

Analisis Hasil Proses Integrasi *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) dengan Sistem Pemantauan Emisi Industri Kontinyu (SISPEK) Studi Kasus PT Donggi-Senoro LNG

Dwi Fitri Lestari^{1*}, Aris Triwiyatno², Widayat Widayat³

¹Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

²Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

³Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}Corresponding author: dfitril.df@gmail.com

(Received: July 6, 2025; Accepted: September 11, 2025)

Abstract

Analysis of the Results of the Integration Process of the Continuous Emission Monitoring System (CEMS) with the Continuous Industrial Emission Monitoring System (SISPEK) Case Study of PT Donggi-Senoro LNG. The integration of the Continuous Emission Monitoring System (CEMS) on Gas Turbine Compressors (GTCs) into the Continuous Emission Monitoring Information System (SISPEK) of the Ministry of Environment and Forestry (KLHK) is a crucial step for PT Donggi-Senoro LNG in ensuring accurate and continuous emission monitoring. This study aims to evaluate the CEMS integration process at the three GTCs installed at the facility, aiming to support compliance with Indonesian emission regulations. The results show that after integration, real-time emission monitoring through CEMS significantly improved in terms of data reliability and accuracy. Errors caused by manual input are minimized, while automatic data transmission to SISPEK ensures the company complies with government reporting requirements. Furthermore, the system is able to detect emissions anomalies or deviations more quickly, enabling a faster response to maintain operational quality. Overall, this CEMS integration not only contributes to increased operational efficiency but also supports environmental sustainability efforts and compliance with emission regulation standards set by the KLHK, further strengthening the company's commitment to environmental sustainability.

Keywords: CEMS, SISPEK, Gas Turbine Compressor, emissions, PT Donggi-Senoro LNG, environmental monitoring

Abstrak

*Integrasi Continuous Emission Monitoring System (CEMS) pada Gas Turbine Compressor (GTC) ke dalam Sistem Informasi Pemantauan Emisi Kontinu (SISPEK) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menjadi langkah penting bagi PT Donggi-Senoro LNG dalam memastikan pemantauan emisi yang akurat dan kontinyu. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi proses integrasi CEMS di 3 GTC yang terpasang di fasilitas tersebut, yang bertujuan mendukung kepatuhan terhadap regulasi emisi di Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah integrasi, pemantauan emisi *real-time* melalui CEMS mengalami peningkatan signifikan dalam hal keandalan dan akurasi data. Kesalahan yang disebabkan oleh input manual dapat diminimalkan, sementara pengiriman data otomatis ke SISPEK memastikan perusahaan mematuhi persyaratan pelaporan pemerintah. Selain itu, sistem ini mampu mendeteksi anomali atau penyimpangan emisi lebih cepat, memungkinkan respon yang lebih cepat untuk menjaga kualitas operasi.*

Secara keseluruhan, integrasi CEMS ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan efisiensi operasional, tetapi juga mendukung upaya keberlanjutan lingkungan dan pemenuhan standar regulasi emisi yang ditetapkan oleh KLHK, yang semakin memperkuat komitmen perusahaan terhadap kelestarian lingkungan.

Kata kunci: CEMS, SISPEK, Gas Turbine Compressor, emisi, PT Donggi-Senoro LNG, pemantauan lingkungan

How to Cite This Article: Lestari, D. F., Triwiyatno, A., & Widayat, W. (2025). Analisis Hasil Proses Integrasi Continuous Emission Monitoring System (CEMS) dengan Sistem Pemantauan Emisi Industri Kontinyu (SISPEK) Studi Kasus PT Donggi-Senoro LNG. *JPII*, 3(3), 149-160. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2025.26848>

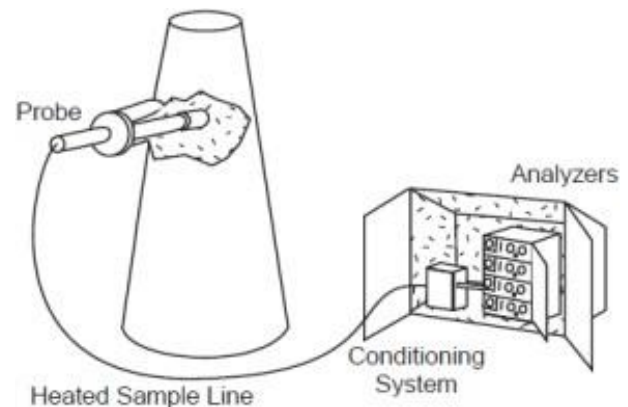
PENDAHULUAN

Pemanasan global telah menjadi masalah serius dalam dua dekade terakhir, didorong oleh polusi udara yang menyebabkan lebih dari 6,5 juta kematian global setiap tahun (WHO, 2023). Di Indonesia, polusi udara mengakibatkan penyakit paru-paru, stroke dan penyakit jantung, serta menurunkan harapan hidup rata-rata sebesar 1,2 tahun (Greenstone & Fan, 2019). Sumber utama emisi di Indonesia adalah sektor pembangkit listrik (45,49%), industri (24,64%) dan transportasi (22,50%) (IEA, 2022). Polutan berbahaya seperti SO₂, CO₂ dan NO_x, serta *particulate matter* dihasilkan oleh sektor-sektor ini, yang dapat membahayakan kesehatan.

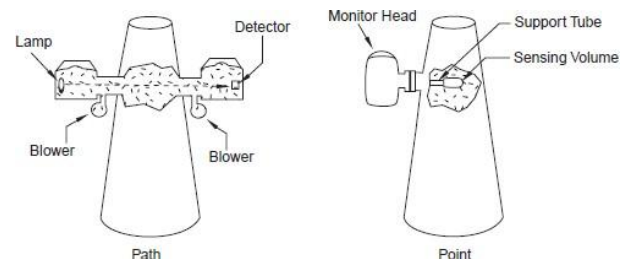
Pemantauan emisi secara *real-time* menggunakan *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) sangat penting dalam strategi pengendalian pencemaran (Srivastava et al., 2024). Penerapan CEMS di Indonesia pertama kali diatur dalam Keputusan Menteri No. 13 Tahun 1995, dan sejak COP 21 pada 2015, regulasi semakin ketat dengan mewajibkan integrasi CEMS ke dalam Sistem Informasi Pemantauan Emisi Industri Kontinu (SISPEK) (Permenlhk No. 15 Tahun 2019).

CEMS adalah teknologi pemantauan emisi *real-time* yang diadopsi oleh Amerika Serikat pada 1970-an melalui *Clean Air Act* (CAA). Kemudian diikuti oleh Uni Eropa, Jepang, Kanada dan Australia pada 1980-an hingga 1990-an untuk sektor pembangkit listrik dan industri berat, seperti semen dan baja (Srivastava et al., 2024). Di Indonesia, CEMS diterapkan sesuai standar internasional seperti USEPA dengan prosedur *Quality Assurance Level 2* seperti *Response Correlation Audit* (RCA) dan *Cylinder Gas Test* (CGA) untuk memastikan keakuratan pemantauan (USEPA, 2000).

