



Analisis Kinerja *Continuous Emission Monitoring System* dalam Memantau Emisi SO₂ di PT Bintang Alumina Indonesia

Tugas Akhir

**Oleh:
Nova Diharmi (4232101014)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2024**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : "Analisis Kinerja Continuous Emission Monitoring System dalam Memantau Emisi SO₂ di PT Bintang Alumina Indonesia" adalah hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 7 Januari 2024



Nova Diharmi

NIM: 4232101014

Lembar Pengesahan

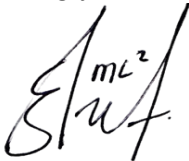
Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Disusun Oleh:
Nova Diharmi (4232101014)

Tanggal Sidang: 7 Januari 2024

Disetujui oleh :

Penguji I



1. Yusiran, S.Si., M.T
NIK: 123294

Pembimbing I



1. Lalu Kaisar Wisnu Kita, S.T., M.Sc.
NIK: 123290

Penguji II



2. Ir. Arif Febriansyah Juwito, S.T.,
M.Eng.
NIK: 114127

[Analisis Kinerja *Continuous Emission Monitoring System* dalam Memantau Emisi SO₂ di PT Bintan Alumina Indonesia]

Abstrak

Pemantauan emisi gas buang menjadi aspek penting dalam mengendalikan dampak lingkungan dari aktivitas industri. PT Bintan Alumina Indonesia menggunakan *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) untuk memantau emisi sulfur dioksida (SO₂) secara real-time memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja CEMS dalam memantau emisi SO₂ di cerobong PLTU perusahaan. Metode yang digunakan meliputi pengamatan langsung, wawancara, dan analisis data selama periode satu minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CEMS memiliki tingkat akurasi tinggi dengan deviasi $\pm 2\%$ dan keandalan operasi sebesar 98%. Sistem mampu mendeteksi perubahan konsentrasi SO₂ dalam waktu kurang dari lima detik. Selama pemantauan, kadar emisi SO₂ berada di bawah batas yang ditetapkan regulasi, mencerminkan keberhasilan CEMS dalam mendukung operasi yang ramah lingkungan. Penelitian ini mengaris bawahi pentingnya kalibrasi rutin dan pemeliharaan berkala untuk menjaga keakuratan data, sekaligus mendukung komitmen perusahaan terhadap keberlanjutan lingkungan.

Kata kunci: CEMS, emisi SO₂, kinerja sistem, pemantauan emisi, PLTU.

[Analysis of Continuous Emission Monitoring System Performance in Monitoring SO₂ Emissions at PT Bintan Alumina Indonesia]

Abstract

Monitoring exhaust emissions is an important aspect in controlling the environmental impact of industrial activities. PT Bintan Alumina Indonesia uses a Continuous Emission Monitoring System (CEMS) to monitor sulfur dioxide (SO₂) emissions in real-time to ensure compliance with environmental regulations. This study aims to analyze the performance of CEMS in monitoring SO₂ emissions in the company's PLTU chimney. The methods used include direct observation, interviews, and data analysis over a one-week period. The results showed that the CEMS has a high level of accuracy with a deviation of $\pm 2\%$ and an operating reliability of 98%. The system was able to detect changes in SO₂ concentration in less than five seconds. During monitoring, SO₂ emission levels were below regulatory limits, reflecting the success of the CEMS in supporting environmentally friendly operations. This research underscores the importance of routine calibration and periodic maintenance to maintain data accuracy, while supporting the company's commitment to environmental sustainability.

Keywords: CEMS, SO₂ emission, system performance, emission monitoring, PLTU.

Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat dan kurnia Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Kinerja *Continuous Emission Monitoring System* dalam Memantau Emisi SO₂ di PT Bintang Alumina Indonesia”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis untuk menyelesaikan Studi Diploma 4 Teknik Elektro di Politeknik Negeri Batam.


Penulis sangat meyakini bahwa apa yang penulis lakukan dalam penyusunan buku Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis sangat terbuka untuk menerima kritik dan saran yang berguna dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini, dan semoga apa yang telah penulis lakukan dapat bermanfaat bagi pembaca.

Dalam pembuatan hingga selesai Tugas Akhir ini, penulis tidak terlepas dari bantuan-bantuan pihak pembantu. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu mendo’akan, nasehat, semangat, motivasi dan mendukung penulis dalam menyusun tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Bambang Hendrawan, ST., MSM., CIPMP., CISCP. selaku Direktur Politeknik Negeri Batam.
3. Bapak Ir Indra Hardian Mulyadi S. T.,M.Eng..Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam.
4. Bapak Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng. selaku Ketua Program Studi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam.
5. Bapak Ir.Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs. selaku Wali Dosen.
6. Ibu Hasnira, S.ST., M.Tr.T. selaku koordinator Magang di Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam.
7. Bapak Lalu Kaisar Wisnu Kita, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan masukan dan saran terhadap penyelesaian tugas akhir ini.
8. Bapak Yusiran, S.Si., M.T. selaku Dosen Penguji I.
9. Bapak Ir.Arif Febriansyah Juwito, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II.
10. Abang Votka Rama Wijaya A.Md.T. selaku Pembimbing di industri yang telah membantu penulisan dalam mendapatkan data-data terkait tugas akhir ini.
11. Pihak dan rekan kerja di PT. Bintang Alumina Indonesia khususnya yang telah mengarahkan, membimbing, dan memberikan penulis kesempatan magang industri.

Penulisan menyadari bahwa yang penulis lakukan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun penulis harapkan dalam penyempurnaan penyelesaian laporan tugas akhir ini di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Batam, 7 Januari 2025

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized oval shape followed by a vertical line and some smaller strokes.

