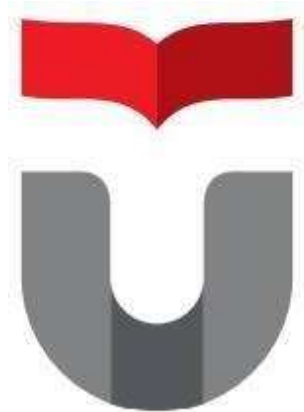


**PENGEMBANGAN SISTEM AKUISISI DATA EMISI SCOPE
1 DARI PLATFORM IOT BERBASIS MQTT DAN
THINGSPEAK PADA INDUSTRI PERTAMBANGAN**

Oleh :

RIFQI ABDULAZIZ

1202210103



**PROGRAM STUDI STRATA 1 SISTEM INFORMASI
FAKULTAS REKAYASA INDUSTRI
UNIVERSITAS TELKOM**

2025

ABSTRAK

Proses pelaporan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Indonesia masih banyak dilakukan secara manual dan tidak terotomatisasi, sehingga berdampak pada rendahnya efisiensi dan keakuratan pelaporan, khususnya pada sektor industri seperti pertambangan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem informasi terintegrasi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu melakukan akuisisi, kalkulasi, dan integrasi data ke sistem pelaporan GRK *Scope 1* secara otomatis. Sistem dirancang untuk mengumpulkan data CO₂ dan CH₄ secara *real-time* melalui sensor yang terhubung menggunakan protokol MQTT ke platform ThingSpeak, dan diteruskan ke basis data Laravel untuk pengolahan lebih lanjut. Pengembangan dilakukan dengan pendekatan *iterative incremental* yang menghasilkan laporan harian, bulanan, dan tahunan secara otomatis. Evaluasi dilakukan melalui metode *functional testing* dan validasi oleh pakar GRK. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem dapat berjalan secara mandiri dalam siklus 24 jam dan menghasilkan laporan yang akurat sesuai standar pelaporan emisi. Solusi ini dinilai efektif dalam mendukung kewajiban industri untuk pelaporan emisi, serta meningkatkan efisiensi operasional dan akuntabilitas lingkungan.

Kata kunci— *sistem informasi, Internet of Things, emisi GRK, Scope 1, pelaporan otomatis*

ABSTRACT

Greenhouse Gas (GHG) emission reporting in Indonesia is still largely conducted manually, leading to inefficiencies and reduced accuracy—particularly in industrial sectors such as mining. This study aims to develop an integrated information system based on Internet of Things (IoT) technology to automate the acquisition, calculation, and data integration of Scope 1 GHG emissions to the reporting system. The system collects real-time CO₂ and CH₄ data through sensors connected via the MQTT protocol to the ThingSpeak platform and stores it in a Laravel-based database for further processing. Using an iterative incremental development approach, the system automatically generates daily, monthly, and annual reports. The system was evaluated through functional testing and expert validation by a GHG consultant. Results demonstrate that the system can operate independently in 24-hour cycles and produce accurate reports aligned with emission reporting standards. This solution is considered effective in supporting industrial compliance with emission regulations and enhancing operational efficiency and environmental accountability.

Keywords— information system, Internet of Things, GHG emissions, Scope 1, automated reporting

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir dengan judul :

PENGEMBANGAN SISTEM AKUISISI DATA EMISI SCOPE 1 DARI PLATFORM IOT BERBASIS MQTT DAN THINGSPEAK PADA INDUSTRI PERTAMBANGAN

Telah disetujui dan disahkan pada Sidang Tugas Akhir

Program Studi Strata 1 Sistem Informasi

Fakultas Rekayasa Industri Universitas Telkom

Oleh:

RIFQI ABDULAZIZ

1202210103

Bandung, 14 Juli 2025

Disetujui oleh,

Pembimbing 1,

Pembimbing 2,

Ir. Ahmad Musnansyah, M.Sc.
NIP : 20610001

Dr. Sinung Suakanto, S.T., M.T.
NIP: 22820012

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS



Nama : Rifqi Abdulaziz

NIM : 1202210103

Alamat : Cluster Pajajaran C/22, Taman
Royal 2, Cipondoh, Tangerang,
Banten

No. Tlp : 081212822148

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya orisinal saya sendiri. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap kejujuran akademik atau etika keilmuan dalam karya ini, atau ditemukan bukti yang menunjukkan ketidakaslian karya ini.