Terdapat dua jenis utama CEMS, yakni *Extractive* CEMS yang mengambil sampel gas dari aliran emisi dan *in-situ* CEMS yang mengukur polutan langsung di aliran gas tanpa mengambil sampel (USEPA, 2000).



Gambar 1. Contoh *Extractive* CEMS (USEPA, 2000)



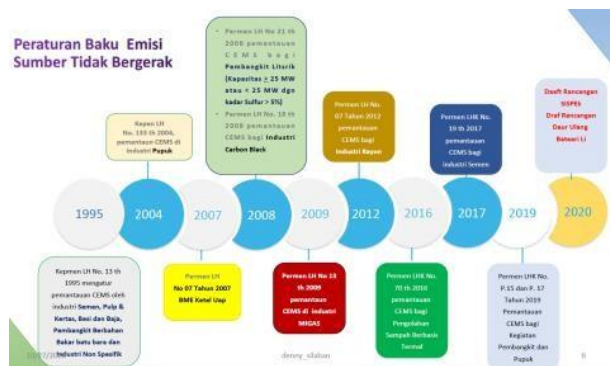
Gambar 2. Contoh *In-situ* CEMS (USEPA, 2000)

Di negara maju, CEMS menjadi bagian penting dari kebijakan lingkungan. Di AS, USEPA melalui *Clean Air Act* (CAA) mewajibkan industri seperti semen, kimia, besi & baja, serta minyak & gas untuk melaporkan data emisi secara berkala melalui *National Emission Inventory* (NEI) (USEPA, 2020).

Di Uni Eropa, *European Environment Agency* (EEA) mengelola *Industrial Emissions Portal* (IEP), yang memantau lebih dari 50.000 instalasi industri, dengan industri seperti pembangkit listrik dan manufaktur kimia wajib melaporkan data emisi sesuai standar *European Industrial Emissions Directive* (EID).

Di Asia, Thailand menggunakan *Pollution Online Monitoring System* untuk pemantauan emisi *real-time*. China memiliki *China Emissions Accounts for Power Plants* dan *China Industrial Emissions Database*, sementara India mengandalkan *CPCB Real-Time Data Monitoring System* (RTDMS) untuk memantau emisi industri besar.

Di Indonesia, CEMS pertama kali diwajibkan melalui Keputusan Menteri No. 13 Tahun 1995 untuk industri dengan emisi tinggi. Peraturan ini terus diperbarui dan kini mencakup sepuluh sektor industri, termasuk minyak & gas.



Gambar 3. Pemberlakuan CEMS di Indonesia (Silaban, 2020)

Di sektor minyak dan gas bumi, kewajiban pemasangan CEMS diatur oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 13 Tahun 2009. Regulasi ini mewajibkan pemantauan emisi melalui CEMS atau secara manual untuk instalasi dengan kapasitas di atas 25 MW (Pasal 9). Fasilitas baru dengan pembakaran bahan bakar fosil di atas 25 MW harus memasang CEMS pada cerobong sumber emisi utama yang beroperasi secara kontinu (Pasal 10).

Untuk memastikan validitas data, Pasal 11 menetapkan bahwa CEMS harus beroperasi sesuai spesifikasi, termasuk pemeliharaan rutin, kalibrasi yang tidak melebihi batas tertentu, serta memenuhi kriteria *quality assurance*. Data CEMS dianggap valid jika 75% dari pembacaan satu menit dan satu jam adalah sah, serta memenuhi baku mutu jika 95% hasil pengukuran rata-rata harian dalam 3 bulan sesuai standar.

Regulasi mewajibkan setiap penanggung jawab usaha melaporkan hasil pemantauan CEMS secara berkala. Sesuai Pasal 13, laporan harus mencakup inventarisasi emisi, hasil pemantauan harian, serta kondisi tidak normal selama operasional. Laporan ini wajib disusun sesuai format yang ditetapkan dalam Lampiran V.b, yang mencakup:

- 1) Hasil pemantauan rata-rata harian,
- 2) Lama waktu dan kadar parameter yang melebihi baku mutu,
- 3) Penyebab terjadinya hasil pengukuran yang melebihi baku mutu,
- 4) Lama waktu CEMS tidak beroperasi, serta
- 5) Ringkasan kondisi tidak normal sebagaimana diatur dalam Pasal 10 ayat (2) huruf g.

Perusahaan diwajibkan melaporkan hasil pemantauan CEMS secara berkala kepada Menteri dengan tembusan kepada Gubernur, Bupati/Walikota,

dan instansi terkait di bidang minyak dan gas. Laporan pemantauan harus diserahkan minimal setiap 3 bulan sekali, sebagaimana diatur dalam Pasal 13 ayat (2) huruf b.

Untuk memastikan kepatuhan industri minyak dan gas terhadap standar lingkungan, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 13 Tahun 2009 mengatur Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak. Regulasi ini mengontrol emisi dari aktivitas pembakaran bahan bakar fosil, termasuk turbin gas, dengan parameter utama seperti Total Partikulat, Sulfur Dioksida (SO_2) dan Nitrogen Oksida (NO_x).

Salah satu sumber emisi yang diatur secara khusus adalah proses pembakaran pada *Gas Turbine Compressor*, seperti yang digunakan di PT Donggi Senoro LNG. Berdasarkan Lampiran I nomor 1.b, Baku Mutu Emisi Proses Pembakaran dari Turbin Gas telah ditetapkan sebagai berikut.

Tabel 1. Baku mutu turbin gas

No	Bahan Bakar	Parameter	Kadar Maks (mg/Nm ³)	Metode
1.	Minyak	Total Partikulat	100	SNI 19-7117.12-2005
		Sulfur Dioksida (SO_2)	650	SNI 19-7117.3.1-2005 atau Method 6, 6C USEPA
		Nitrogen Oksida (NO_x)	450	SNI 19-7117.5-2005 atau Method 7, 7E USEPA
		Opasitas	20%	SNI 19-7117.11-2005
2.	Gas	Total Partikulat	50	SNI 19-7117.12-2005
		Sulfur Dioksida (SO_2)	150	SNI 19-7117.3.1-2005 atau Method 6, 6C USEPA
		Nitrogen Oksida (NO_x)	320	SNI 19-7117.5-2005 atau Method 7, 7E USEPA

Sumber: Permen LH Nomor 13 Tahun 2009

Keterangan:

Volume gas diukur dalam keadaan standar (25°C dan tekanan 1 atmosfer), dengan koreksi O_2 sebesar 15% dalam keadaan kering.

Dalam rangka meningkatkan transparansi dan akurasi pemantauan emisi seperti halnya negara di Amerika, Eropa dan Asia, pemerintah Indonesia telah mewajibkan integrasi CEMS dengan Sistem Informasi Pemantauan Emisi Industri Kontinyu (SISPEK) melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2021 tentang Sistem Informasi Pemantauan Emisi Industri Secara Terus Menerus.