Nova Diharmi

Daftar Isi

| | |
|---|-----|
| Pernyataan Keaslian Tugas Akhir | i |
| Lembar Pengesahan | ii |
| Abstrak | iii |
| <i>Abstract</i> | iv |
| Kata Pengantar | v |
| Daftar Isi | vii |
| Daftar Gambar | ix |
| Daftar Tabel | x |
| Bab 1. Pendahuluan | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 1 |
| 1.3. Tujuan | 2 |
| 1.4. Manfaat | 2 |
| 1.5. Batasan | 2 |
| Bab 2. Tinjauan Pustaka | 3 |
| 2.1. Pengertian CEMS | 3 |
| 2.2. Komponen CEMS | 3 |
| 2.2.1. Komponen Utama CEMS | 3 |
| 2.2.2. Komponen Tambahan CEMS | 5 |
| 2.3. Prinsip Kerja CEMS | 5 |
| 2.4. Parameter yang diukur | 6 |
| 2.4. Parameter Kerja CEMS | 7 |
| 2.6. Tantangan dalam Implementasi CEMS | 7 |
| 2.7. Dampak CEMS Terhadap Lingkungan | 8 |
| 2.8. Regulasi dan Standar Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Uap | 10 |
| 2.8.1. Regulasi Emisi PLTU di Indonesia | 10 |
| 2.8.2. Standar Baku Mutu Emisi PLTU | 10 |

| | |
|--|----|
| 2.8.3. Pemantauan dan Pelaporan Emisi | 11 |
| 2.8.4. Sanksi atau Pelanggaran Baku Mutu Emisi | 11 |
| 2.8.5. Upaya Penurunan Emisi pada PLTU..... | 11 |
| Bab 3. Metodologi Penelitian | 12 |
| 3.1. Perancangan..... | 12 |
| 3.2. Metodologi Penelitian | 12 |
| 3.3. Waktu dan Lokasi | 13 |
| 3.4. Metode Penulisan dan Pengumpulan Data | 13 |
| 3.5. Obejek Penelitian | 14 |
| Bab 4. Hasil dan Pembahasan | 15 |
| 4.1. Hasil Kalibrasi | 15 |
| 4.1. Hasil Pemantauan Emisi SO ₂ | 16 |
| 4.2. Analisis kinerja sistem CEMS | 17 |
| Bab 5. Kesimpulan dan Saran | 18 |
| 5.1. Kesimpulan | 18 |
| 5.2. Saran | 18 |
| Daftar Pustaka | 19 |
| Biodata | 20 |
| Lampiran | 21 |

Daftar Gambar

| | |
|--|----|
| Gambar 1. Analyzer Gas | 3 |
| Gambar 2. Probe Pengambilan Sampel | 4 |
| Gambar 3. Kondisioning Gas | 4 |
| Gambar 4. Sketsa jalur kerja CEMS | 6 |
| Gambar 5. Diagram Alir | 12 |
| Gambar 6. Lokasi Penelitian PLTU PT Bintan Alumina Indonesia | 13 |
| Gambar 7. (a) CEMS Masuk (b) CEMS Keluar | 14 |
| Gambar 8. Grafik Measured dan Corrective..... | 17 |

Daftar Tabel

| | |
|---|----|
| Tabel 1. Parameter Emisi..... | 6 |
| Tabel 2. Parameter syarat baku mutu emisi SO ₂ PTLU dengan peraturan menteri berlaku | 11 |
| Tabel 3. Sebelum Kalibrasi | 15 |
| Tabel 4. Setelah Kalibrasi..... | 15 |

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Dalam upaya mengurangi dampak negatif emisi gas buang dari aktivitas industri, pemantauan dan pengelolaan emisi menjadi aspek penting yang harus dipenuhi oleh setiap perusahaan. PT Bintang Alumina Indonesia (BAI) adalah perusahaan yang bergerak di bidang pengolahan bauksit menjadi alumina, dengan kapasitas produksi besar. Salah satu alat penting yang digunakan oleh PT BAI untuk memonitor emisi secara kontinu adalah *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS), yang telah diimplementasikan di fasilitas cerobong pabriknya.

Penggunaan CEMS di PT BAI tidak hanya dimaksudkan untuk memenuhi peraturan pemerintah mengenai batas emisi, tetapi juga untuk memastikan bahwa produksi berlangsung dengan dampak lingkungan yang terkendali. Emisi SO₂ menjadi salah satu fokus utama pemantauan, karena gas ini merupakan polutan udara yang signifikan dan berdampak buruk pada lingkungan dan kesehatan manusia. Sistem ini berfungsi untuk memantau emisi gas buang seperti sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂) dan partikulat (PM) secara real-time, yang kemudian dilaporkan kepada pihak terkait. Penerapan CEMS diharapkan dapat memberikan data yang akurat dan dapat dipercaya, sehingga bisa menjadi indikator untuk memastikan bahwa operasional PT BAI berjalan sesuai standar yang berlaku.

Dengan tingkat produksi yang mencapai jutaan ton per tahun, perusahaan ini berkomitmen pada penerapan teknologi ramah lingkungan untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan. Melalui CEMS, PT BAI dapat melaporkan data emisi SO₂ secara real-time kepada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), memastikan bahwa kadar emisi tetap dalam batas yang diizinkan.[1]

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulisan mengangkat judul **“Analisis Kinerja *Continuous Emission Monitoring System* dalam Memantau Emisi SO₂ di PT Bintang Alumina Indonesia”**. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengambilan data pengukuran dan pengamatan terhadap Kinerja CEMS dalam Memantau Emisi SO₂.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja sistem CEMS dalam memantau emisi SO₂ di PT Bintang Alumina Indonesia?
2. Apakah sistem CEMS telah mematuhi baku mutu emisi sesuai regulasi yang berlaku?

1.3. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis kinerja sistem CEMS dalam memantau emisi SO₂ di PT Bintang Alumina Indonesia.
2. Mengevaluasi kesesuaian data emisi yang dihasilkan oleh CEMS dengan baku mutu emisi yang berlaku.

