya. Metode ini didasarkan pada prinsip bahwa aliran udara terdiri dari banyak "*eddy*" atau pusaran kecil yang membawa gas dan energi secara acak dalam arah vertikal. Dengan menganalisis fluktuasi kecepatan angin dan konsentrasi gas secara simultan, sehingga dapat menghitung jumlah gas atau energi yang berpindah melalui suatu bidang horizontal di atmosfer.



Gambar 2.1. Kondisi Aliran Udara Pada Ekosistem [13]

Gambar 2.1 tersebut menggambarkan dinamika aliran udara dalam ekosistem yang terdiri dari pusaran turbulen (*eddy*) dengan komponen tiga dimensi horizontal (u , v) dan vertikal (w) yang memengaruhi pertukaran massa dan energi antara atmosfer dan permukaan bumi. Menara pengamat digunakan untuk mengukur komponen ini secara *real-time* menggunakan alat seperti anemometer dan *gas analyzer*. Metode *Eddy Covariance* digunakan untuk menghitung fluks gas dan energi yang berpindah akibat turbulensi udara. Meskipun tampak acak, pola aliran ini dapat dianalisis secara ilmiah untuk memahami peran atmosfer dalam fungsi ekosistem.



Gambar 2.2. Pusaran Turbulen (*Eddy*) [13]

Gambar 2.2 ini menunjukkan kondisi permukaan tanpa fluks gas, di mana aliran utama membawa molekul gas melintasi area pengukuran, namun tidak ada pertukaran bersih antara permukaan dan atmosfer. Pusaran turbulen (*eddy*) tetap terjadi, tetapi jumlah molekul gas yang dibawa ke atas sama dengan yang dibawa ke bawah sama, sehingga fluks vertikal bersih = nol. Dalam metode *Eddy Covariance*, kondisi ini menghasilkan kovarians nol antara kecepatan vertikal dan konsentrasi gas, menandakan tidak adanya pertukaran gas di permukaan [13].

2.3 LI-COR (LI-7500)

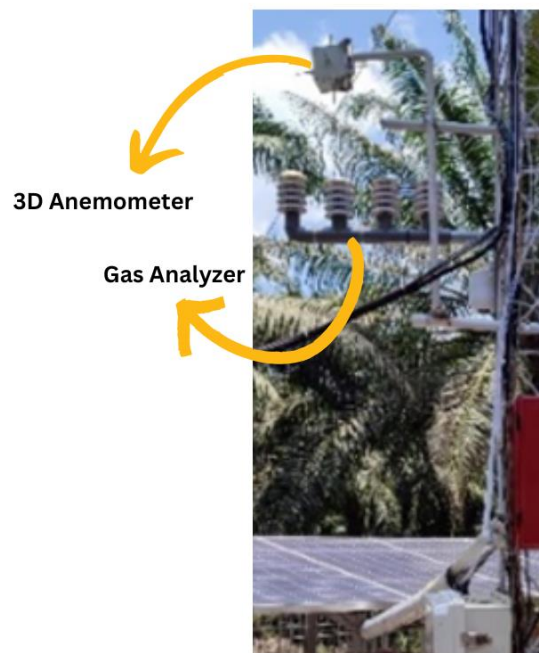
LI-COR *Biosciences* adalah perusahaan teknologi yang dikenal secara global dalam pengembangan alat ilmiah untuk penelitian lingkungan, pertanian, dan bioteknologi. Dalam bidang lingkungan, LI-COR sangat terkenal dengan instrumen *eddy covariance* dan pengukur gas rumah kaca seperti seri LI-7500 dan LI-7200. Seri LI-7500 dari LI-COR adalah alat penganalisis gas jalur terbuka (*open-path gas analyzer*) yang dirancang khusus untuk mengukur konsentrasi karbon dioksida (CO_2) dan Uap Air (H_2O) secara *real-time*.

Perangkat LICOR seri LI-7500 banyak digunakan dalam sistem *eddy covariance* untuk penelitian pertukaran gas rumah kaca antara permukaan bumi dan atmosfer. Kemudian perangkat tersebut menggunakan teknologi *spektroskopi inframerah non-dispersif* (NDIR), di mana sinyal inframerah melewati jalur udara terbuka dan diserap oleh molekul CO_2 dan H_2O , kemudian diukur berdasarkan intensitas radiasi yang tersisa.

2.4 Eddy Covariance Station (ECS)

Perangkat *Eddy Covariance Station* (ECS) terdiri dari *Gas analyzer* dimana perangkat tersebut digunakan untuk mengukur konsentrasi gas tertentu dalam udara atau lingkungan. Data yang direkam dari perangkat *gas analyzer* membantu memastikan bahwa kualitas udara yang berkontribusi dalam keselamatan, kesehatan, dan pelestarian lingkungan [14].

