

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

Ryan Muhammad Satria
Fakultas Rekayasa Industri
Telkom University
Bandung, Indonesia

ryansatria@student.telkomuniversity.ac.id

Ahmad Musnansyah
Fakultas Rekayasa Industri
Telkom University
Bandung, Indonesia

ahmadanc@telkomuniversity.ac.id

Sinung Suakanto
Fakultas Rekayasa Industri
Telkom University
Bandung, Indonesia

sinung@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.

Kata kunci— sistem informasi, aplikasi, gas rumah kaca, internet of things, pelaporan

I. 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 CO₂e. Angka ini melampaui negara tetangga, Malaysia, yang berkisar 353,92 ton CO₂e dan Singapura yang berkisar 70,47 ton CO₂e [1]. Dengan angka tersebut, Indonesia sempat termasuk ke dalam 10 besar negara penyumbang emisi GRK terbesar di dunia.

TABEL 1

Tabel Perkembangan Gas Rumah Kaca rentang 2018 – 2021 (Gg CO₂e) 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

Salah satu penyumbang kadar emisi gas rumah kaca adalah penggunaan energi dari industri pertambangan. Seperti yang terlihat pada Tabel 1. 1, industri pertambangan dan penggalian menyumbang 159.189 Gg CO₂e dalam rentang 5 tahun. Meskipun pada data tersebut industri ini mengalami penurunan, namun industri ini menyumbang 55,14% emisi CO₂ dari total emisi lain.

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

II. KAJIAN TEORI

A. 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].

B. 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_2), metana (CH_4), hidrofluorokarbon (HFCs), sulfur heksafluorida (SF_6), dan dinitrogen oksida (N_2O) [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.

C. 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].

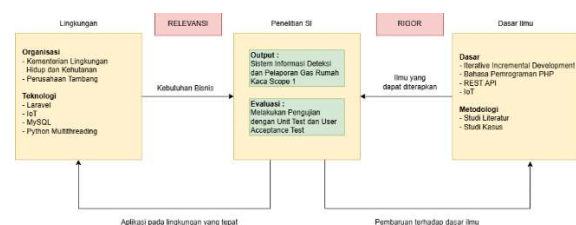
Berbicara manfaat, [8] menyampaikan bahwa IoT memiliki banyak peran dalam aspek kehidupan. Di antaranya ada Otomatisasi dan Kontrol, yakni IoT memungkinkan perangkat untuk saling terhubung dan berkomunikasi. Kemudian Konektivitas dan Interoperabilitas, yakni IoT menciptakan jaringan perangkat yang saling 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 kehandalannya 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.

III. METODE

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.

A. Kerangka Penelitian

Penelitian ini mengadopsi paradigma *design science research* [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*.



GAMBAR 1

Metode Konseptual *Design Science Research*

B. 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 penggunaannya.

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 pemilahan jurnal ilmiah, didapatkan beberapa jurnal yang mendukung penelitian ini. Hal ini dituliskan dalam Tabel III.1.

TABEL 2
Penelitian Terdahulu dan Terkini

Sumber	Metode Pengembangan	Platform dan alat pengembangannya	Model ML	Perangkat IoT	Output
[13]	-	Eclipse IDE	-	MCP3008, FC-22 Gas Sensor, ESP8266, Hi Link, LCD Screen, Hi Link, Servo Motor, Bread Board, Wireless Sensor Network	Dashboard dan IoT
[14]	-	Java, Echarts, Apache Spark, Apache Solr	SVM, LR, ELM, dan ANN	-	Model ML, <i>Data Analytics</i> , dan Dashboard
[15]	-	-	-	Globe System for Mobile (GSM), Bluetooth module, WiFi module, Arduino Uno R3 Card, MQ-7, ME2-O2, MICS-6814, MQ-4, MQ136	Android dan IoT
[16]	-	-	-	-	Dashboard
[3]	-	-	-	-	Dashboard
Penelitian Ini	<i>Iterative Incremental</i>	PHP, Python	-	ESP32, FC-22 Gas Sensor	Dashboard dan IoT

C. 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 CH₄ dan CO₂, 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.