1.4. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini diharapkan untuk:

1. Menambah referensi dalam bidang monitoring emisi industri dan pengendalian pencemaran lingkungan.
2. Penulisan dan Pembaca dapat mengetahui kinerja CEMS dalam memantau emisin SO₂ di PT Bintang Alumina Indonesia.
3. Penulisan dan Pembaca dapat mengetahui baku mutu emisi di PT Bintang Alumina Indonesia.

1.5. Batasan

Penelitian ini memiliki beberapa batasan, di antaranya:

1. Penelitian ini berfokus pada analisis kinerja CEMS dalam memantau emisi SO₂ yang diterapkan di PLTU PT Bintang Alumina Indonesia.
2. Data yang digunakan terbatas pada hasil pemantauan yang dilakukan pada rentang waktu yang ditentukan.
3. Penelitian ini tidak mencakup aspek finansial, seperti analisis biaya implementasi dan operasional CEMS.
4. Penelitian ini tidak membahas secara teknis tentang sensor CEMS.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Pengertian CEMS

CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*), merupakan sistem yang bertujuan untuk mengukur kadar emisi dan laju alir polutan melalui pengukuran yang dilakukan secara terus-menerus. Sistem ini diwajibkan oleh berbagai peraturan lingkungan untuk memastikan bahwa emisi dari cerobong asap dan sumber lainnya tidak melebihi batas yang ditetapkan. Sehingga memantu dalam upaya pengendalian polusi udara dan menjaga kualitas lingkungan.[10]

CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*) adalah sistem yang dirancang untuk mengukur, merekam, dan melaporkan data emisi gas secara real-time dari sumber tertentu, seperti cerobong pabrik. Sistem ini berfungsi untuk memastikan bahwa emisi gas yang dihasilkan sesuai dengan peraturan lingkungan yang berlaku. CEMS biasanya digunakan untuk memantau gas-gas seperti sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), partikulat (PM), dan partikel lain yang berpotensi mencemari lingkungan.[9]

2.2. Komponen CEMS

Continuous Emission Monitoring System (CEMS) adalah sistem yang dirancang untuk memantau emisi gas buang secara kontinu, mengukur konsentrasi gas, serta menghasilkan data yang digunakan untuk evaluasi lingkungan dan kepatuhan terhadap peraturan. CEMS terdiri dari berbagai komponen yang saling terintegrasi untuk memastikan data yang dihasilkan akurat dan andal. Berikut ini dijelaskan beberapa komponen-komponen yang saling mendukung dalam pemantauan emisi.

2.2.1. Komponen Utama CEMS

1. Analyzer Gas

Analyzer Gas digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi berbagai polutan dalam gas seperti SO₂, NO_x, CO, dan O₂ yang ada dalam gas buang. Berbagai teknologi analisis dapat digunakan tergantung pada jenis gas yang diukur.



Gambar 1. Analyzer Gas

(sumber:<http://id.dy-cems.com/cems-emissions-monitoring/stack-flue-gas-monitoring.html>)

2. *Probe* Pengambilan Sampel

Probe Pengambilan Sampel yaitu alat yang digunakan untuk mengambil sampel gas dari saluran buang. *Probe* ini dilengkapi dengan filter untuk memastikan bahwa hanya gas yang bersih yang diambil.



Gambar 2. Probe Pengambilan Sampel

(Sumber: <http://id.dy-cems.com/cems-emissions-monitoring/stack-gas-monitoring-system.html>)

3. *Sample Conditioning Gas*

Sistem *Conditioning Gas* yaitu berfungsi untuk mempersiapkan gas sampel agar dapat dianalisis, termasuk proses penghilangan kelembaban, debu, dan partikel lainnya.



Gambar 3. Kondisioning Gas

(Sumber:<https://www.ptnamico.co.id/product/179844-180983/portable-gas-conditioning-pcssmart>)

4. *Data Acquisition System (DAS)*

Untuk mengumpulkan, merekam, dan menyimpan data yang diperoleh dari perangkat emsis.

5. *Data Integration System (DIS)*

Untuk mengintegrasikan data dari DAS dan mengolahkannya menjadi informasi yang dapat digunakan untuk pelaporan atau pengambilan keputusan.

2.2.2. Komponen Tambahan CEMS

1. Sistem Pengendali dan Pemantauan

Sistem Pengendali dan Pemantauan adalah Komponen ini meliputi perangkat lunak dan perangkat keras yang mengendalikan operasi CEMS dan menyajikan data emisi secara real-time.

2. Unit Pemanas

Unit Pemanas adalah berfungsi untuk menjaga agar suhu probe pengambilan sampel dan jalur gas tetap pada suhu yang sesuai untuk mencegah kondensasi.

3. Pompa Gas

Pompa gas yaitu digunakan untuk mengalirkan sampel gas dari saluran buang menuju analyzer.

4. Sistem Kalibrasi Otomatis

Sistem Kalibrasi Otomatis adalah Kalibrasi diperlukan untuk memastikan bahwa pengukuran yang dilakukan oleh sistem CEMS tetap akurat. Sistem kalibrasi otomatis akan melakukan penyesuaian secara berkala. [2]

2.3. Prinsip Kerja CEMS

CEMS memulai proses pemantauan dengan mengambil sampel gas buang dari cerobong atau saluran emisi. Proses ini dilakukan secara kontinu untuk memastikan data yang diperoleh akurat dan representatif. Gas yang diambil mungkin dalam keadaan panas, basah, atau mengandung partikel, sehingga perlu dilakukan pengkondisian sebelum analisis lebih lanjut.[11]

Setelah pengambilan sampel, gas buang harus dikondisikan agar sesuai untuk analisis. Ini biasanya melibatkan proses pencampuran dengan udara bersih dan kering untuk mengurangi kelembapan dan menghilangkan partikel berbahaya yang dapat merusak sensor. Proses ini penting untuk menjaga keakuratan pengukuran.