Kemudian *three dimensional* (3D) anemometer adalah perangkat yang dirancang untuk mendeteksi vektor kecepatan dan arah aliran gas. Perangkat yang disebut anemometer dibuat untuk mengidentifikasi vektor kecepatan dalam aliran gas. Pentingnya menentukan ukuran dan arah aliran udara baru-baru ini muncul di sejumlah industri.



Gambar 2.3. Perangkat *Gas Analyzer* dan *Three Dimensional Anemometer*

Berikut gambar 2.3 perangkat *gas analyzer* dan *three dimensional anemometer* yang mampu membaca data CO₂, CH₄, H₂O, suhu, kelembapan relatif, tekanan udara dan beberapa parameter lainnya di lahan gambut PT. Persada Dinamika Lestari milik Laboratorium Telekomunikasi Universitas Lampung. Adapun sensor pada perangkat *Gas Analyzer* dan *Three Dimensional Anemometer* sebagai berikut:

1. Sensor Tekanan Udara

Fungsi: Sensor tekanan udara untuk mengukur tekanan atmosfer dengan presisi tinggi dalam memperkirakan ketinggian (*altitude*) dan menganalisis kondisi cuaca. Untuk aplikasi: Pada perangkat *Gas Analyzer*, kemudian sensor tekanan udara dapat membantu analisis emisi gas yang sensitif terhadap tekanan atmosfer dan menghitung densitas udara untuk pengukuran fluks gas.

2. Sensor Suhu dan Kelembapan Relatif

Fungsi: Sensor yang dapat mengukur temperatur dan kelembapan relatif. Untuk aplikasi: Pada *Gas Analyzer*, sensor suhu memantau parameter lingkungan (kelembapan dan suhu) yang memengaruhi emisi gas.

3. CO₂

Fungsi: Mengukur konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di udara dalam satuan ppm (parts per million). Untuk aplikasi: Pada *Gas Analyzer* untuk mengukur konsentrasi CO₂ yang dilepaskan atau diserap, sehingga dapat menganalisis siklus karbon di ekosistem terbuka.

4. CH₄

Fungsi: Mengukur konsentrasi gas metana (CH₄) di udara. Untuk aplikasi: Pada *Gas Analyzer* digunakan untuk memonitor emisi metana dari lahan gambut, pertanian, atau sumber alami lainnya.

5. Digital Air Speed Sensor

Fungsi: Sensor kecepatan udara berbasis *differential air pressure* (tekanan diferensial) yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Dan untuk aplikasinya: Pada *Three-Dimensional Anemometer*, digunakan untuk mengukur komponen kecepatan angin dalam tiga dimensi. Kemudian data kecepatan angin digunakan untuk perhitungan fluks gas menggunakan metode *Eddy Covariance*.

2.5 Analisis Kondisi Sensor Perangkat *Eddy Covariance Station* (ECS)

Menganalisis pengaruh data akan kondisi sensor pada perangkat *Eddy Covariance Station* (ECS), dimana setiap hasil pembacaan sensor dianalisis apabila terdapat data *error*. Pada analisis ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu memperhatikan fungsionalitas, durabilitas, dan reliabilitas untuk pemantauan secara rutin dan berkala dari masing-masing sensor, mencari alasan kenapa data kurang baik, dan mendiskusikan dengan sistem analisis [15].

2.5.1 Fungsionalitas Perangkat

Fungsionalitas suatu perangkat mencerminkan kemampuan alat tersebut dalam menjalankan tugas atau fungsi utamanya secara efektif. Dalam konteks perangkat ilmiah seperti sensor ekosistem atau alat ukur gas, fungsionalitas meliputi cara kerja sensor dalam menangkap data, sistem pengolahan sinyal, serta bagaimana hasil akhir disajikan dalam bentuk data digital yang dapat dianalisis. Komponen-

komponen utama seperti sensor, sistem kontrol, penyimpanan data, dan antarmuka pengguna harus beroperasi secara sinergis agar alat dapat memberikan data yang akurat dan relevan. Evaluasi fungsionalitas biasanya mencakup pengujian apakah alat bekerja sesuai dengan spesifikasi teknis dan kebutuhan pengguna di lapangan. Semakin baik perangkat menjalankan fungsinya dalam berbagai kondisi operasional, semakin tinggi nilai fungsionalitas.