D. 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:

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

E. Metode Pengujian

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

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. 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.

B. Implementasi Fitur

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

1. Autentikasi dan Manajemen akun

Fitur 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*.

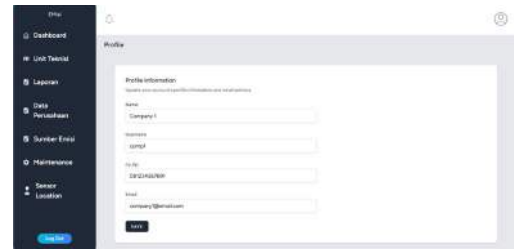


GAMBAR 2

Tampilan 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.



GAMBAR 3

Fitur Kelola Akun

Khusus untuk pengguna dengan role Unit Lingkungan, *role* ini dapat menambah, mengubah, dan menghapus akun *ber-role* Teknisi.



GAMBAR 4

Fitur Kelola Teknisi

2. Pengelolaan Data Perusahaan

Fitur ini 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.



GAMBAR 5

Fitur Data Perusahaan

3. Dashboard

Fitur ini dibuat untuk menampilkan beberapa informasi terkini dalam bentuk visual grafis, seperti kadar emisi CO₂, CH₄, PM_{2.5}, 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.

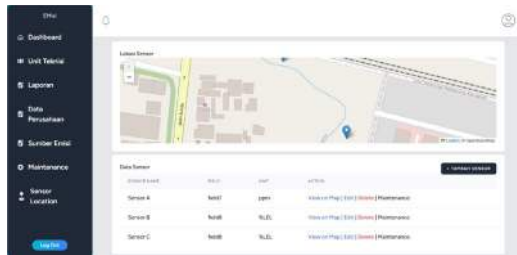


GAMBAR 6

Fitur Dashboard

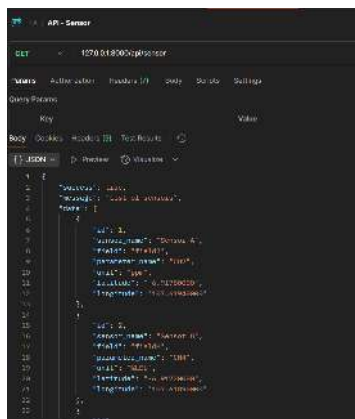
4. Pengelolaan Data Sensor

Fitur ini 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*).



GAMBAR 7
Fitur Pengelolaan Sensor

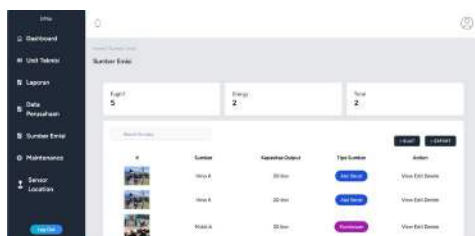
Selain dalam bentuk antarmuka visual, fitur ini juga menyediakan API yang dapat digunakan pengguna di luar aplikasi ini.



GAMBAR 8
Tampilan API Sensor

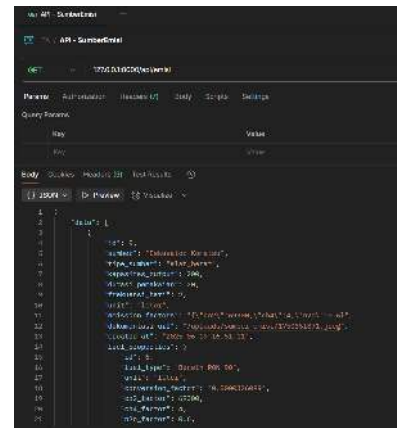
5. Pengelolaan Data Sumber Emisi Statis

Tak jauh berbeda dengan pengelolaan data sensor, fitur ini 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.