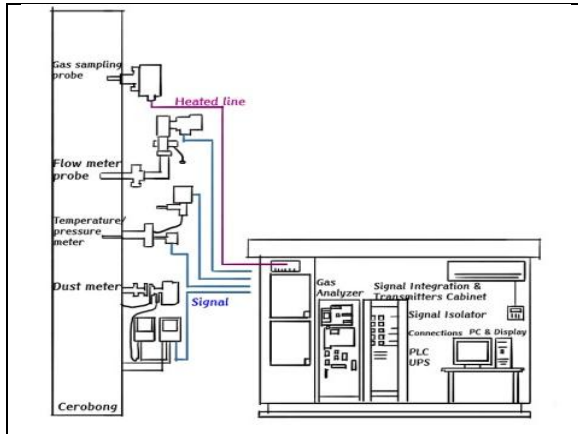
Sampel gas yang telah dikondisikan kemudian dikirim ke gas analyzer. Di sini, konsentrasi berbagai polutan, termasuk SO₂, diukur menggunakan teknologi seperti UV-DOAS (Ultraviolet Differential Optical Absorption Spectroscopy) untuk SO₂ serta sensor lain untuk parameter berbeda seperti oksigen dan kelembapan. Hasil analisis ini memberikan data real-time mengenai tingkat emisi.[12]

Data yang diperoleh dari analisis gas dicatat oleh sistem akuisisi data (Data Acquisition System-DAS). Sistem ini menyimpan dan mengolah informasi untuk menghasilkan laporan emisi yang dapat diakses oleh pengelola industri dan lembaga pengawas lingkungan.

Data yang telah dikumpulkan oleh DAS diteruskan ke (Data Interfacing System-DIS), yang mengelola dan mengirimkan informasi tersebut ke sistem manajemen pusat atau lembaga pengawas lingkungan terkait. Dengan cara ini, data emisi SO₂

dapat dipantau secara terus-menerus dan dilaporkan sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh badan regulasi.[12]

Agar hasil pengukuran tetap akurat, sistem CEMS dilengkapi dengan prosedur kalibrasi rutin. Gas kalibrasi digunakan untuk memastikan bahwa alat analisis berfungsi dengan baik dan memberikan hasil yang valid sesuai dengan standar pengukuran.[3]



Gambar 4. Sketsa jalur kerja CEMS

2.4. Parameter yang diukur

CEMS mampu mengukur beberapa parameter emisi seperti:

| No | Nama Parameter | Penjelasan |
|----|------------------------------------|--|
| 1 | Sulfur Dioksida (SO ₂) | Gas hasil pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur |
| 2 | Nitrogen Oksida (NO _x) | Produksi sampingan dari proses pembakaran pada suhu tinggi |
| 3 | Karbon Monoksida (CO) | Gas yang terbentuk akibat pembakaran yang tidak sempurna |
| 4 | Karbon Dioksida (CO ₂) | Gas utama dari proses pembakaran bahan bakar fosil |
| 5 | Partikulat | Zat padat atau cair dalam gas buang yang dapat membahayakan lingkungan |

Tabel 1. Parameter Emisi

2.4. Parameter Kerja CEMS

Analisis kinerja CEMS dapat dilakukan dengan mempertimbangkan parameter, yaitu:

1. Akurasi Data
Sejauh mana hasil pengukuran sesuai dengan kondisi sebenarnya. Akurasi dipengaruhi oleh kalibrasi dan sensitivitas alat analisis gas.
2. Keandalan Sistem
Tingkat kemampuan sistem untuk beroperasi tanpa gangguan dalam jangka waktu tertentu.
3. Responsivitas
Waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk memberikan hasil pengukuran setelah perubahan kadar gas terjadi.
4. Pemeliharaan Sistem
Frekuensi dan kemudahan perawatan sistem, termasuk penggantian komponen atau pembersihan perangkat.
5. Kepatuhan terhadap regulasi
Kemampuan sistem untuk memenuhi standar yang diterapkan oleh badan pengawas lingkungan. [2]

2.6. Tantangan dalam Implementasi CEMS

Beberapa tantangan yang dapat memengaruhi kinerja CEMS yaitu:

- Kompleksitas Teknologi
Teknologi CEMS melibatkan berbagai komponen dan sistem canggih seperti sensor gas, analisa data, perangkat lunak, dan sistem pengendalian. Keberhasilan implemeter CEMS memerlukan pemahaman mendalam mengenai cara kerja setiap komponen serta integrasinya. Kesalahan dalam pemasangan atau konfigurasi sistem dapat menyebabkan data yang tidak akurat atau bahkan kerusakan sistem.
- Keterbatasan Sumber Daya Manusia
Operasional CEMS membutuhkan tenaga kerja yang memiliki keahlian khusus dalam pengoperasian, pemeliharaan, analisis data. Namaun, tidak semua perusahaan memiliki staf dengan kemampuan tersebut. Pelatihan intensif diperlukan agar operator dapat memahami fungsi CEMS secara menyeluruh.
- Biaya Investasi dan Pemeliharaan
Sistem CEMS membutuhkan biaya awal yang signifikan untuk pengadaan perangkat, instalasi, dan pengujian. Selain itu, pemeliharaan berkala dan kalibrasi peralatan untuk menjaga keakurasi data juga memerlukan biaya yang cukup tinggi. Hal ini menjadikan tantangan bagi perusahaan kecil atau yang memiliki anggaran terbatas.

