

## RESEARCH ARTICLE

# Pengembangan Sistem Informasi Terpadu Untuk Pelaporan Emisi Gas Rumah Kaca *Scope 1* Dengan Memanfaatkan Teknologi IoT Pada Bidang Pertambangan

Ryan Muhammad Satria, Ahmad Musnansyah\* and Sinung Suakanto

Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom, Bandung, 40257, Jawa Barat, Indonesia

\*Corresponding author: [ahmadanc@telkomuniversity.ac.id](mailto:ahmadanc@telkomuniversity.ac.id)

## Abstrak

Sektor pertambangan di Indonesia merupakan kontributor signifikan emisi Gas Rumah Kaca (GRK), namun sistem pelaporannya terkendala oleh proses manual yang tidak akurat, memakan waktu, dan mahal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem informasi terpadu berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mengotomatiskan pelaporan emisi Lingkup 1, serta mengukur daya guna dan akurasi dari sistem yang dikembangkan. Metode pengembangan yang digunakan adalah *Iterative and Incremental* melalui tiga fase, dengan tumpukan teknologi mencakup Laravel untuk dasbor, *Python* untuk kalkulasi emisi otomatis, dan MySQL sebagai basis data. Evaluasi sistem dilakukan melalui *User Acceptance Test* (UAT) dan *System Usability Scale* (SUS) yang melibatkan konsultan ahli. Hasilnya adalah sebuah aplikasi web fungsional yang dilengkapi dasbor pemantauan *real-time*, modul manajemen sensor dan sumber emisi statis, serta fitur ekspor laporan otomatis. Berdasarkan pengujian, sistem memperoleh skor SUS sebesar 92,5 yang menunjukkan tingkat daya guna yang sangat baik (*excellent*). Kesimpulannya, sistem yang dikembangkan berhasil menjadi solusi pelaporan yang valid dan efisien, serta terbukti dapat diterima dengan baik oleh pengguna sebagai alat bantu pemantauan yang andal.

**Key words:** Sistem Informasi, Aplikasi, Gas Rumah Kaca, *Internet of Things*, Pelaporan

## Pendahuluan

Sebagai salah satu negara di Asia Tenggara, Indonesia menyumbang emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 2,31 dari total emisi dunia pada tahun 2022 dengan total emisi sebanyak 425,96 ton CO<sub>2</sub>e. Angka ini melampaui negara tetangga, Malaysia, yang berkisar 353,92 ton CO<sub>2</sub>e dan Singapura yang berkisar 70,47 ton CO<sub>2</sub>e [1]. Dengan angka tersebut, Indonesia sempat termasuk ke dalam 10 besar negara penyumbang emisi GRK terbesar di dunia. Salah satu penyumbang kadar emisi gas rumah kaca adalah penggunaan energi dari industri pertambangan. Seperti yang terlihat pada TABEL 1, industri pertambangan dan penggalian menyumbang 159.189 Gg CO<sub>2</sub>e dalam rentang 5 tahun. Meskipun pada data tersebut industri ini mengalami penurunan, namun industri ini menyumbang 55,14% emisi CO<sub>2</sub> dari total emisi lain [2]. Berangkat dari hal tersebut, Indonesia berkomitmen untuk menekan angka emisi GRK *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC), yaitu sebesar 31,89% dan melalui usaha sendiri sebesar 43,20% pada tahun 2030 serta memiliki visi untuk menjadi negara dengan *Zero Emission* pada tahun 2060. Guna mewujudkan cita-cita tersebut, Pemerintah melakukan beberapa upaya dengan salah satunya adalah menerbitkan serangkaian regulasi yang mengatur

terkait pelaporan emisi dari pelaku usaha yang tertuang pada Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 71 Tahun 2011. Dalam hal ini, penting bagi perusahaan melaporkan hasil inventarisasi emisi ke pemerintahan (baik gubernur, menteri maupun Kepala Lembaga Pemerintah Non Kementerian) secara berkala. Hal ini diperlukan mengingat pada Bab VI Pasal 15 Poin 2 Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 71.