GAMBAR 9
Tampilan Fitur Sumber Emisi Statis

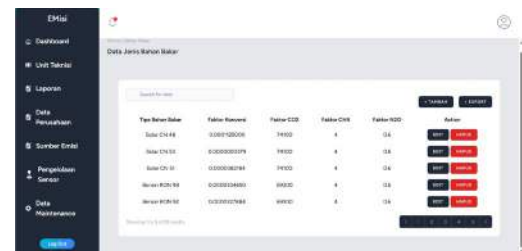
Sama seperti pengelolaan data sensor, fitur ini juga menyediakan API untuk keperluan pengguna eksternal aplikasi ini.



GAMBAR 10
Tampilan API Sumber Emisi Statis

6. Pengelolaan Data Jenis Bahan Bakar

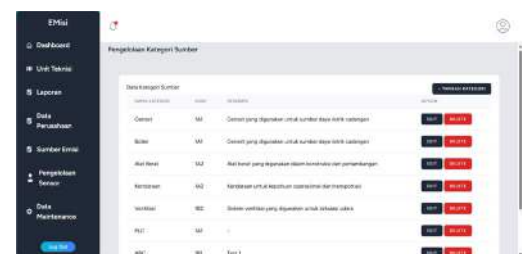
Merupakan fitur untuk mengelola data bahan bakar dari jenis, faktor konversi, faktor CO₂, CH₄, dan N₂O. Fitur ini dirancang sebagai parameter perhitungan emisi pada Sumber Emisi Statis. Pengisian data ini mengikuti standar yang berlaku di Indonesia dan dapat diubah seiring perubahan regulasi.



GAMBAR 11
Pengelolaan Jenis Bahan Bakar

7. Pengelolaan Kategori Sumber Emisi

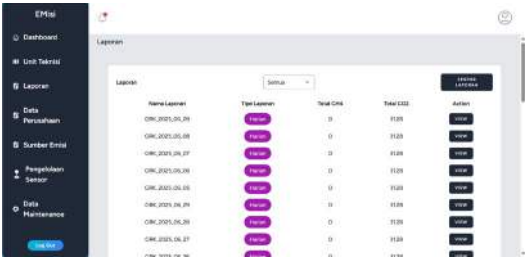
Merupakan fitur untuk mengelola kategori sumber emisi dari nama sumber, kode laporan IPCC, dan deskripsi. Fitur ini dirancang sebagai parameter tipe sumber pada Sumber Emisi Statis.



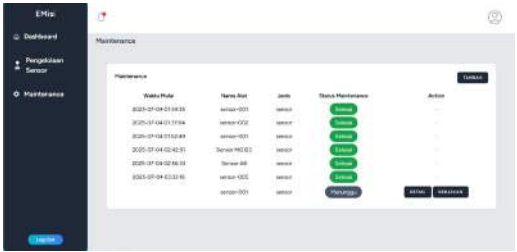
GAMBAR 12
Tampilan Fitur Pengelolaan Kategori Sumber Emisi

8. Pemantauan Laporan

Merupakan fitur pemantauan laporan, baik harian, bulanan, hingga tahunan. Laporan secara otomatis *generate* hasil dari penggunaan Python *Multithreading*. Halaman laporan menyajikan ringkasan data emisi yang dapat dilihat oleh pengguna.