2.5.2 Durabilitas Perangkat

Durabilitas atau ketahanan perangkat merujuk pada sejauh mana alat mampu bertahan secara fisik dan fungsional dalam kondisi lingkungan yang menantang dan selama periode waktu yang panjang. Perangkat yang digunakan di lapangan, terutama dalam ekosistem terbuka seperti lahan gambut tropis, harus mampu menahan pengaruh cuaca ekstrem, kelembaban tinggi, debu, serta kemungkinan kerusakan akibat gangguan biologis seperti serangga atau tumbuhan. Evaluasi durabilitas melibatkan peninjauan terhadap material pembuat perangkat, desain mekanis, perlindungan terhadap air dan debu (misalnya *IP rating*), serta kebutuhan perawatan rutin. Alat yang memiliki durabilitas tinggi umumnya memerlukan sedikit intervensi pemeliharaan, tidak mudah rusak, dan memiliki umur pakai yang panjang meskipun digunakan dalam kondisi ekstrem.

2.5.3 Reliabilitas Perangkat

Reliabilitas perangkat mengacu pada konsistensi alat dalam menghasilkan data yang akurat dan stabil dari waktu ke waktu. Alat yang reliabel mampu memberikan hasil pengukuran yang seragam ketika digunakan berulang kali dalam kondisi yang sama, serta tetap berfungsi optimal tanpa sering mengalami kegagalan sistem. Evaluasi reliabilitas melibatkan uji konsistensi data, validasi silang dengan perangkat lain (*cross-validation*), serta analisis terhadap tingkat error atau deviasi hasil pengukuran. Selain itu, riwayat kerusakan, jumlah data yang ditandai sebagai tidak valid (*flag error*), dan kebutuhan kalibrasi juga menjadi indikator penting reliabilitas. Perangkat dengan reliabilitas tinggi akan meningkatkan kepercayaan terhadap data yang dihasilkan dan meminimalkan kebutuhan pengulangan pengukuran atau koreksi pasca-pengambilan data.

2.6 Python

Python merupakan bahasa pemrograman yang sangat populer dan banyak digunakan di berbagai bidang seperti pengembangan perangkat lunak, analisis data, kecerdasan buatan, dan ilmu data. *Python* telah menjadi bahasa penting dalam ilmu data karena kemampuannya memproses data yang besar dan kompleks menggunakan perpustakaan seperti *Pandas*, *NumPy*, dan *SciPy*. Selain itu, penggunaan *python* dalam analisis data lingkungan dan pemodelan iklim juga meningkat. Perpustakaan seperti *Matplotlib* dan *Seaborn* membuat visualisasi data menjadi mudah dan informatif, memungkinkan penulis menyajikan hasilnya dengan cara yang menarik dan mudah dipahami [16].

2.7 Exploratory Data Analysis (EDA)

Exploratory Data Analysis (EDA) adalah proses analisis data, bertujuan untuk memahami pola, tren, dan hubungan dalam dataset. EDA membantu menganalisis struktur data secara mendalam, mengidentifikasi anomali, dan mengarahkan langkah analisis selanjutnya. Hal ini digunakan pada pengolahan data yang dihasilkan oleh *Eddy Covariance Station* (ECS). ECS digunakan untuk mengukur pertukaran gas antara permukaan bumi dan atmosfer, menghasilkan data kompleks yang memerlukan pemahaman mendalam sebelum analisis lanjutan. Selanjutnya EDA dapat mengidentifikasi pola, tren, dan anomali dalam data ECS, memastikan kualitas data, dan menentukan perlakuan pra-pemrosesan yang tepat. Langkah-langkah EDA dalam konteks ECS meliputi visualisasi data mentah, perhitungan statistik deskriptif, deteksi dan penanganan nilai hilang serta outlier, dan analisis hubungan antar variabel [17][18].

2.8 Preprocessing Data

Preprocessing data merupakan tahap awal dalam pengolahan data yang bertujuan untuk mempersiapkan data mentah dalam analisis data. Tahapan ini meliputi berbagai langkah, antara lain pembersihan data untuk mengatasi nilai yang hilang (*missing values*) atau nilai pencilan (*outlier*), dan normalisasi atau standarisasi agar skala data seragam. Pra-pemrosesan memiliki peranan penting karena data mentah umumnya mengandung ketidakteraturan, ketidakkonsistenan, atau format yang

belum sesuai dengan kebutuhan analisis. Sehingga dengan melakukan *Preprocessing* data maka hasil pemrosesan data dan analisis data selanjutnya akan menjadi akurat dan efisien.

Pada penelitian dalam pemantauan gas pada perkebunan kelapa sawit lahan gambut yang salah satunya menggunakan perangkat *Eddy Covariance Station* (ECS), dari perangkat tersebut memiliki data *raw* yang direkam oleh sensor yang dapat mengalami ketidaksempurnaan yang diakibatkan seperti gangguan transmisi, kesalahan sensor, atau anomali dalam pengukuran. Oleh karena itu, *preprocessing* data menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa data yang digunakan dalam analisis akurat. *Preprocessing* yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari identifikasi dan pembersihan data duplikat, *missing value*, dan *outlier*.

