

RANCANG BANGUN SISTEM DAN INSTRUMEN PENGUKURAN EMISI GAS RUMAH KACA (CO₂ DAN CH₄)

ANWAR DEEDAT ZINEDINE



**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Rancang Bangun Sistem dan Instrumen Pengukuran Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂ dan CH₄)” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2025

Anwar Deedat Zinedine
G2401211101



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

ANWAR DEEDAT ZINEDINE. Rancang Bangun Sistem dan Instrumen Pengukuran Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂ dan CH₄). Dibimbing oleh IDUNG RISDIYANTO.

Emisi gas rumah kaca (GRK) dari lahan pertanian dan perkebunan berkontribusi signifikan terhadap pemanasan global, dengan pertanian menyumbang 10-12% dari emisi GRK global. Metode saat ini untuk mengukur emisi GRK tanah terbatas dan kompleks, memerlukan integrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT) untuk mengoptimalkan pengumpulan data lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan instrumen dan sistem portabel untuk mengukur gas rumah kaca (CO₂ dan CH₄) yang diemisikan dari tanah pertanian dan perkebunan. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP-32 yang terintegrasi dengan sensor MH-Z19B untuk deteksi CO₂ dan sensor MQ-4 untuk deteksi CH₄, serta sensor lingkungan untuk pemantauan suhu dan kelembaban. Data disimpan dalam real-time Firebase dan secara lokal pada kartu SD. Pengujian lapangan dilakukan di empat lokasi berbeda di PT. Jambi Batanghari Plantation, meliputi gambut tergenang, gambut tidak tergenang, dan tanah mineral. Kalibrasi menggunakan LI-COR 7810 menunjukkan akurasi yang baik untuk pengukuran CO₂ dengan MAE sebesar 20,307 ppm, sedangkan pengukuran CH₄ mencapai $R^2 = 0,9931$ dengan persamaan kalibrasi $y = 19,803x$. Sistem berhasil mengukur akumulasi CO₂ mulai dari 1,127 hingga 2,313 ppm dan akumulasi CH₄ dari 34,952 hingga 415,307 ppb di berbagai jenis tanah. Kemudahan akses data dari sistem memungkinkan untuk interpretasi data untuk penilaian GRK berkelanjutan.

Kata kunci: CH₄, CO₂, emisi gas rumah kaca, pemantauan lingkungan, pemantauan pertanian



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



ABSTRACT

ANWAR DEEDAT ZINEDINE. Design and Development of A System and Instrumentation for Greenhouse Gas Emission (CO₂ and CH₄). Supervised by IDUNG RISDIYANTO.

Greenhouse gas (GHG) emissions from agricultural and plantation lands contribute significantly to global warming, with agriculture accounting for 10-12% of global GHG emissions. Current methods for measuring soil GHG emissions are limited and complex, requiring integration with Internet of Things (IoT) technology to optimize field data collection. This study aimed to develop a portable instrument and system for measuring greenhouse gases (CO₂ and CH₄) emitted from agricultural and plantation soils. The system utilized ESP-32 microcontrollers integrated with MH-Z19B sensors for CO₂ detection and MQ-4 sensors for CH₄ detection, along with environmental sensors for temperature and humidity monitoring. Data was stored in Firebase real-time database and locally on SD cards. Field testing was conducted at four different locations in PT. Jambi Batanghari Plantation, including waterlogged peat, non-waterlogged peat, and mineral soils. Calibration using LI-COR 7810 showed good accuracy for CO₂ measurements with an absolute error of 20.307 ppm, while CH₄ measurements achieved $R^2 = 0.9931$ with calibration equation $y = 19.803x$. The system successfully measured CO₂ accumulation ranging from 1.127 to 2.313 ppm and CH₄ accumulation from 34.952 to 415.307 ppb across different soil types. The developed system provides real-time monitoring capabilities with cloud-based data storage and local backup, enabling continuous assessment of GHG emissions from agricultural soils.

keywords : agricultural monitoring, CO₂, CH₄, environmental monitoring, greenhouse gas



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 20XX
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

RANCANG BANGUN SISTEM DAN INSTRUMEN PENGUKURAN EMISI GAS RUMAH KACA (CO₂ DAN CH₄)

ANWAR DEEDAT ZINEDINE

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada
Program Studi Meteorologi Terapan

**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Dr. Ir. Heru Bagus Pulunggono M,Agr.Sc.
- 2 Sonni Setiawan S.Si, M,Sc.

Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem dan Instrumen Pengukuran Emisi Gas
Rumah Kaca (CO₂ dan CH₄)

Nama : Anwar Deedat Zinedine

NIM : G2401211101

Disetujui oleh

Pembimbing :
Idung Risdiyanto, S.Si, M.Sc



Diketahui oleh

Ketua Departemen Geofisika dan Meteorologi :
Dr. Ana Turyanti, S.Si, M.T
NIP 19710707 199803 2 002



Tanggal Ujian:
(18 Juni 2025)

Tanggal Lulus:



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan September 2025 sampai bulan Maret 2025 ini dengan judul Rancang Bangun Sistem dan Instrumen Pengukuran Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂ dan CH₄) Pada Lahan Gambut Perkebunan Sawit”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Dr. Idung Risdiyanto, S.Si, M.Sc selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dukungan, dan ilmu pengetahuan kepada penulis. Di samping itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua beserta keluarga penulis yang selalu menjadi sumber kekuatan, doa, dan semangat yang tak pernah putus. Tanpa cinta dan dukungan mereka, pencapaian ini tidak akan pernah terwujud.
2. GFM Boys dan rekan-rekan lainnya, yang telah menemani perjalanan ini dengan canda tawa, diskusi, serta kerja sama yang luar biasa di setiap langkah.
3. Keluarga MARKA58ESAR, angkatan 58 GFM, atas kerjasama, solidaritas, dan semangat juangnya yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan akademik dan pribadi penulis.
4. Abang-abang senior di Yayasan Patembayatan Sinau Bumi, yang telah berbagi pengetahuan, pengalaman, serta dorongan moral yang begitu berarti dalam membentuk cara pandang dan semangat belajar penulis.
5. Manusia-manusia yang menemani dalam kepenulisan penelitian ini, tempat berkeluh kesah serta sumber semangat dalam kehidupan akademik penulis. Serta menjadi bentuk *support* moral dalam menjalani keseharian selama menjadi mahasiswa.
6. Kepada masa depan yang masih berwujud kabut, namun hangat kehadirannya terasa dalam setiap langkah. Ia adalah arah yang belum nyata, namun cukup kuat menjadi alasan untuk tetap percaya bahwa segala hal baik, termasuk yang lembut dan penuh harap, sedang menunggu untuk ditemukan.

Bogor, Juli 2025

Anwar Deedat Zinedine



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Emisi Grk Pada Lahan Pertanian dan Perkebunan	3
2.2 Pengukuran Emisi GRK Tanah	3
2.3 Desain Instrumen Pengukuran GRK tanah	4
2.4 Mikrokontroler ESP-32	5
2.5 Sensor MH-Z19B	5
2.6 Sensor MQ-4	6
2.7 <i>Firebase From Google FireStore</i>	6
III METODE	7
3.1 Waktu dan Tempat	7
3.2 Alat dan Bahan	7
3.3 Prosedur Kerja	7
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	9
4.1 Sistem Kerja, Kalibrasi, dan Penarikan Data	9
4.2 Pemasangan Alat dan Pengambilan Data	14
4.3 Basis Data	22
V SIMPULAN DAN SARAN	25
5.1 Simpulan	25
5.2 Saran	25
DAFTAR PUSTAKA	26
RIWAYAT HIDUP	31



DAFTAR GAMBAR

1	Gambar 1 Contoh <i>chamber</i> pengukuran (Maier <i>et al.</i> 2022)	4
2	Gambar 2 Cara kerja sensor MH-Z19B (Huerta <i>et al.</i> 2019)	5
3	Gambar 3 Prosedur Penelitian	7
4	Gambar 4 Diagram alir (a) pola kerja sensor, pembacaan dan pengiriman data, (b) pola penerimaan, penyimpanan, dan penampilan data	10
5	Gambar 5 Skema kelistrikan setiap alat	11
6	Gambar 6 Grafik perbandingan CO ₂ LICOR dengan alat	12
7	Gambar 7 Grafik scatter hubungan nilai analog MQ-4 dengan nilai CH ₄ dari alat LICOR	12
8	Gambar 8 Tampilan <i>dashboard</i> penampilan dan penarikan data	13
9	Gambar 9 Desain sungkup pengukuran	14
10	Gambar 10 Pemasangan alat di lapangan	15
11	Gambar 11 Grafik CO ₂ dan CH ₄ pada lahan gambut tidak terendam (a), gambut terendam (b), tanah mineral PT.JBP (c), dan tanah mineral IPB (d).	16
12	Gambar 12 Grafik Suhu dan kelembapan udara dalam sungkup pada lahan gambut tidak terendam (a), gambut terendam (b), tanah mineral PT.JBP (c), dan tanah mineral IPB (d).	18
13	Gambar 13 Grafik Suhu dan kelembapan tanah dalam sungkup pada lahan gambut tidak terendam (a), gambut terendam (b), tanah mineral PT.JBP (c), dan tanah mineral IPB (d)	20
14	Gambar 14 <i>Boxplot</i> suhu tanah dan suhu udara (a), kelembapan tanah dan kelembapan udara (b) pada tiap titik pengukuran	22
15	Gambar 15 Tampilan <i>real-time database</i> menggunakan <i>firebase</i>	23
16	Gambar 16 Tampilan penyimpanan <i>SD Card</i> dengan format .csv	24

DAFTAR LAMPIRAN

17	Lampiran 1 Spesifikasi umum LICOR li-7810	29
18	Lampiran 2 Spesifikasi umum sensor MH-Z19B	29
19	Lampiran 3 Spesifikasi umum sensor MQ-4	29
20	Lampiran 4 Spesifikasi umum sensor DS18B20	30