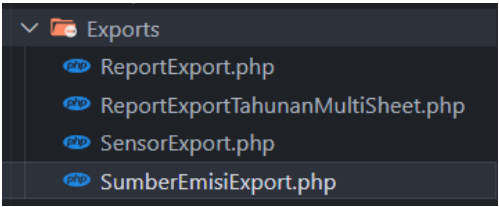


GAMBAR 13
Tampilan Fitur Pemantauan Laporan

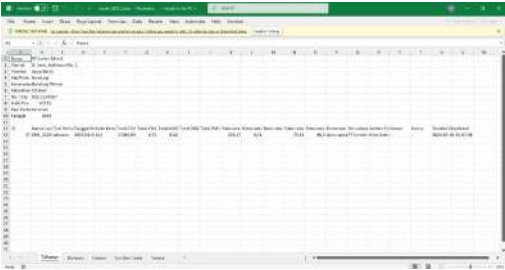


GAMBAR 17
Tampilan Halaman Maintenance setelah input data

9. Ekspor Data
Merupakan fitur untuk mengekstrak data dari *database* ke format Excel. Fitur ini meliputi beberapa fungsi ekspor data laporan, sensor, dan data sumber emisi ke dalam format berkas Excel (.xlsx) menggunakan pustaka Laravel Excel.



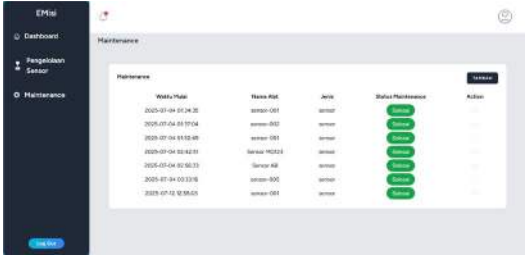
GAMBAR 14
Folder Fitur Ekspor Data



GAMBAR 15
Tampilan Excel Hasil Ekspor Data Laporan

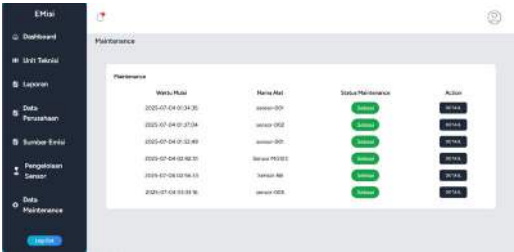


GAMBAR 18
Tampilan Halaman Maintenance setelah Teknisi menekan tombol kerjakan



GAMBAR 19
Tampilan Halaman Maintenance setelah menuntaskan Maintenance

10. Pengelolaan Maintenance
Merupakan fitur untuk pengelolaan *maintenance* sensor yang terhubung dengan sistem. Fitur ini ditujukan untuk pengguna dengan *role* Teknisi. Fitur ini mencakup fungsi menambahkan *maintenance*, serta mengubah status *maintenance* ke "In Progress" dan "Selesai".



GAMBAR 16
Tampilan Halaman Maintenance

C. Hasil Pengujian dan Evaluasi
Pengujian dilakukan kepada Pak Suryadi selaku konsultan pelaporan emisi. Pengujian berbasis *User Acceptance Test* (UAT) dan *System Usability Scale* (SUS) dengan menguji fitur-fitur yang ada di aplikasi ini seperti pada Tabel IV.1.

TABEL 3
Tabel Hasil User Acceptance Test

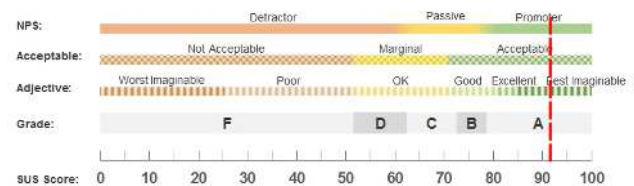
ID	Test Name	Status
UAT-01	Log In	PASS
UAT-02	Log out	PASS
UAT-03	Mengakses Data Perusahaan	PASS
UAT-04	Menyunting Data Perusahaan	PASS
UAT-05	Menyunting Profil	PASS
UAT-06	Menambahkan Sensor	PASS
UAT-07	Menyunting Sensor	PASS
UAT-08	Menghapus Data Sensor	PASS
UAT-09	Menambahkan Sumber Emisi	PASS
UAT-10	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	Menekspor Laporan Harian	PASS
UAT-21	Menekspor Laporan Bulanan	PASS
UAT-22	Menekspor Laporan Tahunan	PASS
UAT-23	Menambahkan data <i>Maintenance</i>	PASS
UAT-24	Melihat Detail data <i>maintenance</i>	PASS
UAT-25	Mengubah status <i>Maintenance</i>	PASS