Bandung, 14 Juli 2025

Tanda Tangan

Rifqi Abdulaziz

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa. Tugas Akhir ini merupakan sebuah perjalanan di tahun terakhir studi sarjana saya di Program Studi Strata 1 Teknik Industri / Sistem Informasi, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom.

Ucapan terima kasih saya kepada:

1. Pembimbing Tugas Akhir saya, Ir. Ahmad Musnansyah, M.Sc. dan Dr. Sinung Suakanto, S.T., M.T., atas arahannya dan bimbingannya selama pengerjaan penelitian ini.
2. Rekan saya, Ryan Muhammad Satria, yang sudah membantu saya mendorong rasa keinginan saya untuk mengerjakan tugas akhir ini sehingga saya menjadi lebih bersemangat dalam mengejar sebelum siding.
3. Bapak dan ibu saya, selaku fasilitator utama saya sehingga saya bisa menggapai pendidikan yang lebih baik. Semoga Allah selalu merahmati dan melindungi mereka berdua.
4. Kakak dan adik saya, yang secara tak langsung juga memberikan motivasi untuk mengerjakan tugas akhir kami, baik dari motivasi sederhana, bahkan walau hanya sekedar berbagi makanan.
5. Pak Suryadi, selaku *expert judgement* yang telah membantu kami untuk validasi hasil tugas akhir kami.
6. Pak Hari, selaku penyedia sensor yang turut ikut memberikan andil dalam pengerjaan tugas akhir kami.
7. Motor Jupiter saya yang selalu menemani kemanapun saya bimbingan, bekas peninggalan almarhum kakek saya. Allahummaghfirlahu, warhamhu, wa'aafihi, wa'fu 'anhu.
8. Dan tak lupa pula, Candy, sebagai maskot rumah kami yang selalu mengundang gelak tawa ketika sedang diam pun.

Terima kasih saya juga untuk seluruh pihak yang secara tidak langsung berkontribusi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	v
Kata Pengantar	i
Daftar Isi.....	ii
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel	ix
Bab I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah.....	2
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
I.4 Batasan Masalah	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	4
I.6 Sistematika Penulisan.....	4
I.6.1 Bab I – Pendahuluan	5
I.6.2 Bab II – Tinjauan Pustaka	5
I.6.3 Bab III – Metodologi Penelitian.....	5
I.6.4 Bab IV – Analisis dan Perancangan Sistem.....	5
I.6.5 Bab V – Implementasi dan Pengujian Sistem	6
I.6.6 Bab VI – Kesimpulan dan Saran.....	6
Bab II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
II.1 Literatur Penunjang Tugas Akhir	7
II.1.1 Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)	7
II.1.2 Emisi Gas Rumah Kaca <i>Scope 1</i>	8