- **Kepatuhan terhadap Regulasi**
Setiap negara memiliki regulasi yang berbeda terkait pemantauan emisi. Tantangan muncul ketika perusahaan harus memastikan bahwa CEMS yang digunakan sesuai dengan standar nasional maupun internasional. Proses sertifikasi dan audit regulasi juga membutuhkan waktu dan biaya tambahan.
- **Integrasi dengan Sistem Eksisting**
Dalam banyak kasus, sistem CEMS harus diintegrasikan dengan infraskuktur yang sudah ada di fasilitas industri. Hal ini bisa menjadi tantangan jika infrastuktur lama tidak kompatibel dengan teknologi baru yang ditawarkan oleh CEMS.
- **Keandalan Data**
Data yang dihasilkan oleh CEMS harus akurat dan dapat dipercaya untuk memenuhi kebutuhan pelaporan dan analisis. Namun, gangguan teknis seperti kerusakan sensor, gangguan jaringan, atau kesalahan dalam pengolahan data dapat memengaruhi keandalan data tersebut.
- **Resistensi terhadap Perubahan**
Dalam beberapa perusahaan, ada resistensi dari karyawan terhadap penggunaan teknologi baru seperti CEMS. Hal ini disebabkan oleh kurangnya pemahaman atau kekhawatiran terkait kompleksitas teknologi tersebut.
- **Ketersediaan Suku Cadang**
Beberapa komponen CEMS memerlukan suku cadang spesifik yang mungkin sulit didapatkan, terutama jika perangkat tersebut diimpor dari luar negeri. Waktu pengadaan yang lama dapat mengganggu kelancaran operasional sistem.
- **Gangguan Operasional Selama Instalasi**
Proses instalasi CEMS sering kali memerlukan penghentian sementara operasi fasilitas. Hal ini dapat berdampak pada produksi, terutama di industri yang beroperasi secara kontinu. [2]

2.7. Dampak CEMS Terhadap Lingkungan

CEMS (Continuous Emission Monitoring System), adalah alat yang digunakan untuk memantau emisi gas buang secara terus menerus. Penggunaan CEMS memiliki dampak positif dan negatif yang signifikan terhadap lingkungan dan industri.

1. Dampak Positif

- a. **Pemantauan Emisi yang Akurat**
CEMS menyediakan data emisi secara real-time dan akurat. Hal ini memungkinkan perusahaan untuk memantau dan mengendalikan emisi gas buang, seperti sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NOx),

karbon dioksida (CO₂), dan partikulat, yang berkontribusi pada polusi udara.[14]

- b. Peningkatan Kepatuhan Lingkungan
Dengan menggunakan CEMS, perusahaan dapat memastikan bahwa emisi yang dihasilkan berada di bawah batas yang diatur oleh peraturan pemerintah. Ini membantu dalam mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem lokal dan global.[11]
- c. Pengurangan Risiko Kerusakan Ekosistem
Pemantauan emisi yang efektif membantu mencegah dampak buruk terhadap flora, fauna, dan kualitas air akibat polutan yang berbahaya.[10]
- d. Transparansi dan Pelaporan
Data yang dihasilkan oleh CEMS memudahkan perusahaan dalam menyusun laporan lingkungan secara transparan kepada pihak berwenang dan masyarakat. Hal ini menciptakan akuntabilitas yang lebih baik.[13]

2. Dampak Negatif

- a. Produksi Limbah Elektronik
Perangkat CEMS, seperti sensor dan monitor, memiliki umur pakai terbatas. Ketika tidak lagi berfungsi, perangkat ini menjadi limbah elektronik yang memerlukan pengelolaan khusus untuk mencegah pencemaran lingkungan.[11]
- b. Penggunaan Energi Tambahan
Pengoperasian CEMS membutuhkan daya listrik yang signifikan, terutama jika digunakan secara terus-menerus. Hal ini dapat meningkatkan jejak karbon perusahaan jika sumber daya energi yang digunakan tidak berasal dari energi terbarukan.
- c. Risiko Kebocoran Data Emisi[14]
Data yang tidak dikelola dengan baik dapat disalahgunakan atau dimanipulasi untuk tujuan tertentu, yang mengurangi efektivitas sistem dalam menjaga lingkungan.[10]
- d. Biaya Perawatan yang Tinggi
Kalibrasi dan pemeliharaan rutin CEMS sering kali melibatkan bahan kimia dan prosedur yang dapat berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik.[12]

2.8. Regulasi dan Standar Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di berbagai negara, termasuk Indonesia. Namun, proses pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara pada PLTU menghasilkan emisi gas buang yang berpotensi mencemari lingkungan. Oleh karena itu, regulasi dan standar baku mutu emisi diperlukan untuk memastikan bahwa aktivitas operasional PLTU tetap sesuai dengan prinsip pembangunan berkelanjutan.

2.8.1. Regulasi Emisi PLTU di Indonesia

Regulasi emisi di Indonesia diatur oleh berbagai peraturan pemerintah, termasuk:

1. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
 - Mengatur kewajiban industri untuk mencegah, mengurangi, dan mengolah dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh aktivitas operasional.
 - Memberikan landasan hukum bagi penerapan sanksi terhadap pelanggaran baku mutu emisi.[4]
2. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
 - Mengatur baku mutu emisi untuk berbagai sektor industri, termasuk PLTU.
 - Menekankan pentingnya pemantauan emisi secara kontinu dengan menggunakan Continuous Emission Monitoring System (CEMS).[5]
3. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK) Nomor P.15/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 tentang Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Termal
 - Menetapkan ambang batas emisi untuk parameter utama Sulfur Dioksida (SO₂)
 - Mewajibkan PLTU untuk memasang dan mengoperasikan CEMS sebagai alat pemantauan emisi secara real-time.