2.8.1 Penanganan Data Duplikat

Data duplikat adalah suatu fenomena adanya data yang lebih dari satu data dari dataset sehingga duplikasi dapat menggelembungkan ukuran sampel secara artifisial, menyebabkan estimasi statistik menjadi bias. Duplikasi dapat terjadi akibat kesalahan dalam proses akuisisi data, kesalahan pencatatan, atau sistem yang melakukan pengiriman data berulang kali. Maka dari itu, teknik yang akan digunakan dalam menangani duplikasi yaitu dengan menghapus data tersebut.

2.8.2 Penanganan *Missing Value*

Missing value (nilai/data hilang) merupakan kondisi data yang tidak tercatat dalam suatu observasi pada atribut tertentu dalam sebuah dataset. Keberadaan *missing value* bukanlah sekadar kekosongan, melainkan dapat mengindikasikan bias dan berbagai hal yang memiliki implikasi serius terhadap keandalan analisis statistik. Sehingga pada penelitian saat ini untuk mengatasi *missing value* secara umum yang digunakan ialah menghapus data yang tidak lengkap atau dapat dilakukan imputasi dengan metode statistik dengan menggunakan model untuk estimasi kehilangan data.

2.8.3 Penanganan *Outlier*

Outlier (pencilan) didefinisikan sebagai observasi data yang menyimpang dari observasi data lainnya dalam suatu kumpulan data. Penyimpangan ini dapat berasal dari mekanisme yang berbeda atau kejadian acak yang jarang terjadi dengan berbagai faktor, seperti kesalahan pengukuran, kesalahan input data, atau kejadian yang sangat langka. Sehingga pada penelitian ini teknik yang digunakan untuk menangani *outlier* menggunakan metode statistik yaitu seperti *Interquartile Range* (IQR) dan analisis distribusi lainnya.

2.9 Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif adalah metode statistik yang digunakan untuk mendeskripsikan dan meringkas karakteristik utama dari suatu kumpulan data. Tujuan utama analisis ini adalah memberikan gambaran umum mengenai sebaran, kecenderungan sentral (seperti nilai rata-rata, median, modus), serta variabilitas (standar deviasi, rentang, varians) dari data yang diamati [19]. Dalam studi perbandingan perangkat, analisis deskriptif digunakan untuk menilai sejauh mana hasil pengukuran dua perangkat memiliki pola dan distribusi yang serupa. Selain nilai statistik dasar, analisis deskriptif juga dapat ditampilkan dalam bentuk visualisasi seperti grafik sebar (*scatter plot*), *histogram*, *box plot*, dan *time series plot*. Dengan cara ini, penulis dapat lebih mudah mengidentifikasi tren, *outlier*, perbedaan, maupun kemiripan antar perangkat. Pada saat melakukan evaluasi data, yang diperhatikan setelah visualisasi adalah nilai *min*, *max*, *mean*, standar deviasi, dan koefisien varian dari masing-masing data dan perangkat. Berikut penjabaran dari hal yang dilakukan tersebut:

1. Nilai minimum (*minimum*) adalah nilai terkecil atau terendah yang terdapat dalam sebuah kumpulan data. Dalam analisis data, nilai minimum memberikan gambaran tentang titik bawah dari distribusi data setiap parameter pada masing-masing perangkat.

2. Nilai maksimum (*maximum*) adalah nilai tertinggi atau terbesar dalam sebuah kumpulan data. Ini memberikan gambaran tentang titik atas dari distribusi data setiap parameter pada masing-masing perangkat.
3. Nilai rata-rata (*mean*) adalah hasil pembagian jumlah seluruh nilai dalam dataset dengan jumlah data. Rata-rata memberikan gambaran umum mengenai pusat data dan merupakan ukuran yang paling sering digunakan untuk mengukur kecenderungan sentral setiap parameter pada masing-masing perangkat.

Persamaan :

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

Keterangan :

$\bar{x}$ = rata-rata

x_i = nilai data ke-i

n = jumlah data

4. Nilai standar deviasi mengukur sejauh mana data tersebar di sekitar rata-rata. Jika nilai standar deviasi kecil, data akan lebih terpusat di sekitar rata-rata. Sebaliknya, jika besar, data akan lebih tersebar [19].

