

## BAB I PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

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 (European Commission, 2023). Dengan angka tersebut, Indonesia sempat termasuk ke dalam 10 besar negara penyumbang emisi GRK terbesar di dunia.

Tabel I.1 Tabel Perkembangan Gas Rumah Kaca rentang 2018 – 2021 (Gg CO<sub>2</sub>e) pada Badan Pusat Statistik Republik Indonesia (2024)

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
<b>Total Industri</b>	<b>759.219</b>	<b>798.447</b>	<b>747.579</b>	<b>767.707</b>	<b>887.233</b>

Salah satu penyumbang kadar emisi gas rumah kaca adalah penggunaan energi dari industri pertambangan. Seperti yang terlihat pada Tabel I.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.

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.

Pemerintah Indonesia sebenarnya sudah menerapkan penghitungan dan pelaporan emisi GRK. Bahkan pada tahun 2019, Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan membuat aplikasi pelaporan emisi GRK melalui Sign SMART, yakni sistem Inventarisasi GRK, yakni dengan melakukan perhitungan emisi/serapan GRK dari setiap sektor penyumbang emisi atau serapan yaitu Energi, IPPU, Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya dan Limbah (Sugardiman, 2019). Pembuatan aplikasi ini bermaksud untuk menyediakan data dan informasi yang valid, akurat dan terbaru mengenai emisi GRK serta berfungsi untuk meningkatkan efektifitas pengolahan data dan estimasi GRK baik tingkat nasional, provinsi maupun kabupaten atau kota.

Selain aplikasi yang dikembangkan oleh KLHK, terdapat aplikasi bernama Aplikasi Penghitungan dan Pelaporan Emisi Ketenagalistrikan (APPLEGatrik). Aplikasi ini dikembangkan untuk bidang Pembangkitan Tenaga Listrik dengan tujuan yang sama dengan aplikasi sebelumnya, yakni untuk Inventarisasi Gas Rumah Kaca yang dilakukan setiap setahun sekali. Pelaporan ini dilakukan oleh

Unit Perusahaan dengan melakukan Penghitungan dan pelaporan emisi GRK per unit pembangkit, kemudian dilakukan validasi dan pelaporan laporan emisi GRK tahunan oleh Unit Lingkungan, dan diakhiri dengan validasi dan persetujuan laporan emisi GRK tahunan oleh Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM.

Walaupun inventarisasi GRK secara konvensional hingga dalam bentuk aplikasi bertajuk Sign SMART sudah diimplementasikan, namun cara tersebut masih memiliki beberapa kekurangan. Salah satunya adalah keakuratan data. Kedua aplikasi tersebut masih menggunakan metode input data secara manual, terutama kadar emisi. Menurut Setiawan & Wright (2024), estimasi emisi *coal mine methane* (CMM) yang ditetapkan Pemerintah Indonesia adalah sebanyak 128 kt CH<sub>4</sub>. Hal ini 6 kali lebih kecil estimasi data satelit yang berjumlah 750 kt CH<sub>4</sub>. Form pengisian tersebut diisi berdasarkan hasil perhitungan inventarisasi GRK yang biasanya dilakukan oleh pihak ketiga. Contoh yang dapat diambil adalah PT Perkebunan Nusantara (Persero) mengandalkan Bureau Veritas, yakni perusahaan yang bergerak di bidang pengujian, inspeksi, dan sertifikasi (PT Perkebunan Nusantara (Persero), t.t.). Tentunya pelaporan dengan cara ini membutuhkan waktu dan biaya yang lebih banyak. Bangkit dari hal tersebut, penulis mencoba mengembangkan aplikasi tersebut menjadi lebih akurat, *user-friendly*, dan dapat menyajikan data yang lebih presisi dengan bantuan IoT sebagai alat penyedia data. Beberapa penelitian yang lain sudah menerapkan IoT sebagai alat untuk mengambil data. Seperti halnya pada penelitian yang dilakukan oleh Alshahrani dkk. (2023) yang telah menerapkan sensor FC-22 untuk mendeteksi kebocoran gas, seperti CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, hingga propana. Oleh karenanya, penelitian ini bermaksud untuk menyempurnakan sistem pelaporan yang telah tersedia dan mewujudkan sistem pelaporan yang lebih akurat dan *real-time*. Selain itu, dengan penelitian ini, diharapkan penghitungan emisi dapat dilakukan oleh perusahaan secara independen tanpa keterlibatan pihak lainnya.