TABEL 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 × 2,5)			92,5



GAMBAR 20
Hasil skala SUS Testing

Berdasarkan hasil pengujian dengan UAT pada Tabel IV.1, pengguna berhasil menggunakan fitur-fitur yang terdapat pada sistem. Selain itu, berdasarkan hasil pengujian SUS pada Tabel IV.2 dan Gambar IV.1, 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 perubahan 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.

V. 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.

REFERENSI

- [1] European Comission, "EDGAR - Emissions Database for Global Atmospheric Research - GHG emissions of all world countries." Diakses: 19 November 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023?vis=ghgtot#emissions_table
- [2] Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, "NERACA ARUS ENERGI DAN NERACA EMISI GAS RUMAH KACA INDONESIA BADAN PUSAT STATISTIK BPS-STATISTICS INDONESIA," 2024.
- [3] R. A. Sugardiman, "Panduan SIGN-SMART," Jakarta, Nov 2019.
- [4] K. C. Laudon dan J. P. Laudon, *Management Information System*, vol. 13. Harlow: Pearson Education Limited, 2014. Diakses: 13 November 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://repository.dinus.ac.id/docs/ajar/Kenneth_C.Laudon,Jane_P_.Laudon_-_Management_Information_Sysrem_13th_Edition_.pdf
- [5] Presiden Republik Indonesia, "PERATURAN PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA NOMOR 71 TAHUN 2011," 2011.
- [6] United States Environmental Protection Agency, "Overview of Greenhouse Gases," <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>. Diakses: 13 November 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- [7] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, dan M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, 2013, doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.
- [8] E. Adi, A. Anwar, Z. Baig, dan S. Zeadally, "Machine learning and data analytics for the IoT," *Neural Comput Appl*, vol. 32, no. 20, hlm. 16205–16233, Okt 2020, doi: 10.1007/s00521-020-04874-y.
- [9] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, dan S. Ram, "Design science in information systems research," *MIS Q*, vol. 28, no. 1, 2004, doi: 10.2307/25148625.
- [10] 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. Diakses: 20 Juni 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://signsmart.menlhk.go.id/v2.1/app/frontend/pedoman/download/290411400-Pedoman-Buku-II-Volume-1-ENERGI.pdf>
- [11] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM, *Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Bidang Energi - Sub Bidang Ketenagalistrikan*. 2018. Diakses: 27 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/414cf-1.-pedoman-penghitungan-dan-pelaporan-inventarisasi-grk.pdf
- [12] S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, dan K. Tanabe, "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories," 2006.
- [13] A. Alshahrani, A. Mahmoud, S. El-Sappagh, dan M. S. Ali Elbelkasy, "An Internet of Things Based Air Pollution Detection Device for Mitigating Climate Changes," *Information Sciences Letters*, vol. 12, no. 4, 2023, doi: 10.18576/isl/120413.
- [14] J. Li, Y. Guo, Z. Fu, X. Zhang, dan F. Shen, "An Intelligent Energy Management Information System with Machine Learning Algorithms in Oil and Gas Industry," *Wirel Commun Mob Comput*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/3385453.
- [15] J. Mabrouki, M. Azrou, G. Fattah, D. Dhiba, dan S. El Hajjaji, "Intelligent monitoring system for biogas detection based on the Internet of Things: Mohammedia, Morocco city landfill case," *Big Data Mining and Analytics*, vol. 4, no. 1, 2021, doi: 10.26599/BDMA.2020.9020017.
- [16] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM, *PANDUAN PENGGUNAAN APPLE-GATRIK untuk Induk Perusahaan dan Unit Pelaksana*. 2018. Diakses: 27 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/87d63-2.-pedoman-pengisian-apple-gatrik.pdf