Persamaan :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

Keterangan :

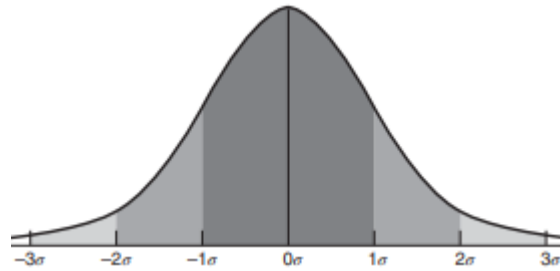
S = standar deviasi

$\bar{x}$ = rata-rata

x_i = nilai data ke-i

n = jumlah data

Kemudian terdapat kurva berbentuk lonceng atau kurva normal yang mempresentasikan distribusi data berbentuk lonceng karena bentuknya yang memang seperti lonceng dengan sisi kanan dan kirinya simetris (sama), dimana terdapat standar deviasi dalam kurva untuk mengukur persebaran data di sekitar nilai rata-rata[20][21]. Berikut kurva standar deviasi pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Standar Deviasi (*The Bell Curve*) [20]

Berdasarkan gambar 2.4. untuk menentukan nilai pada sisi kanan maupun kiri dapat menggunakan *transformed standar score* yaitu sebagai berikut.

$$z' = \mu + (z)(\sigma) \quad (3)$$

Keterangan

z' = skor standar yang diubah (*transformed standar score*)

μ = nilai rata-rata

z = skor standar

σ = standar deviasi

5. Nilai koefisien variasi adalah rasio antara standar deviasi dan rata-rata, yang memberikan gambaran tentang variasi relatif data. Koefisien variasi sering digunakan untuk membandingkan variabilitas data di antara dataset dengan skala yang berbeda.

Persamaan :

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

CV = koefisien variasi

s = standar deviasi

$\bar{x}$ = rata-rata

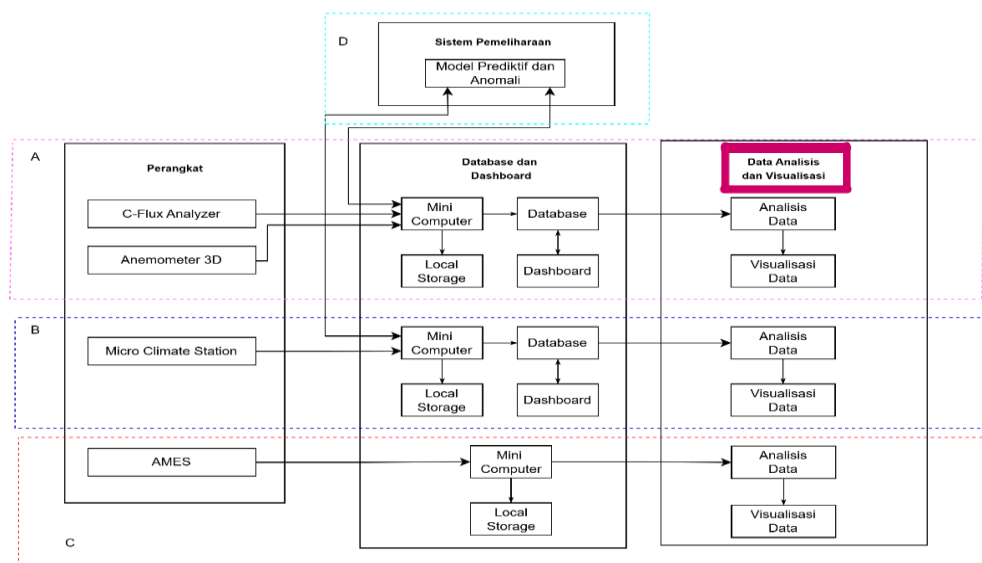
III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama enam bulan di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

3.2 *Project Capstone*

Berikut adalah *project capstone* pada penelitian yang dilakukan. Dapat dilihat pada gambar 3.1. sebagai berikut:



Gambar 3.1. *Project Capstone*

Terdapat gambar 3.1. menunjukkan sistem pemantauan dan analisis data lingkungan yang terintegrasi yang terdiri *C-Flux Analyzer* dan 3D *Anemometer* (ECS), *Micro Climate Station* (MCS), dan AMES. Pada *project capstone* ini

penulis berfokus pada perangkat ECS untuk mengumpulkan data, kemudian dianalisis dan divisualisasikan untuk menghasilkan informasi yang relevan.

3.3 Komponen dan Perangkat Lunak

Dalam penulisan penelitian ini, terdapat komponen dan *software* yang digunakan dalam pengolahan data. Berikut tabel 3.1. daftar komponen dan *software* yang akan digunakan.