Emisi dari cerobong diukur menggunakan CEMS, dan data hasil pengukuran akan diakuisisi oleh *Data*

Acquisition System (DAS) setiap 5 menit. Data tersebut kemudian dikirim ke *Data Interfacing System* (DIS), sebuah sistem yang memproses pengiriman data dari server perusahaan ke server SISPEK. DIS akan meminta file autentifikasi dari server SISPEK, yang berisi kode-kode yang diperlukan untuk mengirimkan data setiap satu jam. Jika data berhasil terkirim, DIS akan menerima respon konfirmasi. Setelah data diterima, aplikasi SISPEK mengolahnya dan menampilkannya dalam bentuk tabel baku mutu, grafik tren emisi *real-time*, serta evaluasi pelaporan. Selain itu, informasi terkait lokasi, profil dan status integrasi industri dapat diakses melalui situs web <http://ditppu.menlhk.go.id/sispek/display>.



Gambar 4. Skema integrasi SISPEK (KLHK, 2020)

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 13 Tahun 2021, infrastruktur SISPEK meliputi beberapa komponen utama sebagai berikut:

1. **Aplikasi SISPEK**, yang berbasis web untuk mengolah dan menampilkan data dari CEMS. Aplikasi ini menampilkan *app_id* dan *app_secret* yang digunakan untuk mengirim data ke server SISPEK.
2. **Server SISPEK**, berfungsi untuk menerima dan menyimpan data CEMS, serta mengirimkan kode autentikasi ke aplikasi DIS perusahaan untuk pengiriman data.
3. **Sinkronisasi SIMPEL**, di mana data dari SISPEK secara otomatis masuk ke laporan SIMPEL PPU perusahaan/industri.

Proses integrasi SISPEK dengan CEMS melibatkan beberapa langkah utama yang harus dilakukan oleh perusahaan atau industri yang diwajibkan memasang CEMS, hal ini sesuai Pasal 2 Ayat (2)

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 13 Tahun 2021, yaitu:

- 1) Registrasi;
- 2) Pengisian data administrasi;
- 3) Pengisian data teknis;
- 4) Verifikasi; dan
- 5) Uji konektivitas.



Gambar 5. Tata cara dan mekanisme integrasi SISPEK (KLHK, 2021)

Setelah berhasil terkoneksi, perusahaan harus memastikan bahwa data yang dikirimkan melalui *Data Interfacing System* (DIS) ke SISPEK harus memenuhi beberapa kriteria, sesuai peraturan yaitu:

- 1) Pengiriman dilakukan secara waktu nyata (*real-time*)
- 2) Waktu pengiriman 1 (satu) kali setiap 1 (satu) jam untuk data hasil pengukuran 1 (satu) jam sebelumnya
- 3) Pengiriman data paling lama dilakukan pada hari berikutnya dan setiap kirim data merupakan hasil pengukuran 1 (satu) jam
- 4) Interval data paling tinggi rata-rata 5 (lima) menit, dan
- 5) Status data yang dikirim adalah data valid dan telah dilakukan pengendalian mutu dan jaminan mutu.

Selain itu, dalam peraturan juga disebutkan spesifikasi minimum perangkat keras yang harus dipenuhi, yaitu:

- 1) Perangkat Server (memiliki kapasitas penyimpanan data selama minimal dua tahun):
 - a) Memiliki alamat IP (*internet protocol*) *public*;
 - b) Processor 3.0 GHz atau sesuai dengan kebutuhan;
 - c) Memori 8GB atau sesuai dengan kebutuhan;
 - d) HDD 500GB atau sesuai dengan kebutuhan.
- 2) Jaringan internet yang andal dan stabil
Jaringan internet yang digunakan memenuhi pengiriman data secara langsung dan terus menerus ke server SISPEK.

3) PC (komputer/laptop)
Berdasarkan Permen LHK No. 13 Tahun 2021 tentang Sistem Informasi Pemantauan Emisi Secara Terus Menerus, Prinsip Operasional CEMS sebagai berikut:

- 1) Sumber Emisi tidak beroperasi dan/atau dalam kondisi tidak normal seperti gangguan sumber energi listrik dari pihak lain, kondisi pada saat mematikan, menghidupkan, percobaan dan/atau gangguan pada alat pengendali pencemar udara sehingga tidak ada data, DIS tetap mengirimkan data dengan nilai 1 (satu).
- 2) Peralatan CEMS dilakukan kalibrasi dan diaudit dengan menggunakan metode CGA, RCA, RATA, maka DIS tetap mengirimkan data dengan nilai (satu), dan
- 3) CEMS rusak sehingga tidak ada data, DIS tetap mengirimkan data dengan nilai 0 (nol).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil proses integrasi CEMS di PT Donggi-Senoro LNG sebagai langkah penting untuk memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan. Implementasi sistem pemantauan *real-time* CEMS ini diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pemantauan emisi melalui integrasinya dengan SISPEK Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Melakukan analisis hasil dari proses integrasi CEMS di PT Donggi-Senoro LNG dengan SISPEK.
- 2) Mengidentifikasi tantangan teknis dan operasional yang muncul selama proses integrasi.
- 3) Mengevaluasi manfaat integrasi CEMS terhadap transparansi pelaporan, kepatuhan lingkungan dan efisiensi operasional dalam pengelolaan emisi.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang pentingnya integrasi CEMS dan rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi pemantauan emisi di sektor minyak dan gas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif, serta melibatkan beberapa metode pengumpulan data untuk mendapatkan informasi yang relevan dengan proses integrasi CEMS di PT Donggi-Senoro LNG. Berikut adalah metode yang digunakan:

1) Studi Kepustakaan

Studi literatur dilakukan untuk memahami landasan teoretis terkait teknologi CEMS, regulasi lingkungan di Indonesia, serta standar internasional yang relevan untuk pemantauan emisi. Sumber data mencakup jurnal ilmiah, buku dan peraturan yang mengatur implementasi CEMS dan integrasinya dengan SISPEK. Data ini

digunakan dalam pendekatan deskriptif untuk menggambarkan standar yang harus dipenuhi.

2) Wawancara

Teknik wawancara diterapkan untuk mendapatkan informasi langsung dari pihak-pihak yang berperan dalam operasionalisasi CEMS di PT Donggi-Senoro LNG, termasuk Tim *Maintenance* dan Tim *Environment*. Pertanyaan yang diajukan berfokus pada deskripsi proses integrasi, tantangan yang dihadapi dan manfaat yang diperoleh dari implementasi CEMS dengan SISPEK. Wawancara ini berfungsi untuk mengumpulkan data kualitatif yang kemudian dianalisis secara deskriptif.