II.1.3	<i>Tier dalam Pelaporan Emisi Gas Rumah Kaca</i>	10
II.1.4	<i>Sistem Informasi</i>	11
II.1.5	<i>Real-Time Data Processing</i>	12
II.1.6	<i>Dasbor dan KPI</i>	14
II.1.7	<i>Perhitungan Emisi Karbon</i>	15
II.1.8	<i>Sequence Diagram</i> Error! Bookmark not defined.	
II.1.9	<i>Protokol Komunikasi Modbus TCP/IP</i>	16
II.1.10	<i>Internet of Things</i>	18
II.1.11	<i>Protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)</i>	20
II.1.12	<i>Unified Modelling Language (UML)</i>	21
II.1.13	<i>Use Case Diagram</i>	22
II.1.14	<i>Activity Diagram</i>	24
II.1.15	<i>Sequence Diagram</i>	26
II.1.16	<i>Entity Relationship Diagram</i>	28
II.1.17	<i>Class Diagram</i>	30
II.1.18	<i>REST API</i>	32
II.1.19	<i>Software Development Lifecycle</i>	33
II.1.20	<i>Software Development Method</i>	34
II.2	<i>Alasan Pemilihan Metode</i>	37
Bab III	<i>Metodologi Penelitian</i>	41
III.1	<i>Kerangka Berpikir</i>	41
III.2	<i>Sistematika Penyelesaian Masalah</i>	42
III.2.1	<i>Identifikasi</i>	43
III.2.1.1	<i>Penetapan Latar Belakang</i>	44
III.2.1.2	<i>Penetapan Rumusan Masalah</i>	44
III.2.1.3	<i>Penetapan Tujuan Masalah</i>	44

III.2.1.4	Studi Literatur	44
III.2.1.5	Analisis Kebutuhan.....	44
III.2.2	Tahap Pengembangan Sistem	45
III.2.2.1	Perencanaan	45
III.2.2.2	Analisis dan Desain	45
III.2.2.3	Pengembangan	45
III.2.2.4	Pengujian	46
III.2.2.5	Evaluasi.....	46
III.2.3	Tahap Kesimpulan dan Saran.....	46
III.3	Batasan dan Asumsi Penelitian.....	47
Bab IV	Analisis dan Perancangan	48
IV.1	Tahap Identifikasi	48
IV.1.1	Identifikasi Pengguna.....	52
IV.1.2	Identifikasi <i>Requirement</i>	52
IV.1.2.1	<i>Functional Requirement</i>	52
IV.1.2.2	<i>Non-Functional Requirement</i>	54
IV.2	Desain Perangkat Lunak	56
IV.2.1	Perancangan Sistem	56
IV.2.1.1	<i>Use Case Diagram</i>	56
IV.2.1.2	<i>Use Case Description</i>	59
IV.2.1.2.1	Akuisisi Data Sensor	59
IV.2.1.2.2	Sinkronisasi Data dan Kalkulasi Emisi Data Sensor.....	60
IV.2.1.2.3	Perhitungan Emisi Pembakaran	62
IV.2.1.2.4	Perhitungan Emisi Fugitif	64
IV.2.1.2.5	Pelaporan Emisi	67
IV.2.1.3	<i>Activity Diagram</i>	69

IV.2.1.3.1 Akuisisi Data Sensor	70
IV.2.1.3.2 Sinkronisasi Data dan Kalkulasi Emisi Data Sensor.....	70
IV.2.1.3.3 Perhitungan Emisi Pembakaran	71
IV.2.1.3.4 Perhitungan Emisi Fugitif	72
IV.2.1.3.5 Pelaporan Emisi	73
IV.2.1.4 <i>Sequence Diagram</i>	74
IV.2.1.4.1 Akuisisi Data Sensor	75
IV.2.1.4.2 Sinkronisasi Data dan Kalkulasi Emisi Sensor	75
IV.2.1.4.3 Perhitungan Emisi Pembakaran	76
IV.2.1.4.4 Perhitugan Emisi Fugitif	77
IV.2.1.4.5 Pelaporan Emisi	78
IV.2.1.5 <i>Entity Relationship Diagram</i>	80
IV.2.1.6 <i>Class Diagram</i>	83
IV.3 Spesifikasi Kebutuhan Teknologi.....	85
Bab V Implementasi dan Pengujian	88
V.1 Hasil Implementasi Perangkat Lunak.....	88
V.1.1 <i>Initial Planning</i>	88
V.1.2 <i>Iterative Incremental Development</i> Fase Pertama	89
V.1.2.1 Tahap Perencanaan	89
V.1.2.2 Tahap Analisis	90
V.1.2.3 Tahap Pengembangan.....	90
V.1.2.3.1 Akuisisi Data Sensor	90
V.1.2.3.2 Sinkronisasi Data Sensor dan Kalkulasi Emisi dari Sensor .	92
V.1.2.4 Proses dan Hasil Pengujian.....	94
V.1.3 <i>Iterative Incremental Development</i> Fase Kedua	98
V.1.3.1 Tahap Perencanaan	98