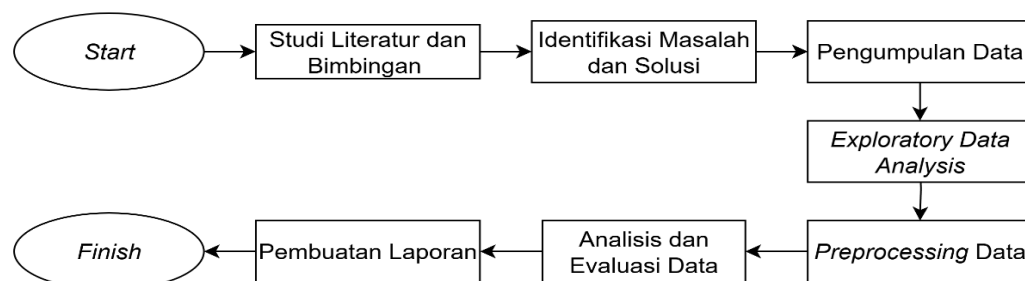
Tabel 3.1. Komponen *Hardware* dan *Software*

No.	Nama	Keterangan
1.	Laptop <i>Windows</i> 10 64-bit, <i>processor</i> AMD 3020e <i>Radeon Graphics</i> RAM 4GB	Media perancangan pembangunan algoritma
2.	PgAdmin 4v8	<i>Open Source management tool for Postgres</i>
3.	<i>Visual Studio Code</i>	<i>Software text editor</i>
4.	<i>Python</i>	Media komputasional
5.	<i>EddyPro</i>	<i>Software processes raw eddy covariance</i>

Pada tabel 3.1. komponen *hardware* dan *software* yang digunakan selama penelitian yang digunakan untuk pengolahan data dan pengerjaan laporan.

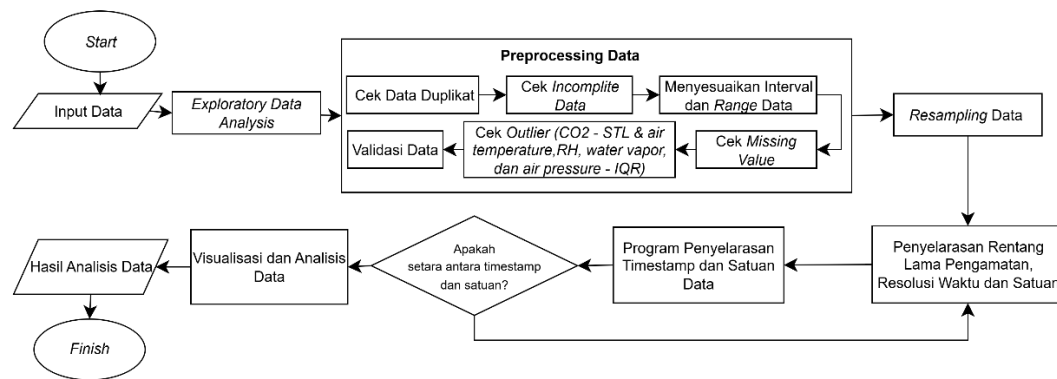
3.4 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini, seluruh proses dilakukan melalui serangkaian langkah yang terorganisir dengan rapi, di mana setiap tahap memiliki fungsi penting dalam menghubungkan penulisan dari ide awal hingga hasil akhir pada gambar 3.2 merupakan diagram alur penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3.2. Blok Diagram Penelitian

Pada gambar 3.2 menunjukkan alur penelitian yang dimulai dari Studi Literatur dan Bimbingan untuk mengumpulkan informasi dan arahan, serta Identifikasi Masalah dan Solusi untuk merumuskan permasalahan dan metode penyelesaiannya. Selanjutnya, dilakukan Pengumpulan Data, diikuti oleh *Exploratory Data Analysis* (EDA) dan *Preprocessing Data* untuk memastikan kelengkapan dan konsistensi. Data kemudian dianalisis dan dievaluasi untuk menemukan pola serta hubungan antar variabel. Hasil penelitian didokumentasikan dalam Pembuatan Laporan. Berikut alur analisis data pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Diagram Alur Analisis Data

Pada gambar 3.3 Diagram alur tersebut menggambarkan proses analisis data yang dimulai dari tahap *Start* dan *Input Data*, kemudian dilanjutkan dengan tahap penting yaitu *Exploratory Data Analysis* (EDA) dan *Preprocessing Data* yang mencakup penghapusan data duplikat, pengecekan data yang tidak lengkap, penyesuaian interval dan rentang data, identifikasi *missing value* dan *outlier*, penentuan variabel, serta validasi data. Setelah data dipersiapkan, dilakukan *Resampling Data* untuk data per menit dan 30 menit. Selanjutnya, dilakukan pengecekan kesetaraan antara *timestamp* dan satuan jika belum setara, maka dilakukan penyesuaian rentang pengamatan, resolusi waktu, dan satuan data melalui program khusus. Data yang telah diselaraskan kemudian divisualisasikan, dilanjutkan dengan analisis deskriptif terhadap data.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berikut kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan :

1. Berdasarkan hasil penelitian pada data perangkat *Eddy Covariance Station* (ECS) telah dilakukan analisis fungsionalitas, durabilitas, dan reliabilitas berdasarkan data yang terekam pada masing-masing *station*. Pada fungsionalitas diperhatikan dari berapa banyak data pada *station 1* seluruh parameter berjumlah 57%, kemudian pada *station 2* CO₂ 76%, suhu udara, kelembapan relatif dan uap air 64%, dan tekanan udara 32%. pada durabilitas seberapa lama perangkat bekerja pada *station 1* di rentang 90 jam dan *station 2* di rentang 100 jam terkecuali tekanan udara di 53 jam selama waktu penelitian sehingga terindikasi sensor tekanan udara mengalami kerusakan. sedangkan untuk reliabilitas di lihat dari nilai koefisien varian untuk CO₂ *station 1* sebesar 14% dan *station 2* sebesar 19%, suhu udara dan kelembapan relatif *station 1* dan *station 2* sama di 10%, uap air *station 1* sebesar 4% dan *station 2* sebesar 3%, serta tekanan udara pada *station 1* sebesar 6% (hal ini disebabkan kehilangan data dari sensor yang tidak bekerja) dan *station 2* sebesar 0,2%. sehingga jika diperhatikan dari fungsionalitas, reliabilitas dan durabilitas kehilangan data pada parameter tekanan udara lebih banyak dibandingkan yang lainnya kemudian perangkat yang mengalami kematian cukup lama mengakibatkan kehilangan data yang cukup banyak juga dan parameter CO₂ lebih optimal kondisi sensor namun pembacaan data memiliki nilai persebaran yang cukup tinggi kemudian untuk 3 parameter lainnya mulai menunjukkan gejala kerusakan di bulan oktober-desember, diharapkan untuk perbaikan perangkat supaya data yang dimiliki lebih lengkap.

2. Berdasarkan hasil penelitian pada data perangkat *Eddy Covariance Station* (ECS) telah dilakukan *Exploratory Data Analysis* (EDA) dan pengolahan data untuk penyesuaian rentang waktu dan satuan dengan LI-COR (LI-7500) (LI-7500) pada parameter CO₂, suhu, kelembapan relatif, Uap Air, dan tekanan udara, sehingga dapat melakukan *preprocessing*, *resampling*, dan analisis data.
3. Berdasarkan visualisasi dan hasil evaluasi data, diperhatikan dari nilai standar deviasi pembacaan data perangkat LI-7500 lebih tinggi pada parameter suhu udara, kelembapan relatif, dan uap air kemudian ECS tinggi di parameter CO₂ dan *air pressure* hal ini dapat dilihat pada tabel 4.13.
4. Berdasarkan hasil evaluasi pengolahan data perangkat ECS terhadap LI-7500 pada bulan Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, dan Desember berdasarkan nilai standar deviasi pada perangkat ECS batas nilai minimum dari mean sejumlah 49,98% dan nilai maksimum dari mean sejumlah 49,36%. sedangkan pada LI-7500 batas nilai minimum dari mean sejumlah 49,77% dan nilai maksimum dari mean sejumlah 49,80%. Dimana pada kedua perangkat nilai minimum standar deviasi lebih kecil LI-7500 sebesar 0,21% tetapi nilai maksimum lebih kecil ECS 0,44%. Kemudian pola grafik data antara ECS dan LICOR maka dapat divalidasi bahwasanya pembacaan data ECS sama validnya dengan data LICOR setelah melakukan beberapa pengolahan data penelitian ini.