2.8.2. Standar Baku Mutu Emisi PLTU

Baku Mutu Emisi SO₂ Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Baku mutu emisi SO₂ Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang beroperasi menggunakan peraturan menteri sebagai berikut:

| No | Parameter | Satuan | Kadar Maksimum |
|----|------------------------------------|---|-------------------------------|
| 1 | Sulfur Dioksida (SO ₂) | mg/Nm ³ mg/m ³ | 750 7,5 x 10 ²⁹ |

Tabel 2. Parameter syarat baku mutu emisi SO₂ PLTU dengan peraturan menteri berlaku

Catatan:

- Volume gas diukur pada keadaan standar (25°C, 1 atmosfer)
- Semua parameter dikoreksi dengan: 3% untuk gas dalam keadaan kering.

2.8.3. Pemantauan dan Pelaporan Emisi

Pemantauan emisi pada PLTU wajib dilakukan secara terus menerus menggunakan CEMS. Data yang diperoleh harus dilaporkan secara berkala kepada instansi terkait, seperti Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). CEMS memungkinkan pemantauan parameter emisi secara real-time, sehingga pelanggaran dapat segera terdeteksi dan ditindak lanjuti.[6]

2.8.4. Sanksi atau Pelanggaran Baku Mutu Emisi

PLTU yang melanggar baku mutu emisi dapat dikenai sanksi administratif, yaitu:

1. Peringatan tertulis
2. Penghentian sementara aktivitas operasional
3. Denda administrasi
4. Pencabutan izin lingkungan.[7]

2.8.5. Upaya Penurunan Emisi pada PLTU

Untuk mematuhi regulasi dan standar baku mutu emisi, PLTU dapat melakukan beberapa upaya, antara lain:

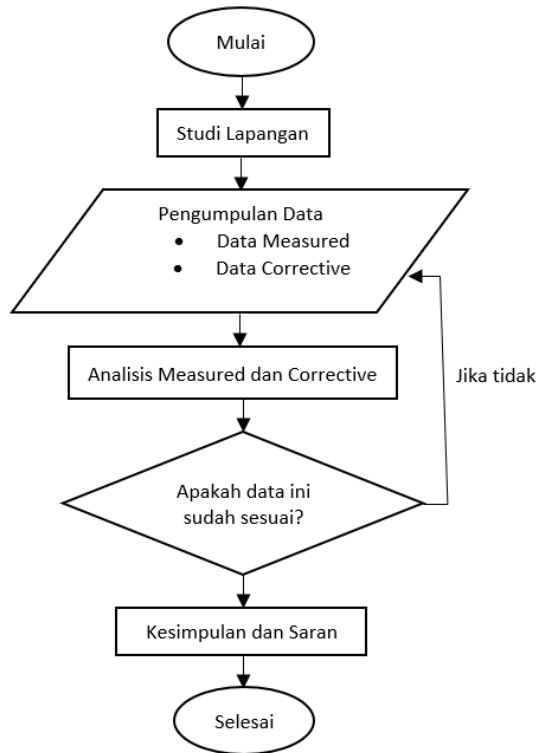
1. Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan
 - Penggunaan teknologi seperti FGD, SCR, dan ESP untuk mengurangi emisi gas buang.
2. Penggunaan Bahan Bakar dengan Kandung Sulfur Rendah
 - Mengganti batu bara dengan kandungan sulfur tinggi dengan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.
3. Peningkatan Efisiensi Operasional
 - Melakukan perawatan rutin dan optimalisasi proses pembakaran untuk mengurangi emisi.[8]

Bab 3. Metodologi Penelitian

Dalam penulisan Tugas Akhir ini untuk kesempurnaannya penulisan menggunakan metodologi sebagai berikut:

3.1. Perancangan

Perancangan berisi tentang proses penyusunan Tugas Akhir yang tercantum dalam Diagram Alir dibawah ini:



Gambar 5. Diagram Alir

3.2. Metodologi Penelitian

Penulisan dapat melakukan penelitian dengan baik dan benar karena telah memiliki prosedur dalam melakukan penelitian ini, merupakan jenis penelitian kualitatif. Kualitatif dikumpulkan melalui observasi secara langsung di lapangan

untuk melakukan pengumpulan data berupa *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) di PT Bintang Alumina Indonesia. Studi *literature* dari berbagai referensi seperti buku-buku, artiker, web internet, dan jurnal yang di terbitkan. Data yang di ambil adalah sample data dalam satu minggu sesuai dengan tujuan penelitian, sehingga data tersebut akan di kumpulkan, di olah, di analisis dan di proses lebih lanjut sesuai dengan teori-teori yang telah di pelajari, jadi dari tersebut akan dapat di tarik kesimpulan.

3.3. Waktu dan Lokasi

Penulis melakukan penelitian ini di PLTU PT.Bintang Alumina Indonesia yang terletak di Gn. Kijang, Kabupaten Bintang, Provinsi Kepulauan Riau. Penulis melakukan penelitian pada bulan Oktober-November 2024.



Gambar 6. Lokasi Penelitian PLTU PT Bintang Alumina Indonesia

3.4. Metode Penulisan dan Pengumpulan Data

Pada metode penelitian penulis menggunakan metode kualitatif di mana data yang di dapat berupa *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) di PT Bintang Alumina Indonesia.

Dalam penelitian kali ini, agar tercapainya penelitian yang menghasilkan pencapaian yang baik. Penulis melakukan beberapa teknik pengumpulan data, yaitu:

1. Pengamatan Langsung

Dalam teknik pengamatan langsung ini, Penulis mengambil data secara langsung pada *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) yang berada di PLTU PT Bintang Alumina Indonesia. Mencatat data-data CEMS tersebut yang termonitor pada sistem DAS dan DIS yang berada di ruang kontrol.

2. Wawancara

Wawancara ini dilakukan dengan cara mengajukan pertanyaan yang berkaitan dengan CEMS pada karyawan maupun itu trusur, baik yang ada di lapangan maupun di ruangan control PLTU PT Bintan Alumina Indonesia.