Tahun 2011 berbunyi "Seluruh pelaku usaha dari kegiatan yang secara potensial menimbulkan emisi dan/atau menyerap GRK, wajib melaporkan data-data terkait inventarisasi GRK kepada Gubernur dan Bupati/Walikota sesuai kewenangannya satu kali dalam setahun". Berdasarkan uraian tersebut, sudah menjadi keharusan kepada setiap pelaku usaha yang mengeluarkan emisi dari setiap proses operasionalnya untuk melaporkan data emisi yang dikeluarkan. Walaupun pemerintah melalui Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan membuat aplikasi pelaporan emisi GRK melalui Sign SMART, yakni sistem Inventarisasi GRK, yakni dengan melakukan perhitungan emisi GRK dari setiap sektor penyumbang emisi yaitu Energi, IPPU, Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya dan Limbah [3]. Namun aplikasi ini masih menggunakan metode pemasukan data secara manual. Selain itu, berdasarkan hasil Bangkit dari hal tersebut,

**Table 1.** Perkembangan Gas Rumah Kaca rentang 2018 – 2021 (Gg CO<sub>2</sub>e) pada [NO.PRINTED.FORM] [2]

| Sektor Ekonomi                                           | 2018    | 2019    | 2020    | 2021    | 2022    |
|----------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan                      | 95.339  | 96.497  | 94.502  | 98.518  | 86.503  |
| Pertambangan dan Penggalian                              | 36.961  | 38.082  | 25.514  | 29.352  | 29.280  |
| Industri Pengolahan                                      | 229.445 | 260.205 | 235.235 | 219.868 | 340.711 |
| Pengadaan Listrik dan Gas                                | 262.548 | 274.801 | 279.251 | 303.192 | 297.221 |
| Pengadaan Air, Pengelolaan Sampah, Limbah dan Daur Ulang | 26.186  | 29.143  | 29.478  | 29.831  | 30.840  |
| Transportasi                                             | 83.948  | 74.850  | 65.066  | 66.292  | 81.082  |
| Lapangan Usaha Lainnya                                   | 24.732  | 24.418  | 18.532  | 20.654  | 21.595  |
| Total Industri                                           | 759.219 | 798.447 | 747.579 | 767.707 | 887.233 |

penulis mencoba mengembangkan aplikasi yang lebih akurat, *user-friendly*, dan dapat menyajikan data yang lebih presisi. Berfokus pada industri energi dan *Scope 1*.

## Tinjauan Pustaka

### Sistem Informasi

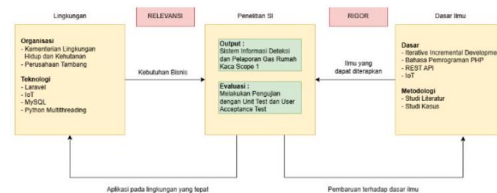
Sistem Informasi (SI) adalah kumpulan sumber daya manusia, teknologi, dan prosedur yang digunakan untuk mengelola informasi di dalam suatu organisasi. Pengelolaan ini dimaksudkan agar tercapainya tujuan perusahaan dengan mencapai operasional terbaik, mengembangkan produk dan/atau jasa, meningkatkan kualitas pengambilan keputusan, dan mencapai keunggulan kompetitif [4].

### Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca (GRK) adalah gas di atmosfer yang memiliki kemampuan untuk menyerap dan memancarkan radiasi inframerah, yang menyebabkan efek rumah kaca dan memanaskan permukaan Bumi. Kandungan pada GRK ada beberapa unsur, yakni Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), hidrofluorokarbon (HFCs), sulfur heksafluorida (SF<sub>6</sub>), dan dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) [5]. Semua unsur penyokong GRK ini yang umumnya disebabkan oleh aktivitas manusia, baik langsung maupun tidak langsung, di antaranya ada Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan, Pertambangan dan Penggalian, Industri Pengolahan, Pengadaan Listrik dan Gas, Pengadaan Air, Pengelolaan Sampah, Limbah dan Daur Ulang, Transportasi, serta aktivitas manusia lainnya. Gas ini berada di atmosfer bumi serta dapat menyerap dan memancarkan kembali sinar inframerah ke segala arah di bumi sehingga suhu bumi dapat terjaga. Pada awalnya, keadaan ini bermanfaat untuk menghangatkan suhu bumi yang apabila tidak memiliki gas-gas tersebut, suhu bumi cenderung dingin [6]. Namun, dengan berkembangnya industri, teknologi, dan budaya manusia, kandungan gas tersebut meningkat secara signifikan dan menyebabkan perubahan pada kondisi alam, salah satunya ialah pemanasan global.

### Internet of Things (IoT)

*Internet of Things* (IoT) adalah konsep jaringan perangkat fisik yang saling terhubung melalui internet untuk mengumpulkan dan berbagi data. IoT pertama kali dikenalkan oleh Kevin Ashton pada 1999. Saat itu, konsep IoT lebih mengarah kepada manajemen rantai pasok. Kata "Things" pada IoT mengacu pada aspek kehidupan yang lain, seperti kesehatan, transportasi, utilitas, dan lain sebagainya. Dengan keterlibatan teknologi, khususnya sensor dan internet, membuat IoT dapat menjangkau aspek kehidupan tersebut dengan lebih mudah dengan minimnya intervensi manusia [7]. Berbicara manfaat, [8] menyampaikan

**Gambar 1.** Metode Konseptual Design Science Research

bahwa IoT memiliki banyak peran dalam aspek kehidupan. Di antaranya ada Otomatisasi dan Kontrol, yakni IoT memungkinkan perangkat untuk saling terhubung dan berkomunikasi.