V.1.3.2	Tahap Analisis	98
V.1.3.3	Tahap Pengembangan	98
V.1.3.3.1	Perhitungan Emisi Pembakaran.....	98
V.1.3.3.2	Perhitungan Emisi Fugitif.....	101
V.1.3.4	Proses dan Hasil Pengujian.....	103
V.1.4	<i>Iterative Incremental Development</i> Fase Ketiga.....	107
V.1.4.1	Tahap Perencanaan	107
V.1.4.2	Tahap Analisis	107
V.1.4.3	Tahap Pengembangan	107
V.1.4.3.1	Pelaporan Emisi	107
V.1.4.4	Proses dan Hasil Pengujian.....	109
V.2	Evaluasi Akhir Solusi Sistem Informasi	114
V.2.1	Hasil Evaluasi oleh Ahli (<i>Expert Judgment</i>).....	114
V.2.2	Kesimpulan Evaluasi.....	115
Bab VI	Kesimpulan dan Saran	116
VI.1	Kesimpulan	116
VI.2	Saran	117
Bab VII	Daftar Pustaka.....	119

DAFTAR GAMBAR

Gambar III-1. Model Konseptual	41
Gambar III-2. Sistematika Penyelesaian Masalah	43
Gambar IV-1. Proses Bisnis Pelaporan Emisi Gas Rumah Kaca.....	48
Gambar IV-2. <i>Use Case Diagram</i>	58
Gambar IV-3. <i>Activity Diagram</i> Akuisisi Data Sensor.....	70
Gambar IV-4. <i>Activity Diagram</i> Sinkronisasi Data dan Kalkulasi Emisi Sensor	71
Gambar IV-5. <i>Activity Diagram</i> Perhitungan Emisi Pembakaran	72
Gambar IV-6. <i>Activity Diagram</i> Perhitungan Emisi Fugitif	73
Gambar IV-7. <i>Activity Diagram</i> Pelaporan Emisi	74
Gambar IV-8. <i>Sequence Diagram</i> Akuisi Data Sensor.....	75
Gambar IV-9. <i>Sequence Diagram</i> Sinkronisasi Data dan Kalkulasi Emisi Sensor	76
Gambar IV-10. <i>Sequence Diagram</i> Perhitungan Emisi Pembakaran	77
Gambar IV-11. <i>Sequence Diagram</i> Perhitungan Emisi Fugitif	78
Gambar IV-12. <i>Sequence Diagram</i> Pelaporan Emisi	79
Gambar IV-13. ERD Bagian 1	80
Gambar IV-14. ERD Bagian 2	81
Gambar IV-15. <i>Class Diagram</i>	83
Gambar V-1. Cuplikan Pemrograman Akuisisi Data Sensor.....	91
Gambar V-2. Cuplikan Log yang Dihasilkan dari Pemrograman.....	92
Gambar V-3. Cuplikan Pemrograman Sinkronisasi Data Sensor	93
Gambar V-4. Cuplikan Log yang Dihasilkan dari Pemrograman.....	94
Gambar V-5. Cuplikan Pemrograman Perhitungan Emisi Pembakaran	99
Gambar V-6. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar	100
Gambar V-7. Perhitungan Energi Bahan Bakar yang Dikonsumsi.....	100
Gambar V-8. Perhitungan Emisi Pembakaran	100
Gambar V-9. Cuplikan Log yang Dihasilkan dari Pemrograman.....	101
Gambar V-10. Cuplikan Pemrograman Perhitungan Emisi Fugitif.....	101
Gambar V-11. Cuplikan Log yang Dihasilkan dari Pemrograman.....	103
Gambar V-12. Cuplikan Pemrograman dari Pelaporan Emisi.....	108
Gambar V-13. Cuplikan Log yang Dihasilkan dari Pemrograman.....	109