3) Pengambilan Sampel Emisi Manual

Proses pemantauan emisi dilakukan oleh PT TUV Nord Indonesia sebagai laboratorium eksternal yang terakreditasi dan terdaftar di KLHK. Pengambilan sampel manual ini menggunakan beberapa alat, antara lain:

- a) Isokinetik *Sampler*
- b) *Sampling Probe*
- c) *Filter Holder*
- d) *Impingers*
- e) *Gas Flow Meter*
- f) *Pitot Tube*
- g) *Thermocouples*
- h) *Gas Sampling Bags*

Metode pengukuran untuk masing-masing Parameter:

- a) Total Partikulat
 - i. Standar: SNI 19-7117.12-2005
 - ii. Metode: Isokinetik sampling sesuai standar nasional.
- b) Sulfur Dioksida (SO₂)
 - i. Standar: SNI 19-7117.3.1-2005 atau USEPA Method 6/6C
 - ii. Metode: Pengambilan sampel dengan *impingers*.
- c) Nitrogen Oksida (NO_x)
 - i. Standar: SNI 19-7117.5-2005 atau USEPA Method 7/7E
 - ii. Metode: Pengambilan sampel dengan *gas sampling bags*.
- d) Koreksi Oksigen

Semua pengukuran dilakukan dengan koreksi oksigen pada 15% dalam keadaan kering, sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Pengambilan sampel emisi manual ini bertujuan untuk menyediakan data pembandingan bagi hasil pemantauan CEMS yang telah terintegrasi ke SISPEK. Data emisi manual berfungsi sebagai acuan komparatif untuk mengevaluasi akurasi dan konsistensi data CEMS pasca-integrasi, memastikan bahwa sistem yang

terintegrasi dapat memberikan hasil pemantauan yang andal dan sesuai standar.

4) Dokumentasi

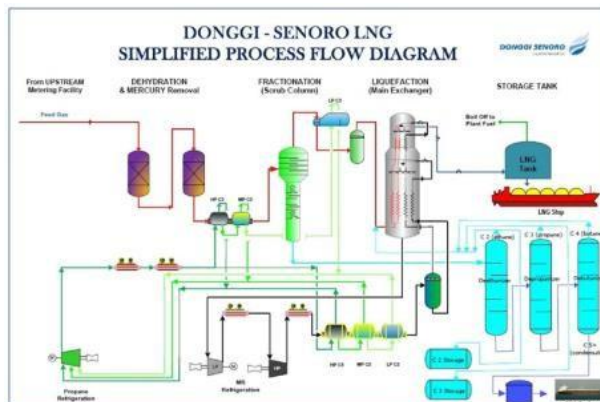
Dokumentasi berupa laporan teknis, foto instalasi CEMS dan hasil pemantauan digunakan untuk memverifikasi hasil wawancara dan observasi lapangan. Data dari dokumentasi ini mendukung pendekatan deskriptif dan memberikan bukti visual serta dokumentasi tertulis terkait keberhasilan implementasi CEMS.

5) Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan keberhasilan dan kendala yang muncul dalam integrasi CEMS. Pendekatan komparatif kuantitatif digunakan untuk mengevaluasi efektivitas pemantauan emisi dengan membandingkan data emisi sebelum dan sesudah integrasi dengan SISPEK. Misalnya, data mengenai waktu pelaporan dan tingkat kesalahan diukur secara kuantitatif untuk melihat dampak integrasi terhadap efisiensi pelaporan dan akurasi data emisi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses di kilang LNG dimulai dari purifikasi (pembersihan gas alam dari air, karbon dioksida, sulfur dan merkuri) untuk menghindari korosi. Setelah itu, gas alami melewati dehidrasi dan penghilangan merkuri. Tahap berikutnya adalah fraksinasi, di mana hidrokarbon berat dipisahkan melalui kolom *scrub*. Kemudian gas masuk ke proses pencairan (*liquefaction*) dengan mendinginkan gas menggunakan teknologi penukar panas utama hingga suhu sangat rendah (-160°C). Setelah menjadi cairan, LNG disimpan dalam tangki penyimpanan sebelum dikirim ke pembeli (*buyer*) melalui kapal pengangkut LNG (Lihat Gambar 6, DSLNG, 2016).



Gambar 6. Proses diagram kilang LNG (DSLNG, 2016)

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2009, PT Donggi-Senoro LNG memiliki kewajiban untuk mengelola dan memantau emisi dari berbagai sumber utama seperti *Gas Turbine Generator*, *Gas Turbine Compressor*, serta *Flare (Dry, Wet, Tankage)*, termasuk kegiatan penunjang seperti *Insinerator Sampah Domestik*. Sesuai dengan peraturan tersebut, perusahaan diwajibkan untuk melakukan pemantauan emisi secara manual melalui pihak ketiga dan otomatis menggunakan CEMS.

Mengacu pada Pasal 10 Ayat (1) huruf b poin 1 dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 13 Tahun 2009, PT Donggi-Senoro LNG diwajibkan memasang CEMS pada fasilitas yang menggunakan bahan bakar fosil dengan kapasitas lebih dari 25 MW. Dalam hal ini, sumber emisi yang dimaksud adalah GTC (*Gas Turbine Compressor*), C3 (*Propane*), LPMR (*Low Pressure Mixed Refrigerant*) dan HPMR (*High Pressure Mixed Refrigerant*). Selain itu, sesuai dengan Permen LHK Nomor 13 Tahun 2021, CEMS harus terhubung dengan SISPEK sebelum 1 Januari 2023 untuk memastikan pemantauan *real-time* atas parameter emisi seperti SO_2 , NO_x dan Total Partikulat. Sistem ini tidak hanya melakukan pemantauan emisi selama 24 jam setiap hari, tetapi juga memastikan bahwa data yang dikumpulkan dapat ditampilkan secara berkala, baik per jam maupun harian, memungkinkan analisis emisi secara terus-menerus.

Sebelum integrasi CEMS dilakukan, PT Donggi-Senoro LNG melaksanakan kalibrasi peralatan yang dilakukan oleh laboratorium terakreditasi. Kalibrasi ini merupakan syarat wajib untuk mengintegrasikan data CEMS ke dalam SISPEK (Sistem Informasi Pemantauan Emisi Industri Kontinu) dan menjadi bagian dari proses jaminan serta pengendalian mutu CEMS di Indonesia. Tujuan dari kalibrasi ini adalah untuk memastikan bahwa sistem CEMS mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat dan sesuai standar.

Menurut Permen LHK Nomor 13 Tahun 2021, CGA adalah metode pengujian yang digunakan untuk memastikan bahwa alat pemantauan gas memiliki respons yang tepat terhadap kalibrasi gas standar. Sementara itu, RCA adalah metode yang digunakan untuk membandingkan hasil pengukuran CEMS dengan standar referensi untuk mengevaluasi akurasi sistem secara keseluruhan. Kedua metode ini adalah bagian dari persyaratan jaminan mutu yang harus dipenuhi sebelum integrasi CEMS ke dalam SISPEK.