Kemudian Konektivitas dan Interoperabilitas, yakni IoT menciptakan jaringan perangkat yang saling terhubung, memungkinkan interoperabilitas antara berbagai sistem dan aplikasi sehingga tercipta lingkungan yang terintegrasi, sehingga memudahkan dalam bekerja sama antara sesama komponen perusahaan maupun antar-perusahaan. Terakhir, IoT sangat berperan dalam Keberlanjutan dan Pengelolaan Sumber Daya. IoT dikenal keahwalannya dalam memonitor sumber daya. IoT bahkan dapat mendeteksi adanya upaya serangan siber, serangan *Denial of Service* dan serangan lainnya. Dengan begini, IoT dapat menjaga keutuhan dan keberlangsungan pengelolaan sumber daya yang lebih baik.

## Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian ini disusun secara sistematis untuk memastikan pengembangan artefak sistem informasi dapat menjawab rumusan masalah secara efektif. Kerangka kerja yang digunakan mencakup paradigma penelitian, metode pengembangan sistem, teknik pengumpulan data, arsitektur teknologi, serta strategi pengujian dan evaluasi.

### Kerangka Penelitian

Penelitian ini mengadopsi paradigma *design science research* 1, [9] guna memandu proses perancangan dan evaluasi sistem informasi yang dapat memenuhi kebutuhan industri pertambangan dengan cara efektif dan inovatif. Metode ini menghubungkan lingkungan bisnis (organisasi dan teknologi) dengan penelitian sistem informasi untuk menghasilkan luaran yang relevan dan memiliki landasan keilmuan yang kuat (rigor). Lingkungan penelitian mencakup pemangku kepentingan seperti Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) dan perusahaan tambang, serta pemanfaatan teknologi seperti Laravel, IoT, MySQL, dan Python. Untuk memastikan sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan, evaluasi menggunakan *User Acceptance Test* dan Unit Test.

Table 2. Penelitian Terdahulu &amp; Terkini

| Sumber         | Metode Pengembangan   | Platform dan alat pengembangannya        | Model ML              | Perangkat IoT                                                                                                          | Output                                  |
|----------------|-----------------------|------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| -              | -                     | Eclipse IDE                              | -                     | MCP3008, FC22 ] Gas Sensor, ESP8266, Hi Link, LCD Screen, Hi Link, Servo Motor, Bread Board, Wireless Sensor Network   | Dashboard dan IoT                       |
| -              | -                     | Java, Echarts, Apache Spark, Apache Solr | SVM, LR, ELM, dan ANN | -                                                                                                                      | Model ML, Data Analytics, dan Dashboard |
| -              | -                     | -                                        | -                     | Globe System for Mobile (GSM), Bluetooth module, WiFi module, Arduino Uno R3 Card, MQ7, ME2-O2, MICS-6814, MQ-4, MQ136 | Android dan IoT                         |
| -              | -                     | -                                        | -                     | -                                                                                                                      | Dashboard                               |
| -              | -                     | -                                        | -                     | -                                                                                                                      | Dashboard                               |
| Penelitian Ini | Iterative Incremental | PHP, <i>Python</i>                       | -                     | ESP32, FC-22 Gas Sensor                                                                                                | Dashboard dan IoT                       |



Gambar 2. Tampilan Halaman Login

### Pengumpulan Data

Penulis melakukan 2 metode pengumpulan data, yakni data primer dan sekunder. Hal ini dilakukan agar perancangan lebih maksimal karena fitur yang diberikan sesuai dengan kebutuhan penggunaanya.

#### 1. Data Primer

Data ini diperoleh melalui wawancara mendalam dengan para ahli untuk memahami kebutuhan sistem, kendala pelaporan, dan proses bisnis eksisting. Narasumber utama termasuk seorang peneliti dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Bandung dan perwakilan dari Unit Enviro Pertamina *Refinery Unit* (RU) V Cilacap.

#### 2. Data Sekunder

Data ini digunakan untuk studi literatur dan sebagai dasar perhitungan teknis. Sumber data sekunder mencakup jurnal ilmiah yang diidentifikasi menggunakan metode PRISMA, standar perhitungan emisi dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLHK) [10] dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) [11], serta panduan dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) [12]. Dari hasil pemilihan jurnal ilmiah, didapatkan beberapa jurnal yang mendukung penelitian ini. Hal ini dituliskan dalam TABEL 2.