DAFTAR TABEL

Tabel II-1. Tabel Notasi <i>Use Case Diagram</i>	23
Tabel II-2. Tabel Notasi pada <i>Activity Diagram</i>	25
Tabel II-3. Tabel Notasi pada <i>Sequence Diagram</i>	27
Tabel II-4. Tabel Notasi pada ERD.....	29
Tabel II-5. Tabel Notasi pada <i>Class Diagram</i>	31
Tabel II-6. Tabel Perbandingan Metode	38
Tabel IV-1. Tabel Klasifikasi Aktivitas Pelaporan Emisi Gas Rumah Kaca.....	50
Tabel IV-2. <i>Functional Requirement</i>	52
Tabel IV-3. <i>Non-Functional Requirement</i>	54
Tabel IV-4. Tabel <i>Use Case Description</i> Akuisisi Data Sensor	59
Tabel IV-5. Tabel <i>Use Case Description</i> Sinkronisasi Data Sensor.....	60
Tabel IV-6. Tabel <i>Use Case Description</i> Perhitungan Emisi Pembakaran	62
Tabel IV-7. Tabel <i>Use Case Description</i> Perhitungan Emisi Fugitif	64
Tabel IV-8. Tabel <i>Use Case Description</i> Pelaporan Emisi.....	67
Tabel IV-9. Tabel Spesifikasi Kebutuhan Teknologi	85
Tabel V-1. Tabel Pengujian Fase 1	95
Tabel V-2. Tabel Pengujian Fase 2	104
Tabel V-3. Tabel Pengujian Fase 3	111

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dalam konteks global, kekhawatiran terhadap emisi gas rumah kaca yang timbul dari berbagai aktivitas sehari-hari, mulai dari transportasi umum hingga kegiatan industri termasuk pabrik dan pertambangan, telah menjadi perhatian utama (Mikhaylov dkk., 2020). Ini mendorong para pemangku kepentingan di seluruh dunia untuk melakukan pengurangan emisi bahkan penekanan total dalam jangka panjang. Indonesia telah turut serta dalam proyeksi tersebut dengan pemerintah menetapkan target penurunan emisi gas rumah kaca sebesar 29% pada tahun 2030 dari upaya domestik, serta penurunan sebesar 41% melalui bantuan eksternal (Ditjen PPI KLHK, 2017). Sejalan dengan sasaran resmi penurunan emisi gas rumah kaca yang diumumkan oleh pemerintah Indonesia, sektor industri termasuk pertambangan diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan untuk mencapai tujuan tersebut (Ari Wibowo, 2013). Tekanan untuk mengurangi emisi ini tidak hanya berasal dari regulasi nasional tetapi juga dari komitmen global dalam melawan perubahan iklim (Malihah, 2022). Oleh karena itu, sektor pertambangan dituntut untuk mengadopsi pendekatan yang lebih efektif dalam pemantauan, manajemen, dan pelaporan emisi gas rumah kaca mereka (Pratama. MR dkk., 2023).

Dampaknya akan signifikan bagi industri pertambangan yang membantu secara substansial dalam emisi gas rumah kaca (Sekarini & Setiadi, 2022). Sistem pelaporan emisi gas rumah kaca di sektor pertambangan Indonesia saat ini menghadapi berbagai tantangan dalam penyusunannya (Arifiyanto & Sindu, 2020). Besarnya tantangan ini membuat sebagian industri pertambangan memiliki banyak tantangan dalam membuat laporan, sehingga di banyak lokasi pertambangan, data yang terkumpul tidak terintegrasi yang menyebabkan minimnya pengolahan dan analisis data untuk memprediksi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan, terutama dari emisi *Scope 1* yang mana mencakup berbagai emisi yang dihasilkan langsung dari pertambangan tersebut (Azadi dkk., 2020).

Situasi ini memang disayangkan, mengingat kemajuan teknologi saat ini menawarkan berbagai alat yang dapat membantu mengurangi biaya sistem