Untuk *Cylinder Gas Audit* (CGA), metode referensi yang digunakan harus sesuai dengan US EPA 40 CFR 60, EN 14181 dan EN 15267-2. Sementara itu, untuk *Response Correlation Audit* (RCA), metode referensi yang digunakan adalah US EPA 40 CFR 75 dan/atau CFR 60 PS-11. Proses pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan USEPA Method 1 hingga 5 atau

SNI 7117-13 hingga 17:2009. Metode ini memastikan bahwa semua pengujian dilakukan sesuai dengan standar internasional yang diakui.

Kegiatan kalibrasi CEMS di PT Donggi-Senoro LNG dilakukan secara eksternal oleh PT Envirotama Solusindo dan PT Medialab Indonesia, yang berlisensi KAN (Komite Akreditasi Nasional) dan telah teregistrasi sebagai Laboratorium Lingkungan oleh KLHK. Parameter yang diuji mencakup SO_2 , NO, Partikulat (PM) dan parameter tambahan seperti CO_2 dan O_2 . Hasil dari kalibrasi ini diberikan dalam bentuk sertifikat *Cylinder Gas Audit* (CGA) dan *Response Correlation Audit* (RCA) kepada pihak PT Donggi-Senoro LNG.



Gambar 7. Laporan audit CGA & RCA PT Donggi-Senoro LNG (DSLNG, 2022)

PT Donggi-Senoro LNG telah berhasil mengintegrasikan sistem CEMS ke dalam Sistem Informasi Pemantauan Emisi KLHK (SISPEK). Berikut adalah tahapan-tahapan dalam proses integrasi CEMS PT Donggi-Senoro LNG ke dalam Sistem Informasi Pemantauan Emisi KLHK:

Registrasi: Pada tahap ini, perusahaan diminta untuk mengisi formulir registrasi dan mengunggah surat permohonan secara daring melalui portal web Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara (<https://ditppu.menlhk.go.id>). Surat tersebut ditujukan kepada Direktur Jenderal dan berisi informasi seperti kode cerobong, sumber emisi, merek CEMS, jenis CEMS, serta parameter yang dipantau. PT Donggi-Senoro LNG mengajukan registrasi pada 21 Agustus 2021 sesuai dengan format yang diatur dalam Lampiran I PermenLHK No. 13 Tahun 2021.

Validasi Registrasi: Setelah pengajuan permohonan, surat tersebut akan divalidasi secara daring oleh Direktorat Jenderal. Jika data dinyatakan valid, perusahaan akan diberikan nomor registrasi. Namun, jika terdapat ketidaklengkapan atau ketidaksesuaian data, sistem akan mengirimkan notifikasi ke email terdaftar terkait kekurangan tersebut.

Pengisian Data Administrasi: Setelah memperoleh nomor registrasi, perusahaan diharuskan melengkapi data administratif melalui menu SIMPEL

PPU, mencakup profil perusahaan, titik penataan cerobong dan sumber emisi. Validasi data ini dilakukan dalam waktu maksimal 14 hari kerja setelah pengajuan. Jika dianggap sesuai, perusahaan akan mendapatkan akses untuk mengisi data teknis.

Pengisian Data Teknis: Setelah validasi administratif selesai, perusahaan harus mengisi data teknis CEMS melalui SIMPEL PPU. Data yang diminta meliputi profil CEMS, spesifikasi, metode pengukuran, parameter pemantauan, sistem komunikasi data, kalibrasi dan dokumen pengendalian mutu. Setelah data teknis ini diverifikasi oleh Direktorat Jenderal, perusahaan akan menerima jadwal verifikasi lapangan apabila semua persyaratan terpenuhi.

Verifikasi Lapangan: Setelah data administratif dan teknis dinyatakan lengkap, Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara akan melakukan verifikasi lapangan untuk memastikan kepatuhan teknis. Verifikasi bertujuan mengecek kelengkapan dan akurasi data, dan dapat dilakukan secara langsung atau daring. Jika perusahaan telah memenuhi semua syarat, jadwal uji konektivitas beserta kode autentikasi akan diberikan. Apabila ditemukan kekurangan, perusahaan akan diberi notifikasi untuk perbaikan. PT Donggi-Senoro LNG menyelesaikan verifikasi lapangan secara daring pada Rabu, 12 Oktober 2023, pukul 14:00 WITA melalui Zoom karena situasi Pasca-Pandemi COVID-19, sehingga kegiatan tatap muka hanya bisa dilakukan dengan protokol yang ketat. Berikut adalah ringkasan dari berita acara verifikasi lapangan yang dilakukan bersama Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara KLHK, yang meninjau kelengkapan data terkait:

- 1) Profil Perusahaan
- 2) Identifikasi CEMS – Cerobong CEMS PT Donggi-Senoro LNG telah memenuhi persyaratan sesuai regulasi.
- 3) Kalibrasi CEMS – Proses kalibrasi CEMS telah memenuhi ketentuan teknis.
- 4) Lokasi Pemasangan CEMS – Lokasi pemasangan CEMS di fasilitas telah sesuai dengan standar.
- 5) Audit CEMS (CGA & RCA) – Audit menunjukkan sistem CEMS memenuhi standar yang diperlukan.
- 6) *Data Interfacing System* (DIS) – Sistem DIS berfungsi dengan baik dan memenuhi persyaratan.
- 7) Skema Infrastruktur CEMS – Infrastruktur CEMS sesuai dengan skema yang ditetapkan.
- 8) Ruang CEMS (*Shelter*) – Ruang CEMS memenuhi persyaratan keselamatan dan teknis.
- 9) Penyimpanan Data dan Jaringan Internet – Sistem penyimpanan dan jaringan internet telah memenuhi persyaratan operasional.
- 10) Komputer PC dan Printer – Peralatan mendukung operasi CEMS sesuai kebutuhan.

Hasil verifikasi lapangan yang telah dilakukan oleh PT Donggi-Senoro LNG menunjukkan bahwa seluruh kelengkapan dan keakuratan data telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara KLHK. Berita acara dan tangkapan layar dari kegiatan verifikasi lapangan yang dilakukan secara daring oleh PT Donggi-Senoro LNG melalui Zoom (terlampir).

Uji Konektivitas: Setelah seluruh persyaratan teknis terpenuhi, perusahaan akan menjalani tahap uji konektivitas yang dilakukan oleh Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara. Uji konektivitas ini bertujuan untuk memvalidasi pengiriman data dari *Data Interfacing System* (DIS) perusahaan ke server SISPEK. Proses uji konektivitas meliputi: (1) pengujian transfer data CEMS dari DIS ke server SISPEK, dan (2) penggunaan format *Java Script Object Notation* (JSON) serta *Application Programming Interface* (API) untuk komunikasi data. Jika uji konektivitas berhasil, perusahaan akan mendapatkan keterangan lulus uji

konektivitas. PT Donggi-Senoro LNG melaksanakan uji konektivitas ini secara daring pada Kamis, 13 Oktober 2023, melalui Zoom pada pukul 11.00 WITA. Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara KLHK menyatakan uji tersebut berhasil, dan PT Donggi-Senoro LNG memperoleh keterangan lulus uji konektivitas. Berita acara uji konektivitas ini dapat dilihat dalam lampiran.