#### 3. Arsitektur dan Teknologi Sistem

Untuk membuat sistem ini, penulis memanfaatkan beberapa arsitektur dan teknologi, di antaranya:

- Perangkat Keras IoT: Sistem mengintegrasikan data dari sensor gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>, serta sensor partikulat PM2.5 dan PM10. Sensor ini terhubung menggunakan mikrokontroler ESP32.

- Protokol Komunikasi: Transmisi data dari perangkat sensor ke sistem memanfaatkan protokol Modbus TCP/IP dan MQTT, yang kemudian dikirimkan melalui API *Thingspeak*.
- Aplikasi Web (*Backend & Frontend*): Aplikasi berbasis web dikembangkan menggunakan *framework Laravel*. Antarmuka pengguna (frontend) dibangun dengan *Laravel Breeze* yang sudah terintegrasi dengan *Tailwind CSS*. Untuk visualisasi data seperti grafik dan bagan pada dasbor, digunakan *library Chart.js*.
- Kalkulasi Otomatis: Logika untuk kalkulasi emisi otomatis dari berbagai sumber data dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman *Python* dengan memanfaatkan kapabilitas *multithreading* untuk efisiensi.
- Basis Data: MySQL digunakan sebagai sistem manajemen basis data untuk menyimpan seluruh data terstruktur, termasuk data sensor, data pengguna, konfigurasi perusahaan, dan hasil laporan emisi.

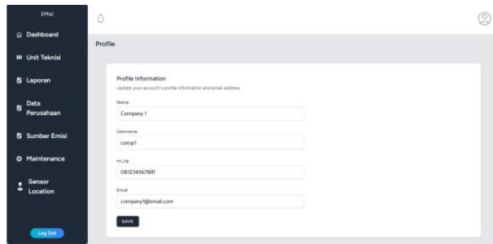
### Metode Pengembangan Sistem

Pengembangan Sistem Informasi ini menggunakan metode *iterative incremental development* dengan alasan fleksibilitas, memungkinkan pengujian fitur lebih awal, dan mencegah kebutuhan untuk merancang ulang sistem secara keseluruhan. Setiap iterasinya menjalani perencanaan, analisis dan desain, pengembangan, pengujian, dan evaluasi. Proses pengembangan dibagi menjadi tiga fase iterasi utama:

- Fase Pertama: Pengembangan fitur inti, mulai dari autentikasi, manajemen akun, pengelolaan data perusahaan, dan dashboard utama
- Fase Kedua: Pengembangan fitur manajemen data emisi yang mencakup pendataan sensor pendataan sumber emisi statis, dan kalkulasi emisi otomatis
- Fase Ketiga: Integrasi akhir dan fungsionalitas pelaporan meliputi pembuatan laporan dan ekspor data

### Metode Pengujian

Pengujian sistem ini mengandalkan *User Acceptance Test* untuk menguji kesesuaian fitur-fitur di dalam aplikasi dengan kebutuhan penggunaanya. Pada pengujian ini melibatkan seorang pihak ahli di bidang pelaporan emisi GRK.



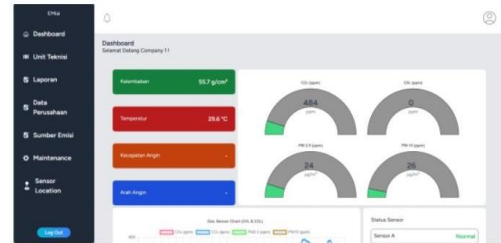
Gambar 3. Fitur Kelola Akun



Gambar 5. Fitur Data Perusahaan



Gambar 4. Fitur Kelola Teknisi



Gambar 6. Fitur Dashboard

## Hasil dan Pembahasan

### Gambaran Umum Sistem

Hasil dari penelitian ini adalah pengembangan sistem informasi pelaporan Gas Rumah Kaca dalam lingkup *Scope 1* berbasis web untuk menyediakan data laporan yang akurat dan cepat karena menggunakan sistem yang terotomatisasi. Aplikasi ini ditenagai oleh Laravel Breeze dan bantuan *Python multithreading* untuk membantu perhitungan emisi dan konektivitas dengan sensor melalui ESP32 dan protokol MQTT serta Modbus. Data dari sensor akan disampaikan melalui ESP32 dan akan diarahkan ke *Thingspeak* untuk dilakukan pendataan. Aplikasi Laravel akan mengambil data dari *Thingspeak* untuk dimasukkan ke database serta diolah menjadi laporan.