5.2 Saran

Saran dalam penelitian ini adalah informasi catatan data hilang pada perangkat atau parameter sensor ECS dapat dijadikan acuan informasi untuk riset dan lainnya yang membutuhkan data perangkat ECS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ueyama and T. Takano, "A Decade of CO₂ Flux Measured by The Eddy Covariance Method Including The COVID-19 Pandemic Period in An Urban Center in Sakai, Japan," *Environmental Pollution*, vol. 304, no. 119210, pp. 1–10, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119210>.
- [2] S. A. Wiyatno, A. Hadi, and Z. T. Mariana, "Pengaruh Tinggi Muka Air Tanah Gambut Terhadap Evolusi Gas CO₂," *actasolum*, vol. 2, no. 2, pp. 65–71, 2024, doi: <https://doi.org/10.20527/actasolum.v2i2.2436>.
- [3] M. Hadi et al., "Reducing Bias On Soil Surface CO₂ Flux Emission Measurements : Case Study On A Mature Oil Palm (*Elaeis Guineensis*) Plantation On Tropical Peatland in Southeast Asia," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 350, no. 110002, pp. 1–13, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110002>.
- [4] W. Edi et al., "Perceptions of Communities Surrounding Peatland Regarding Carbon Savings and Climate Change," *Jurnal Hutan Tropis*, vol. 12, no. 1, pp. 114–124, 2024, doi: <https://dx.doi.org/10.20527/jht.v12i1.19031>.
- [5] Winarna; Heri Santoso, "Karakteristik Emisi CO₂ Tanah Gambut Di Bawah Tegakan Kelapa Sawit," *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, vol. 28, no. 1, pp. 41–50, 2020, doi: <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v28i1.103>.
- [6] R. Pratama, "Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi," *Buletin Utama Teknik*, vol. 3814, no. 2, pp. 120–126, 2019, doi: [10.30743/but.v14i2.1096](https://doi.org/10.30743/but.v14i2.1096).
- [7] Z. Liu, J. Ge, X. Li, S. Yang, and Y. Liu, "Temporal Patterns of Carbon-Water Coupling of a Subalpine Peatland in Subtropics : Insights From a Seven-Year Eddy Covariance Monitoring," *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 54, no. 101903, pp. 1–15, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101903>.
- [8] R. Rahman, E. S. Ratuluhain, F. R. Fakaubun, and I. Villian, "Fluxes of Carbon Dioxide Gases (CO₂) in The Mangrove Soil of Passo Village, Ambon City," *nekton*, vol. 4, no. 2, pp. 94–102, 2024, doi: <https://doi.org/10.47767/nekton.v2i2.856>.
- [9] F. Matsuda et al., "mfapy : An Open-Source Python Package For Flux Analysis C-Based Metabolic Flux Analysis," *Metabolic Engineering Communications*, vol. 13, no. e00177, pp. 1–10, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mec.2021.e00177>.
- [10] R. D. Pratama et al., "Penerapan Distribusi T-Student Untuk Penaksiran Interval Pada Data Sampel Kecil Menggunakan Python," *Jurnal Ilmiah Informatika dan Komputer*, vol. 1, no. 2, pp. 189–194, 2024, doi: <https://doi.org/10.30605/jiik.v1i2.189-194>.

- <https://doi.org/10.69533/atc8bx33>.
- [11] A. Knohl, J. Van Ramshorst, I. Mammarella, and C. Markwitz, "Comparison Between Lower-Cost And Conventional Eddy Covariance Setups For CO₂ And Evapotranspiration Measurements Above Monocropping And Agroforestry Systems," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 354, no. 11086, pp. 1–17, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110086>.
 - [12] W. Ullah et al., "Comparison of 2-m Surface Temperature Data Between Reanalysis And Observations Over The Arabian Peninsula," *Atmospheric Research*, vol. 311, no. 107725, pp. 1–18, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107725>.
 - [13] G. Burba and D. Anderson, "Eddy Covariance Flux Measurements".
 - [14] D. Wang, K. Wang, X. Zheng, K. Butterbach-bahl, E. Díaz-pinés, and H. Chen, "Applicability of A Gas Analyzer With Dual Quantum Cascade Lasers For Simultaneous Measurements of N₂O, CH₄ And CO₂ Fluxes From Cropland Using The Eddy Covariance Technique," *Science of the Total Environment*, vol. 729, no. 138784, pp. 1–15, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138784>.
 - [15] M. Cordella, F. Al, C. Clemm, and A. Berwald, "Durability of Smartphones : A Technical Analysis of Reliability And Repairability Aspects," *Journal of Cleaner Production*, vol. 286, no. 125388, pp. 1–11, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125388>.
 - [16] C. Wu, M. Guarnieri, and W. Xiong, "FreeFlux: A Python Package for Time-Efficient Isotopically Nonstationary Metabolic Flux Analysis," *ACS Synthetic Biology*, vol. 12, pp. 2707–2714, 2023, doi: <https://doi.org/10.1021/acssynbio.3c00265>.
 - [17] P. Dhanshetti, "Techniques of Exploratory Data Analysis," *Madhya Pradesh Journal of Social Sciences*, vol. 28, no. 2, pp. 10–14, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.13578.03522>.
 - [18] H. Shaik, "Role of Exploratory Data Analysis in Data Science," *IEEE*, vol. 7, no. 21, pp. 1476–1480, 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/ICCES51350.2021.9488986>.
 - [19] S. Febriani, "Analisis Deskriptif Standar Deviasi," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 6, no. 1, pp. 910–913, 2022, doi: <https://doi.org/10.31004/jptam.v6i1.8194>.
 - [20] R. S. Witte and J. S. Witte, "Statistics," 8th Editio. wiley, 2017.
 - [21] M. Ridwan, A. M. Berlison, T. Re, and M. Putra, "Penerapan Kurva Normal Dalam Analisis Tingkat Anak Putus Sekolah di Kalimantan Tengah," *Informatich: Jurnal Ilmiah Informatika dan Komputer*, vol. 1, no. 2, pp. 200–204, 2024, doi: <https://doi.org/10.69533/srn0p972>.