Surat Persetujuan: Setelah lulus uji konektivitas, perusahaan akan mendapatkan surat persetujuan yang menyatakan bahwa sistem CEMS telah terintegrasi dengan SISPEK. Surat ini berlaku selama 3 tahun dan bisa diperpanjang. Pengajuan perpanjangan harus dilakukan paling lambat 60 hari sebelum masa berlaku surat berakhir. PT Donggi-Senoro LNG menerima surat persetujuan integrasi CEMS dengan SISPEK dari Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara KLHK pada 14 Oktober 2022.

Berikut adalah ringkasan realisasi *timeline* proses integrasi CEMS ke SISPEK PT Donggi-Senoro LNG.



Gambar 8. Realisasi *timeline* proses integrasi CEMS ke SISPEK PT Donggi-Senoro LNG

Tabel 2. Perbandingan hasil uji emisi manual dan CEMS sebelum dan setelah integrasi SISPEK

Sumber Emisi	Parameter	Sebelum Integrasi (9–11 Mei 2022)		Setelah Integrasi (10–12 Oktober 2022)		Baku Mutu mg/Nm ³
		CEMS Manual		CEMS Manual		
GTC C3	SO ₂	0,02	<5	0,04	<5	150
	NO ₂	114,13	73	122,50	115	320
	Total Partikulat	0,07	<5	0,21	<5	50
GTC LPMR	SO ₂	0,03	<5	0,32	<5	150
	NO ₂	99,72	61	101,42	113	320
	Total Partikulat	1,62	<5	2,08	<5	50
GTC HPMR	SO ₂	0,24	<5	0,28	<5	150
	NO ₂	107,66	61	109,36	101	320
	Total Partikulat	0,38	<5	0,38	<5	50

Sumber: Sertifikat Hasil Uji PT DSLNG Semester I & Semester II 2022 (terkoreksi oksigen 15%), Historian Data CEMS PT DSLNG Bulan Mei & Oktober 2022

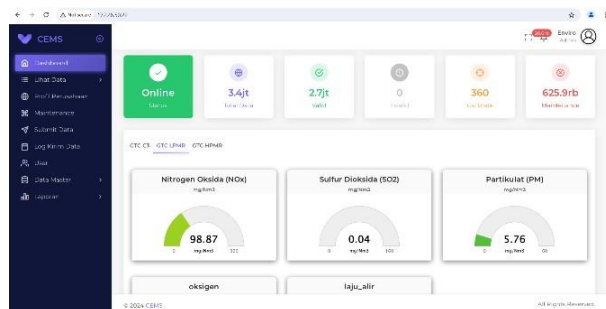
Berdasarkan Tabel 2, perbandingan hasil uji emisi CEMS dan data manual sebelum dan setelah integrasi SISPEK. Pemantauan emisi sebagaimana Tabel 2, dilaksanakan oleh PT TUV Nord Indonesia. PT TUV Nord Indonesia, yang telah memperoleh akreditasi dari KAN (Komite Akreditasi Nasional) serta terdaftar sebagai Laboratorium Lingkungan di KLHK, bertindak sebagai pihak ketiga dalam pelaksanaan pemantauan emisi eksternal yang dilakukan secara berkala setiap 6 bulan. Hasil dari pemantauan ini disajikan dalam bentuk Sertifikat Hasil Uji (SHU), yang diserahkan kepada PT Donggi-Senoro LNG. Sertifikat ini mencakup informasi tentang parameter yang diukur, satuan yang digunakan, hasil pengukuran, standar baku mutu yang berlaku, serta

metode yang dipakai dalam proses pengujian. Dari komparasi hasil pemantauan emisi dan CEMS, sebelum dan setelah integrasi menunjukkan beberapa hal penting:

- 1) **Konsistensi Data:** Hasil pengukuran dari CEMS dan metode manual secara umum berada di bawah baku mutu, menunjukkan bahwa kedua metode ini memberikan hasil yang akurat dan sesuai standar.
- 2) **Perbedaan Minor:** Terdapat sedikit perbedaan pada parameter NO₂, misalnya di GTC C3 setelah integrasi, di mana CEMS mencatat 122,50 mg/Nm³ dan manual 115 mg/Nm³. Meskipun berbeda, keduanya masih di bawah batas baku mutu 320 mg/Nm³.

- 3) **Hasil Lebih Rendah pada CEMS:** CEMS cenderung mencatat hasil yang sedikit lebih rendah, seperti pada Total Partikulat GTC HPMR ($0,38 \text{ mg/Nm}^3$ untuk CEMS vs. $<5 \text{ mg/Nm}^3$ manual), yang menunjukkan sensitivitas yang baik.

Secara keseluruhan, integrasi CEMS dengan SISPEK mampu memberikan pemantauan *real-time* yang konsisten dengan metode manual, mendukung pemenuhan standar emisi.



Gambar 9. Dashboard Data Interfacing System SISPEK (DSLNG, 2022)



Gambar 10. Tren data Data Interfacing System SISPEK (DSLNG, 2022)



Gambar 11. Data historian CEMS internal (DSLNG, 2022)

Pada tampilan di atas, perbedaan visual antara sistem *historian* dan tampilan pada DIS SISPEK sangat terlihat. Tampilan *historian* cenderung lebih sulit dibaca dan membutuhkan interpretasi yang lebih kompleks, terutama karena detail grafik yang penuh dengan data variabel dalam satu waktu, serta tanpa keterangan jelas per parameter.

Sebaliknya, tampilan DIS SISPEK lebih intuitif dan *user-friendly*, di mana grafik disertai dengan kode warna dan parameter yang sudah ditandai dengan jelas. Informasi status, nilai rata-rata harian, serta baku mutu juga lebih mudah diakses, memungkinkan pengguna untuk lebih cepat memahami data tanpa kesulitan interpretasi. Hal ini menunjukkan bahwa DIS SISPEK memiliki keunggulan dalam penyajian data yang lebih rapi dan efisien, memudahkan analisis dan pelaporan emisi secara *real-time*.

Pada proses integrasi CEMS di PT Donggi-Senoro LNG, data hasil pemantauan emisi diambil melalui aplikasi SIMPEL sebelum dan sesudah sistem terhubung dengan SISPEK. Gambar 12 menunjukkan data pemantauan yang diambil saat CEMS belum terkoneksi dengan SISPEK; pada tampilan ini, status kolom integrasi mencantumkan label 'Non SISPEK'. Ini menunjukkan bahwa data masih harus dipantau dan dilaporkan secara manual, tanpa terintegrasi secara otomatis ke sistem pengendalian KLHK.