### Implementasi Fitur

Sistem ini memiliki serangkaian fitur untuk memenuhi kebutuhan fungsionalnya, di antaranya:

#### 1. Autentikasi dan Manajemen akun

Fitur 2 autentikasi dibuat untuk membatasi akses ke aplikasi dari pihak yang tidak diizinkan dengan cara mengarahkan pengguna ke halaman login. Di sini pengguna diminta untuk memasukkan kredensial berupa username dan password. Bila informasi yang dimasukkan sudah sesuai, maka pengguna diarahkan ke halaman *Dashboard*. Sebaliknya, pengguna yang salah memasukkan kredensial akan dikembalikan ke halaman login.

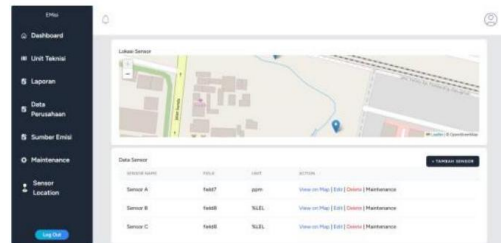
Setiap akun dapat mengelola akunnya sendiri, baik dari nama, email, *password*, dan informasi yang berkaitan dengan akun. Bila ada data yang ingin diubah, pengguna dapat menggantinya sesuai kemauan. Begitupun dengan menghapus akun, hal ini juga dapat dilakukan seperti pada 3. Khusus untuk pengguna dengan role Unit Lingkungan, role ini dapat menambah, mengubah, dan menghapus akun ber-role Teknisi dapat dilihat pada gambar 4.

#### 2. Pengelolaan Data Perusahaan

Fitur 5 ditujukan kepada pengguna dengan role Unit Lingkungan untuk mendefinisikan data perusahaan, dari nama hingga penanggung jawab. Informasi mengenai perusahaan akan dimasukkan ke dalam fitur laporan.

#### 3. Dashboard

Gambar 7. Fitur Pengelola Sensor



Fitur 6 dibuat untuk menampilkan beberapa informasi terkini dalam bentuk visual grafis, seperti kadar emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, PM2.5, dan PM10 yang digambarkan dalam bentuk gauge dan *line chart*. Selain itu, pada fitur ini juga menampilkan status sensor yang menandakan normal atau sedang dilakukan perbaikan.

#### 4. Pengelolaan Data Sensor

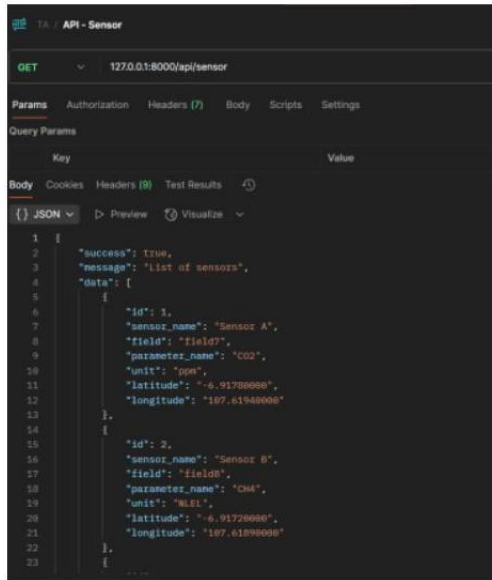
Fitur dirancang untuk mengelola sensor yang akan digunakan sebagai perangkat deteksi. Pengelolaan ini mencakup menambah, menyunting, dan menghapus sensor. Dalam fitur ini juga tersedia peta persebaran sensor lengkap dengan lokasinya (*latitude* dan *longitude*). Selain dalam bentuk antarmuka visual, fitur ini juga menyediakan API yang dapat digunakan pengguna di luar aplikasi ini.

#### 5. Pengelolaan Data Sumber Emisi Statis

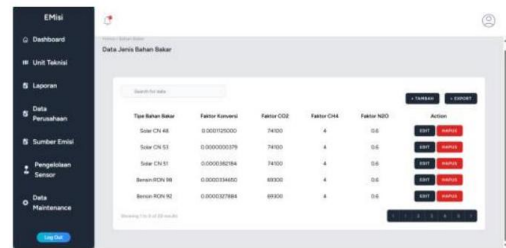
Tak jauh berbeda dengan pengelolaan data sensor, fitur 9 dapat menambah, menyunting, dan menghapus sumber emisi yang berasal dari kendaraan, alat berat, dan alat operasional perusahaan tambang yang tidak dipasang sensor. Fitur ini juga menjadi salah satu bahan pelaporan. Sama seperti pengelolaan data sensor, fitur 10 juga menyediakan API untuk keperluan pengguna eksternal aplikasi ini.