## **I.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan permasalahan untuk penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana merancang sistem pengumpulan data emisi gas rumah kaca secara *real-time* dan otomatis di perusahaan tambang menggunakan teknologi IoT untuk menjawab sulitnya melakukan pelaporan rutin setiap saat dari industri tambang Indonesia saat ini?
- b. Bagaimana membangun sistem informasi terpadu berbasis web yang mampu menyajikan laporan emisi GRK secara akurat, *user-friendly*, dan sesuai dengan regulasi pemerintah?
- c. Bagaimana sistem ini dapat membantu perusahaan tambang dalam mengambil keputusan strategis terkait pengurangan emisi GRK, serta mengidentifikasi area operasional yang paling berkontribusi terhadap emisi Scope 1?

### **I.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Merancang sistem informasi pengumpulan data emisi Gas Rumah Kaca (GRK) pada Industri tambang berbasis IoT dan Machine Learning untuk menjawab sulitnya melakukan pelaporan rutin setiap saat dari industri tambang Indonesia saat ini.
- b. Mengembangkan sistem informasi terpadu berbasis web yang mampu menyajikan laporan emisi GRK secara otomatis, akurat, *real-time*, dan sesuai dengan standar serta regulasi yang berlaku
- c. Mengukur daya guna dan akurasi dari sistem yang dirancang untuk pelaporan emisi gas rumah kaca, guna memastikan bahwa sistem tersebut berfungsi sesuai kebutuhan dan dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu pemantauan oleh auditor internal industri maupun auditor dari instansi pemerintah..

### **I.4 Batasan Penelitian**

Batasan penelitian ini :

- a. Pengembangan Dashboard Sistem Informasi berbasis Web dengan konsep monolith untuk penyajian informasi terkait jumlah emisi, pelaporan emisi, hingga notifikasi terkait kesalahan sistem maupun status emisi

- b. Konektivitas dengan IoT untuk menunjang deteksi emisi dan dapat dengan langsung mengirimkan data ke dashboard
- c. Sumber emisi berada pada Scope 1 atau emisi yang langsung dikeluarkan oleh pihak terkait. Dalam hal ini dari cerobong pembuangan maupun sarana yang menghasilkan emisi.

## **I.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini:

- a. Bagi perusahaan, penelitian ini bermanfaat dalam meningkatkan efisiensi dan kemudahan deteksi emisi sehingga dapat mewujudkan lingkungan perusahaan yang minim Gas Rumah Kaca
- b. Bagi peneliti lain yang bergerak dalam kesehatan, teknologi, dan kecerdasan buatan, penelitian ini dapat menjadi acuan, masukan, dan inovasi deteksi emisi Gas Rumah Kaca ke depannya.
- c. Bagi pemangku kebijakan, penelitian ini bermanfaat untuk membantu mendapatkan pendataan yang lebih akurat serta menjadi tolak ukur bagi untuk penindakan terhadap perusahaan yang mengeluarkan emisi, khususnya pertambangan

## **I.6 Sistematika Laporan**

### **I.6.1 Bab 1: Pendahuluan**

Bab ini meletakkan dasar dan justifikasi penelitian. Bagian ini tidak hanya mendefinisikan Gas Rumah Kaca (GRK) secara umum, tetapi secara spesifik menyoroti tantangan emisi GRK di Indonesia, dengan fokus pada kontribusi signifikan dari sektor pertambangan. Bab ini mengidentifikasi masalah inti, yaitu ketergantungan pada sistem pelaporan manual seperti Sign SMART yang menyebabkan ketidakakuratan data dan inefisiensi biaya serta waktu. Dengan demikian, bab ini menetapkan urgensi pengembangan sebuah sistem informasi terpadu berbasis IoT untuk pelaporan emisi Scope 1 yang akurat, otomatis, dan *real-time*. Bab ini juga merumuskan tujuan, batasan, dan manfaat penelitian secara spesifik untuk menjawab permasalahan tersebut.