Gambar 12. Data CEMS pada SIMPEL sebelum terkoneksi SISPEK (DSLNG, 2022)

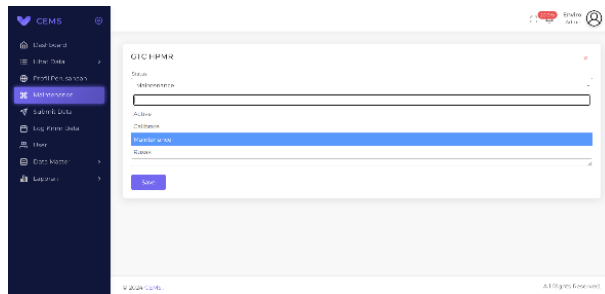
Gambar 13. Data CEMS pada SIMPEL setelah terkoneksi SISPEK (DSLNG, 2022)



Gambar 14. Tampilan pengguna pada aplikasi SISPEK (DSLNG, 2022)

Setelah integrasi selesai, Gambar 13 menampilkan perubahan pada status integrasi dalam kolom yang sama, di mana status telah berubah menjadi 'SISPEK'. Pada tampilan ini, sistem SISPEK sudah mampu memonitor data emisi selama 24 jam secara otomatis dan terintegrasi dengan SIMPEL, yang menunjukkan data emisi yang terkirim langsung tanpa intervensi manual. Perubahan status ini menandai bahwa PT Donggi-Senoro LNG telah berhasil mengintegrasikan CEMS sesuai dengan regulasi KLHK, memungkinkan pelaporan otomatis dan lebih efisien.

Pada proses integrasi CEMS dengan SISPEK, terdapat fitur *maintenance override* yang memungkinkan pengguna untuk mengatur status pemantauan emisi pada mode "Maintenance" jika terdapat kegiatan perawatan atau kondisi tidak normal pada sistem CEMS. Fitur ini sangat penting karena membantu mencegah pengiriman data yang tidak valid atau mencurigakan selama fase pemeliharaan, yang dapat mempengaruhi laporan emisi secara keseluruhan. Dengan mengaktifkan status "Maintenance," sistem akan mengirimkan data dengan nilai tertentu yang menandakan bahwa peralatan sedang dalam kondisi pemeliharaan, sehingga tidak mempengaruhi catatan historis data emisi yang direkam.



Gambar 15. Tampilan *Maintenance Override* pada DIS SISPEK (DSLNG, 2022)

Fitur ini memberikan fleksibilitas dan memastikan bahwa data emisi yang disampaikan tetap akurat dan sesuai dengan kondisi operasional yang sebenarnya, meskipun ada gangguan yang memerlukan

pemeliharaan. Hal ini juga memudahkan dalam pelaporan ke KLHK, karena data yang dikirimkan dapat diatur sesuai status aktual peralatan tanpa mempengaruhi kepatuhan terhadap baku mutu emisi.

Proses kalibrasi dan validasi CEMS di PT Donggi-Senoro LNG dilakukan secara internal dan eksternal guna memastikan akurasi data emisi. Kalibrasi internal dilakukan melalui *preventive maintenance* rutin setiap bulan untuk menjaga kinerja optimal perangkat.

Kalibrasi eksternal melibatkan kerja sama dengan pihak ketiga berlisensi sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 1 Tahun 2021, yang mewajibkan sertifikat kalibrasi diperbarui setiap dua tahun. Audit CGA dan RCA dilakukan sebagai bagian dari kontrol kualitas, sementara RATA (*Relative Accuracy Test Audit*) dilaksanakan setiap tiga tahun untuk memastikan akurasi pengukuran.

Selama proses integrasi CEMS dengan SISPEK, PT Donggi-Senoro LNG menghadapi sejumlah tantangan yang harus diatasi:

- 1) **Keterbatasan *Best Practice* di Industri Migas:** Pada awal integrasi, terbatasnya *best practice* khusus untuk sektor minyak dan gas menyebabkan perusahaan harus berinovasi dalam mengembangkan metode integrasi. Terbatasnya referensi juga memperlambat proses, karena tim harus melalui banyak percobaan dan penyesuaian tanpa pedoman yang jelas.
- 2) **Kendala Pasca-Pandemi:** Efek dari pandemi COVID-19 masih dirasakan, terutama dalam pembatasan mobilitas personel dan perlunya verifikasi daring. Kegiatan ini kadang memperlambat koordinasi dan pengumpulan data yang diperlukan di lapangan, mengakibatkan keterlambatan dalam penyelesaian tahapan tertentu.
- 3) **Perkembangan Teknologi Baru dan Kendala Teknis:** Sistem perangkat lunak yang digunakan dalam integrasi SISPEK masih dalam tahap awal pengembangan, yang menyebabkan munculnya sejumlah *bugs* atau permasalahan teknis pada berbagai komponen. Berikut adalah beberapa permasalahan yang muncul:
 - a) Data tidak terkirim karena masalah pada *query* DNS di DIS (*Data Interfacing System*).
 - b) Data tidak terekam di DAS (*Data Acquisition System*) akibat masalah pada *Operating System Windows* komputer DAS.
 - c) Kode *push* notifikasi tidak spesifik (misalnya tidak spesifik untuk jaringan *server* yang *down* pada *server* perusahaan atau *server* KLHK).
 - d) Notifikasi *push* terus terkirim meskipun data pada DIS telah berhasil disimpan.

- e) Notifikasi *push* terus terkirim meskipun data pada DIS berhasil disimpan. Data pada SISPEK dan DIS tidak sinkron.
- f) Status “*maintenance*” tidak dapat dikirimkan.
- g) Server tidak merespon karena kelebihan beban atau gangguan jaringan (*Out of server*).

Setelah integrasi CEMS ke SISPEK selesai, PT Donggi-Senoro LNG merasakan beberapa manfaat penting:

- 1) **Peningkatan Transparansi Pelaporan:** Integrasi CEMS dengan SISPEK di PT Donggi-Senoro LNG memberikan peningkatan transparansi dalam pelaporan emisi. Sebelum integrasi, data pelaporan emisi dilakukan secara manual dan dilaporkan setiap tiga bulan. Proses ini memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan manusia. Dengan adanya integrasi ke SISPEK, data emisi dapat diakses secara *real-time* oleh regulator dan pihak terkait, mengurangi jeda pelaporan dan meningkatkan keterbukaan dalam pengelolaan emisi.