#### 6. Pengelolaan Data Jenis Bahan Bakar

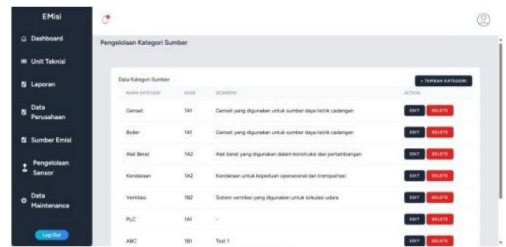
Merupakan fitur untuk mengelola data bahan bakar dari jenis, faktor konversi, faktor CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O. Fitur 11 dirancang sebagai parameter perhitungan emisi pada Sumber Emisi Statis. Pengisian data ini mengikuti standar yang berlaku di Indonesia dan dapat diubah seiring perubahan regulasi.



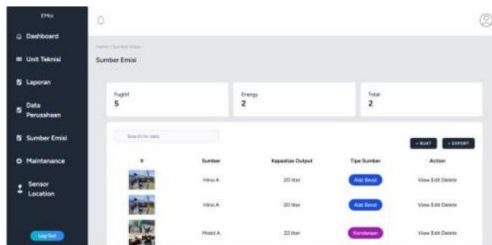
Gambar 8. Tampilan Api Sensor



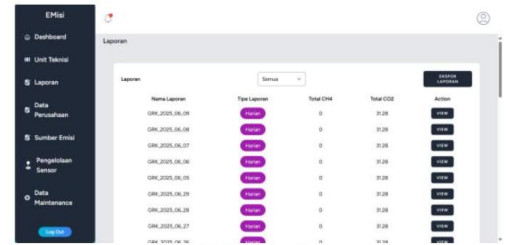
Gambar 11. Pengelolaan Jenis Bahan Bakar

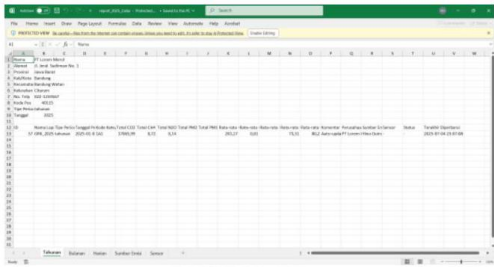


Gambar 12. Tampilan Fitur Pengelolaan Kategori Sumber Emisi

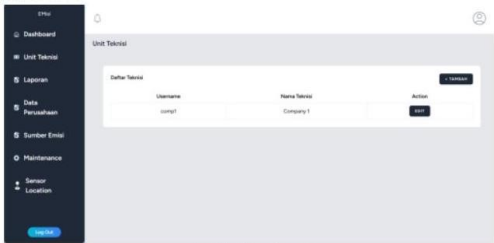


Gambar 9. Tampilan Fitur Sumber Emisi Statis

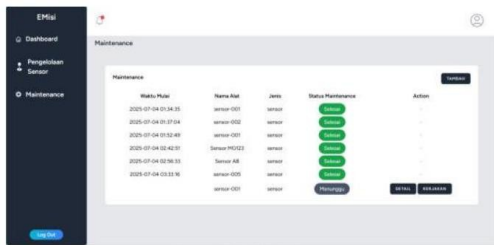




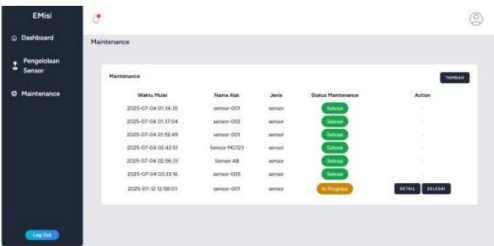
Gambar 15. Tampilan Excel Hasil Ekspor Data Laporan



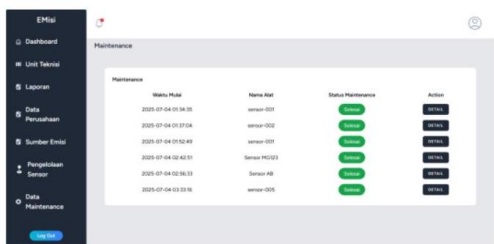
Gambar 16. Tampilan Halaman Maintenance



Gambar 17. Tampilan Halaman Maintenance setelah



Gambar 18. Tampilan Halaman Maintenance setelah Teknisi Menekan Tombol Kerjakan

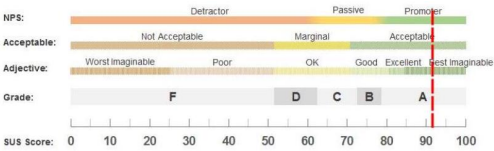


Gambar 19. Tampilan Halaman Maintenance setelah menuntaskan Maintenance

Pengujian dilakukan kepada Pak Suryadi selaku konsultan pelaporan emisi. Pengujian berbasis *User Acceptance Test* (UAT)