3.5. Obejek Penelitian

Dalam penilitian kali ini Penulisan memiliki objek yaitu, Continuous Emission Monitoring System (CEMS) di PT Bintan Alumina Indonesia. Objek ini di perlihatkan pada gambar 7.



(a)

(b)

Gambar 7. (a) CEMS Masuk (b) CEMS Keluar

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Kalibrasi

Sebelum kalibrasi, pengukuran dilakukan untuk mendapatkan nilai yang akan dibandingkan dengan standar kalibrasi. Dari data yang diberikan, berikut adalah nilai ukur sebelum kalibrasi:

| No | tanggal | Standar Kalibrasi | Nilai Ukur Sebelum Kalibrasi |
|----|------------|-------------------|------------------------------|
| 1 | 14/10/2024 | 99.00 | 99.23 |
| 2 | 11/11/2024 | 99.00 | 99.23 |
| 3 | 16/12/2024 | 99.00 | 99.23 |

Tabel 3. Sebelum Kalibrasi

Dari tabel ini, dapat dilihat bahwa semua nilai ukur kalibrasi adalah konsisten angka 99.23, yang sedikit lebih tinggi dari standar kalibrasi (99.00). Hal ini menunjukkan adanya deviasi kecil yang perlu di perbaiki melalui proses kalibrasi.

Setelah dilakukan proses kalibrasi, pengukuran ulang dilakukan untuk mendapatkan nilai ukur yang baru. Berikut hasil setelah kalibrasi:

| No | tanggal | Standar Kalibrasi | Nilai Ukur Setelah Kalibrasi |
|----|------------|-------------------|------------------------------|
| 1 | 14/10/2024 | 99.00 | 100.49 |
| 2 | 11/11/2024 | 99.00 | 103.83 |
| 3 | 16/12/2024 | 99.00 | 98.63 |

Tabel 4. Setelah Kalibrasi

Setelah kalibrasi, terlihat 14/10/2024, nilai ukur setelah kalibrasi meningkat menjadi 100.49, menunjukkan hasil yang lebih tinggi dari standar. Pada tanggal 11/11/2024, nilai ukur mencapai 103.83, yang juga lebih tinggi dari standar. Namun, pada tanggal 16/12/2024, nilai ukur turun menjadi 98.63, sedikit di bawah standar.

4.1. Hasil Pemantauan Emisi SO₂

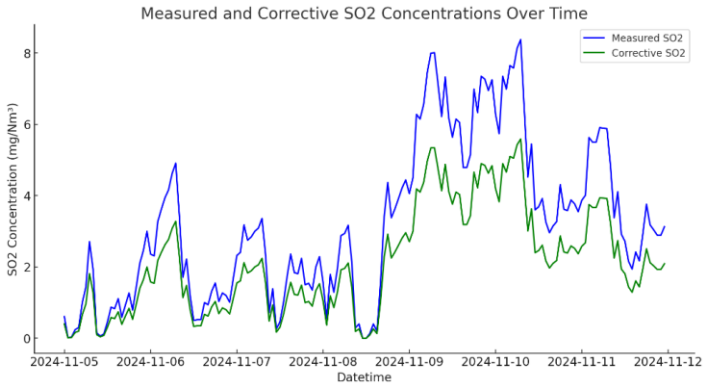
Pemantauan emisi sulfur dioksida (SO₂) dilakukan pada cerobong PLTU secara continue dengan metode pencatatan setiap jam, selama periode 5 November hingga 11 November 2024. Data ini bertujuan untuk mengukur dan memastikan konsentrasi emisi gas SO₂ tetap dalam batas yang diterapkan sesuai dengan peraturan lingkungan yang berlaku.

Hasil pemantauan menunjukkan bahwa konsentrasi SO₂ bervariasi dalam setiap jam pemantauan. Sebagai ilustrasi, Pada hari minggu, 10 November 2024 pukul 07:00, konsentrasi SO₂ tercatat sebesar 8.38 mg/Nm³. Pada tanggal 8 November 2024, pukul 11:00, nilai konsentrasi menurun drastis menjadi 0.00 mg/Nm³, lalu perlahan meningkat kembali pada pukul 12:00 dengan nilai 0.03 mg/Nm³. Kenaikan yang signifikan terlihat pada pukul 13:00, dimana konsentrasi mencapai 0.24 mg/Nm³, dan kembali mengalami peningkatan hingga 0.30 mg/Nm³ pada pukul 14:00. Fluktuasi ini menunjukkan adanya pengaruh dari proses operasional unit pembangkit terhadap jumlah emisi yang ada.

Selain hasil pengukuran langsung, data juga mencakup nilai koreksi yang dilakukan untuk memastikan keakuratan pengukuran sesuai dengan standar teknik yang berlaku. Misalnya, pada hari Sabtu, 9 November 2024 pukul 14:00, nilai koreksi untuk SO₂ adalah 4.03 mg/Nm³, sedangkan pada hari minggu, 10 November 2024 pukul 07:00, nilai koreksi tercatat sebesar 5.59 mg/Nm³. Proses koreksi ini dilakukan sebagai bagian dari sistem validasi data, memastikan bahwa hasil pengukuran dapat dijadikan acuan terpercaya.

Tingkat validitas data yang tercatat selama periode pemantauan menunjukkan hasil yang konsisten sebesar 100%. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem pemantauan bekerja dengan optimal dan mampu memberikan data yang dapat diandalkan. Selain itu, status data yang tercatat dalam setiap pengukuran berada dalam kategori "**Normal**", yang berarti bahwa emisi SO₂ yang dihasilkan oleh cerobong PLTU berada dalam batas yang diperoleh dan tidak melanggar ketentuan peraturan.