Tabel 3. Perbandingan transparansi pelaporan sebelum dan setelah integrasi

Aspek	Sebelum Integrasi	Setelah Integrasi
Frekuensi Pelaporan	Setiap 3 bulan	<i>Real-time</i> (1 jam)
Metode Pelaporan	Manual	Otomatis
Tingkat Kesalahan	5%	0,5%
Akses Data	Terbatas pada laporan berkala	Dapat diakses <i>real-time</i> melalui SISPEK
Keterbukaan	Tertunda hingga laporan selesai	Transparan setiap saat

Sumber: Studi Kasus Integrasi CEMS ke SISPEK di PT Donggi-Senoro LNG, 2022

Data Tabel 3 ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam frekuensi dan keterbukaan pelaporan emisi setelah integrasi, di mana pelaporan otomatis memungkinkan akses *real-time* yang lebih akurat dan dapat diandalkan.

- 2) **Efisiensi Operasional:** Selain transparansi pelaporan, integrasi CEMS dengan SISPEK membawa efisiensi operasional bagi tim di PT Donggi-Senoro LNG. Proses pelaporan emisi yang sebelumnya membutuhkan waktu hingga 8 jam untuk pengolahan data kini berkurang drastis menjadi sekitar 1 jam. Integrasi otomatis juga menghilangkan kebutuhan permintaan data antar

tim, yang sebelumnya dilakukan manual setiap triwulan. Kini, data tersedia setiap saat dalam sistem SISPEK, sehingga memudahkan analisis dan pengambilan keputusan secara lebih cepat.

Tabel 4. Perbandingan efisiensi operasional sebelum dan setelah integrasi

Aspek	Sebelum Integrasi	Setelah Integrasi
Waktu Pelaporan	3 bulan sekali	<i>Real-time</i> (1 jam)
Waktu Pemrosesan Data	8 jam (manual)	1 jam (otomatis)
Kebutuhan Permintaan Data	Antar divisi setiap 3 bulan	Tidak diperlukan
Frekuensi Intervensi Manual	Sering	Minimal

Sumber: Studi Kasus Integrasi CEMS ke SISPEK di PT Donggi-Senoro LNG, 2022

Dengan adanya efisiensi ini, PT Donggi-Senoro LNG dapat memfokuskan sumber daya manusia pada tugas yang lebih strategis, karena proses pelaporan dan pemantauan emisi telah disederhanakan.

- 3) **Manfaat Fitur *Maintenance Override*:** Salah satu fitur penting dalam integrasi SISPEK adalah adanya fungsi *maintenance override*. Fitur ini memungkinkan PT Donggi-Senoro LNG untuk mengatur sistem dalam mode pemeliharaan atau *shutdown*, sehingga tetap mengirimkan nilai ‘1’ ke SISPEK sebagai penanda bahwa alat sedang dalam kondisi tidak operasional namun statusnya tetap dilaporkan. Dengan adanya fitur ini, pelaporan emisi tetap konsisten dan akurat meskipun terdapat gangguan operasional.

Tabel 5. Fitur *maintenance override* dan manfaatnya

Aspek	Sebelum Integrasi	Setelah Integrasi
Pelaporan saat <i>Maintenance</i>	Tidak tersedia	Tetap terlapor sebagai ‘1’
Risiko Kegagalan Pelaporan	Tinggi	Rendah
Proses Setting Data	Manual	Otomatis melalui aplikasi SISPEK
Keakuratan Data	Rentan Tidak Akurat	Lebih Akurat dengan Penanda

Sumber: Studi Kasus Integrasi CEMS ke SISPEK di PT Donggi-Senoro LNG, 2022

Fitur *maintenance override* memastikan bahwa proses pelaporan emisi di PT Donggi-Senoro LNG tetap sesuai standar regulasi bahkan saat pemeliharaan

berlangsung, serta meminimalkan kesalahan input yang mungkin terjadi akibat kondisi tidak normal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil wawancara dan observasi mengenai proses integrasi CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*) di PT Donggi-Senoro LNG ke dalam Sistem Informasi Pemantauan Emisi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Integrasi CEMS dengan SISPEK telah sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 2021, memungkinkan pemantauan emisi secara *real-time* dan otomatis serta memudahkan kepatuhan terhadap regulasi.
2. Integrasi ini meningkatkan transparansi pelaporan dan efisiensi operasional. Waktu pelaporan berkurang dari 3 bulan menjadi *real-time*, dan tingkat kesalahan turun dari 5% menjadi 0,5%. Fitur *maintenance override* juga mendukung kelancaran operasional dengan mengirimkan status “*maintenance*” secara otomatis saat peralatan dalam perawatan, menjaga data tetap akurat tanpa intervensi manual.
3. Integrasi ini meningkatkan transparansi pelaporan dan efisiensi operasional. Waktu pelaporan berkurang dari 3 bulan menjadi *real-time* dan tingkat kesalahan turun dari 5% menjadi 0,5%. Fitur *maintenance override* juga mendukung kelancaran operasional dengan mengirimkan status “*maintenance*” secara otomatis saat peralatan dalam perawatan, menjaga data tetap akurat tanpa intervensi manual.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada segenap jajaran manajemen di PT Donggi-Senoro LNG, khususnya Tim Departemen QHSE dan Divisi *Environment*, yang telah membantu pelaksanaan penelitian studi kasus ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Clean Air Asia. (2023). CEMS Adoption in Asia: Policy Overview and Implementation Challenges. Manila: Clean Air Asia.
- Greenstone, M., & Fan, Q. (2019). Air Pollution and Life Expectancy in Indonesia. *Journal of Environmental Economics*, 25(2), 120-134.
- International Energy Agency (IEA). (2022). *Global Energy Review: CO2 Emissions in 2022*.
- IQAir. (2023). *World Air Quality Report 2022*.
- Januarsi, R., Safaruddin, & Prayuda, R. (2023). Proses integrasi continuous emission monitoring system pabrik Baturaja II PT Semen Baturaja Tbk. Kedalam sistem informasi pemantauan emisi KLHK. *Jurnal Lintas Ilmu-JLI*, 1(7), 83- 99.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (1995). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 13 Tahun 1995 tentang Pemantauan Emisi Gas Buang Secara Kontinu Bagi Industri Semen, Pulp & Paper, Besi & Baja, dan Pembangkit Listrik Berbahan Bakar Batubara. Jakarta: KLHK.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2009). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak bagi Usaha dan/atau Kegiatan Minyak dan Gas Bumi. Jakarta: KLH.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2021). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 13 Tahun 2021 tentang Sistem Informasi Pemantauan Emisi Industri Secara Terus Menerus. Jakarta: KLHK.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: KLHK.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (2020). *Air Pollution and Human Health: Impacts and Policy Responses*. Paris: OECD Publishing.
- Srivastava, R., Kumar, S., & Tiwari, A. (2024). Continuous emission monitoring systems in industrial sectors: Lessons from India. *Journal of Environmental Monitoring Systems*, 12(3), 45-58.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2000). *Continuous Emission Monitoring Systems: Types and Applications*.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2020). *National Emission Inventory (NEI) Air Emissions Data*.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2021). *40 CFR Part 60 – Standards of Performance for New Stationary Sources*.
- World Health Organization. (2023). *Ambient and household air pollution and health*.