Table 3. Hasil *User Acceptance Test*

| ID     | Test Name                       | Status |
|--------|---------------------------------|--------|
| UAT-01 | Log In                          | PASS   |
| UAT-02 | Log out                         | PASS   |
| UAT-03 | Mengakses Data Perusahaan       | PASS   |
| UAT-04 | Menyunting Data Perusahaan      | PASS   |
| UAT-05 | Menyunting Profil               | PASS   |
| UAT-06 | Menambahkan Sensor              | PASS   |
| UAT-07 | Menyunting Sensor               | PASS   |
| UAT-08 | Menghapus Data Sensor           | PASS   |
| UAT-09 | Menambahkan Sumber Emisi        | PASS   |
| UAT-10 | Menyunting Sumber Emisi         | PASS   |
| UAT-11 | Menghapus Sumber Emisi          | PASS   |
| UAT-12 | Menambah Jenis Bahan Bakar      | PASS   |
| UAT-13 | Menyunting Jenis Bahan Bakar    | PASS   |
| UAT-14 | Menghapus Jenis Bahan Bakar     | PASS   |
| UAT-15 | Menambahkan Kategori Emisi      | PASS   |
| UAT-16 | Menyunting Kategori Emisi       | PASS   |
| UAT-17 | Menghapus Kategori Emisi        | PASS   |
| UAT-18 | Melihat Laporan                 | PASS   |
| UAT-19 | Melihat laporan spesifik        | PASS   |
| UAT-20 | Mengekspor Laporan Harian       | PASS   |
| UAT-21 | Mengekspor Laporan Bulanan      | PASS   |
| UAT-22 | Mengekspor Laporan Tahunan      | PASS   |
| UAT-23 | Menambahkan data Maintenance    | PASS   |
| UAT-24 | Melihat Detail data maintenance | PASS   |
| UAT-25 | Mengubah status Maintenance     | PASS   |



Gambar 20. Hasil skala SUS Testing

dan *System Usability Scale* (SUS) dengan menguji fitur-fitur yang ada di aplikasi ini seperti pada TABEL 3 & 4.

Berdasarkan hasil pengujian dengan UAT pada TABEL 3 , pengguna berhasil menggunakan fitur-fitur yang terdapat pada sistem. Selain itu, berdasarkan hasil pengujian SUS pada TABEL 4 dan GAMBAR 20, sistem berada pada peringkat A dengan *Adjective Acceptable*, serta dengan NPS bernilai Promoter. Hasil SUS ini menjadi bukti bahwa sistem secara teknis telah memenuhi kebutuhan pengguna dalam pendataan sensor dan sumber emisi serta menghasilkan laporan sesuai standar regulasi lingkungan yang berlaku. Untuk pengembangan selanjutnya, penguji sistem memberikan saran yakni pengubahan satuan ke ton/tahun, menambahkan model *machine learning* untuk membuat prediksi arah emisi dengan mengambil lokasi geografis dan ketinggian, serta fitur untuk mengubah faktor emisi karena nilai tersebut dapat berubah mengikuti aturan dan standar yang ditetapkan pemerintah.

Table 4. Hasil kuesioner *System Usability Scale*

| Tanggal Pengujian              |                                                                                        | Minggu, 13 Juli 2025 |          |  |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|--|
| No                             | Pertanyaan SUS                                                                         | Skor (1-5)           | Skor SUS |  |
| 1                              | Saya pikir saya ingin sering menggunakan sistem ini                                    | 5                    | 4        |  |
| 2                              | Saya merasa sistem ini terlalu rumit.                                                  | 1                    | 4        |  |
| 3                              | Saya merasa sistem ini mudah digunakan.                                                | 4                    | 4        |  |
| 4                              | Saya membutuhkan bantuan teknis untuk bisa menggunakan sistem ini.                     | 4                    | 1        |  |
| 5                              | Saya menemukan bahwa fitur-fitur dalam sistem ini terintegrasi dengan baik.            | 5                    | 4        |  |
| 6                              | Saya merasa ada terlalu banyak inkonsistensi dalam sistem ini.                         | 1                    | 4        |  |
| 7                              | Saya membayangkan kebanyakan orang bisa belajar menggunakan sistem ini dengan cepat.   | 5                    | 4        |  |
| 8                              | Saya merasa sistem ini membingungkan.                                                  | 1                    | 4        |  |
| 9                              | Saya merasa percaya diri saat menggunakan sistem ini.                                  | 5                    | 4        |  |
| 10                             | Saya harus mempelajari banyak hal terlebih dahulu sebelum bisa menggunakan sistem ini. | 5                    | 4        |  |
| Total Nilai (0-40)             |                                                                                        |                      | 37       |  |
| Nilai SUS (Total $\times$ 2,5) |                                                                                        |                      | 92,5     |  |