### **I.6.2 Bab 2: Tinjauan Pustaka**

Bab ini membangun landasan teoretis yang relevan dan esensial untuk penelitian. Uraian tidak bersifat umum, melainkan difokuskan pada konsep-konsep kunci yang diterapkan langsung dalam penelitian ini. Konsep tersebut mencakup Gas Rumah Kaca (GRK) dengan penekanan pada klasifikasi emisi Scope 1, 2, dan 3, serta metode perhitungannya. Selain itu, dibahas pula teknologi inti yang menjadi fondasi solusi, yaitu *Internet of Things (IoT)*, arsitektur sistem informasi, protokol komunikasi seperti MQTT, dan kerangka kerja pengembangan perangkat lunak *Iterative and Incremental*. Tinjauan pustaka ini memberikan kerangka acuan yang kuat untuk perancangan dan implementasi sistem pada bab-bab selanjutnya.

### **I.6.3 Bab 3: Metodologi Penelitian**

Bab ini menjelaskan "bagaimana" penelitian dilakukan secara sistematis. Kerangka pemecahan masalah yang diadopsi adalah *Design Science Research (DSR)*, yang dipilih karena fokusnya adalah menciptakan dan mengevaluasi artefak TI untuk memecahkan masalah praktis. Bab ini merinci tahapan penyelesaian masalah, mulai dari identifikasi, pengembangan sistem, hingga penutup. Metode pengembangan perangkat lunak yang dipilih adalah *Iterative and Incremental*, yang memungkinkan fleksibilitas tinggi dan pengembangan bertahap melalui tiga fase iterasi. Dijelaskan pula teknik pengumpulan data spesifik yang digunakan, yaitu data primer melalui wawancara dengan ahli dari BRIN dan Pertamina, serta data sekunder dari standar pemerintah dan IPCC.

### **I.6.4 Bab 4: Analisis dan Perancangan**

Pada bab ini, kebutuhan yang telah diidentifikasi diterjemahkan ke dalam sebuah rancangan sistem yang konkret. Analisis dimulai dengan membedah proses bisnis pelaporan emisi yang ada saat ini (*existing*) menggunakan BPMN untuk mengidentifikasi inefisiensi. Selanjutnya, dilakukan identifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional secara rinci, yang disesuaikan dengan peran pengguna seperti Manajer Unit Lingkungan dan Teknisi. Puncak dari bab ini adalah perancangan sistem secara mendetail menggunakan diagram UML, termasuk

*Use Case Diagram, Activity Diagram, Sequence Diagram, Entity Relationship Diagram (ERD), dan Class Diagram*, serta spesifikasi teknologi yang digunakan seperti Laravel, Python, dan MySQL.

### **I.6.5 Bab 5: Implementasi dan Pengujian**

Bab ini merupakan realisasi dari desain yang telah dirancang pada Bab IV. Proses implementasi disajikan sesuai dengan metode *Iterative and Incremental* yang dibagi ke dalam tiga fase utama.

- Fase Pertama berfokus pada fitur dasar seperti autentikasi pengguna, pengelolaan data perusahaan, dan dashboard pemantauan.
- Fase Kedua mengembangkan fungsionalitas inti, yaitu pendataan sensor IoT dan sumber emisi statis, pengelolaan faktor konversi, dan pengelolaan kategori sumber.
- Fase Ketiga menyempurnakan sistem dengan fitur pembuatan dan ekspor laporan otomatis ke format Excel.

Setiap fase diakhiri dengan pengujian *User Acceptance Test (UAT)* dan *System Usability Scale (SUS)* yang melibatkan konsultan ahli untuk memastikan fungsionalitas sistem berjalan sesuai harapan dan kebutuhan pengguna.

### **I.6.6 Bab 6: Kesimpulan dan Saran**

Bab penutup ini menyintesis seluruh hasil penelitian. Kesimpulan secara langsung menjawab rumusan masalah yang diajukan di Bab I, menegaskan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil meningkatkan efisiensi dan akurasi pelaporan emisi GRK di industri pertambangan. Bab ini juga memvalidasi bahwa sistem telah memenuhi kebutuhan pengguna berdasarkan hasil evaluasi ahli. Bagian saran tidak bersifat umum, melainkan memberikan rekomendasi konkret untuk pengembangan lebih lanjut, seperti integrasi faktor emisi lokal, pemodelan sebaran emisi, dan penambahan fitur notifikasi *real-time*, yang didasarkan pada temuan dan diskusi selama penelitian.