## Kesimpulan

Pengembangan aplikasi ini digunakan untuk memudahkan perusahaan tambang dalam pelaporan emisi. Dengan fitur-fiturnya, aplikasi ini meningkatkan efisiensi pelaporan dengan memudahkan perhitungan emisi dengan mengandalkan sensor dan faktor konversi. Oleh karenanya, perhitungan menjadi lebih akurat dengan adanya input langsung dari sensor. Ketersediaan API juga memudahkan pengguna untuk mengambil dan mengolah data sehingga dapat disesuaikan dengan laporan yang dibutuhkan.

## Daftar Pustaka

- European Commission. EDGAR - Emissions Database for Global Atmospheric Research - GHG Emissions of All World Countries; 2023. Accessed: 2024-11-19. Available from: [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report\\_2023?vis=ghgt#emissions\\_table](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023?vis=ghgt#emissions_table).
- Badan Pusat Statistik Republik Indonesia. Neraca Arus Energi dan Neraca Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia. BPS; 2024.
- Sugardiman RA. Panduan SIGN-SMART. Jakarta; 2019.
- Laudon KC, Laudon JP. Management Information Systems. 13th ed. Harlow: Pearson Education Limited; 2014. Accessed: 2024-11-13. Available from: [https://repository.dinus.ac.id/docs/ajar/Kenneth\\_C.Laudon,\\_Jane\\_P\\_.Laudon\\_-\\_Management\\_Information\\_System\\_13th\\_Edition.pdf](https://repository.dinus.ac.id/docs/ajar/Kenneth_C.Laudon,_Jane_P_.Laudon_-_Management_Information_System_13th_Edition.pdf).
- Mabrouki J, Azroul M, Fattah G, Dhiba D, El Hajjaji S. Intelligent Monitoring System for Biogas Detection Based on the Internet of Things: Mohammedia, Morocco City Landfill Case. Big Data Mining and Analytics. 2021;4(1):10-7.
- United States Environmental Protection Agency. Overview of Greenhouse Gases; 2024. Accessed: 2024-11-13. Available from: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>.
- Gubbi J, Buyya R, Marusic S, Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions. Future Generation Computer Systems. 2013;29(7):1645-60.
- Adi E, Anwar A, Baig Z, Zeadally S. Machine Learning and Data Analytics for the IoT. Neural Computing and Applications. 2020;32(20):16205-33.
- Hevner AR, March ST, Park J, Ram S. Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly. 2004;28(1):75-105.
- Kementerian Lingkungan Hidup. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Volume 1: Metode Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Pengadaan dan Penggunaan Energi. vol. 1; 2012. Accessed: 2025-06-20. Available from: <https://signsmart.menlhk.go.id/v2.1/app/frontend/pedoman/download/290411400-Pedoman-Buku-II-Volume-1-ENERGI.pdf>.
- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM. Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Bidang Energi - Sub Bidang Ketenagalistrikan; 2018. Accessed: 2024-12-27. Available from: [https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download\\_index/files/414cf-1.-pedoman-penghitungan-dan-pelaporan-inventarisasi-grk.pdf](https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/414cf-1.-pedoman-penghitungan-dan-pelaporan-inventarisasi-grk.pdf).
- Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC; 2006.
- Alshahrani A, Mahmoud A, El-Sappagh S, Elbelkasy MSA. An Internet of Things Based Air Pollution Detection Device for Mitigating Climate Changes. Information Sciences Letters. 2023;12(4).
- Li J, Guo Y, Fu Z, Zhang X, Shen F. An Intelligent Energy Management Information System with Machine Learning Algorithms in Oil and Gas Industry. Wireless Communications and Mobile Computing. 2023;2023.
- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM. Panduan Penggunaan APPLIGATRIK untuk Induk Perusahaan dan Unit Pelaksana; 2018. Accessed: 2024-12-27. Available from: [https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download\\_index/files/87d63-2.-pedoman-pengisian-applegatrik.pdf](https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/87d63-2.-pedoman-pengisian-applegatrik.pdf).
- Presiden Republik Indonesia. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 71 Tahun 2011; 2011.