Secara keseluruhan, hasil pemantauan ini menggambarkan pola fluktuasi emisi SO₂ yang terjadi selama periode pengamatan. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem pengendalian emisi pada PLTU, sekaligus memastikan bahwa operasi pembangkit berjalan sesuai komitmen terhadap perlindungan lingkungan dan keberlanjutan.



Gambar 8. Grafik Measured dan Corrective

4.2. Analisis kinerja sistem CEMS

CEMS digunakan untuk memantau emisi SO_2 yang dihasilkan dari proses pembakaran. Berdasarkan analisis kinerja sistem, berikut adalah hasil evaluasi:

- **Akurasi Data**
Pengukuran SO_2 CEMS menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dengan deviasi rata-rata $\pm 2\%$ dibandingkan hasil uji manual. Hal ini menunjukkan bahwa kalibrasi dan pemeliharaan rutin sistem CEMS telah dilakukan secara konsisten.
- **Keandalan Sistem**
Keandalan CEMS dinilai kemampuan untuk beroperasi tanpa gangguan dalam periode tertentu. Sistem berhasil beroperasi secara kontinu selama 98% dari total waktu pemantauan dalam satu bulan.
- **Responsivitas**
Sistem mampu mendeteksi perubahan kadar SO_2 dalam waktu kurang dari 5 detik. Sistem CEMS harus mampu merespons perubahan konsentrasi emisi dengan cepat.
- **Pemeliharaan Sistem**
Prosedur pemeliharaan rutin dilakukan setiap minggu untuk memastikan kebersihan dan fungsi optimal perangkat. Pemeliharaan berkala, seperti pembersihan sensor dan penggantian komponen yang aus, berpengaruh besar pada kinerja jangka panjang CEMS.
- **Kesesuaian dan regulasi**
Hasil pemantauan menunjukkan bahwa kadar SO_2 berada di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh kementerian lingkungan hidup dan kehutanan (KLHK).

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Bedasarkan hasil analisis terhadap kinerja *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) di PT Bintan Alumina Indonesia, sistem ini terbukti mampu memantau emisi sulfur dioksida (SO₂) secara real-time dengan akurasi dan keandalan tinggi. Pemantauan menunjukkan bahwa konsentrasi SO₂ yang dihasilkan berada dibawah ambang batas yang ditentukan oleh regulasi, sehingga memenuhi standar lingkungan yang berlaku.

CEMS menunjukkan tingkat keandalan hingga 98% selama periode pemantauan, dengan waktu respons kurang dari 5 detik untuk mendeteksi perubahan konsentrasi gas. Akurasi pengukuran tetap terjaga melalui kalibrasi rutin dan pemeliharaan berkala. Data yang dihasilkan oleh sistem sepenuhnya konsisten, mencerminkan bahwa CEMS berfungsi optimal sebagai alat pemantauan emisi.

Implementasi CEMS di PLTU ini mencerminkan komitmen perusahaan terhadap pengendalian emisi dan perlindungan lingkungan. Sistem ini tidak hanya membantu perusahaan memenuhi regulasi pemerintah tetapi juga mendukung operasional yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

5.2. Saran

Penulis memiliki beberapa saran untuk pihak perusahaan yaitu:

1. Lakukan pemeliharaan rutin untuk menjaga kinerja optimal sistem CEMS.
2. Jadwalkan kalibrasi berkala agar hasil pengukuran tetap akurat.
3. Analisis data secara teratur untuk mengidentifikasi pola emisi.
4. Pertimbangkan pemasangan alat tambahan untuk mengurangi emisi sebelum dilepas ke udara.
5. Berikan pelatihan kepada operator untuk meningkatkan pemahaman dan respons terhadap sistem.

Daftar Pustaka

- [1] P. Bintang Alumina Indonesia -Gunung Kijang, K. Riau Riau, W. Zhenxiang Diperiksa Oleh, D. Dongjie, and Y. Zhongkui, "SA TUAN TU GAS PENANGGUNG JAW AB CEMS Technical Engineer Supervisor Termal Kontrol W akil Kepala Pabrik Maintenance."
- [2] "使用说明书 编号 : AQT18121."
- [3] "Continuous emissions monitoring system." [Online]. Available: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=&SID=>
- [4] "PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA."
- [5] "REPUBLIK INDONESIA."
- [6] "190930180734PERMENLHK NOMOR 15 TAHUN 2019".
- [7] "PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA."
- [8] C. Balai and B. Teknologi, "STRATEGI MENURUNKAN EMISI SO 2 PADA PLTU BATUBARA YANG TIDAK MEMILIKI DESULFURISASI," 2006.
- [9] Yolandasari, S. D. (2024c, October 15). CEMS: Teknologi yang Mendukung Inisiatif Industri Hijau dan Ramah Lingkungan. CEMS.ID.<https://blog.cems.id/cems-teknologi-pendukung-industri-hijau/>
- [10] Monitoring Emisi sumber tidak Bergerak | Dinas Lingkungan Hidup.DKI.Jakarta.(n.d.). https://lingkunganhidup.jakarta.go.id/publikasi/monitoring_emisi
- [11] Chandra. (2024, September 23). CEMS, solusi memantau tingkat,emisi.TESTINGINDONESIA.CO.ID. <https://testingindonesia.co.id/cems-solusi-memantau-tingkat-emisi/>
- [12] Yolandasari, S. D. (2024, October 2). Mengoptimalkan Pengelolaan Emisi melalui Pemantauan Kontinu dengan CEMS. CEMS.ID. <https://blog.cems.id/mengoptimalkan-pengelolaan-emisi-cems/>
- [13] Agung. (2024, July 24). CEMS 2000 Solusi Pemantauan Emisi Industri. TESTINDO.CO.ID. <https://testindo.co.id/cems-2000-solusi-pemantauan-emisi-industri/>
- [14] Mengelola Risiko Lingkungan dengan AQMS dan CEMS. <https://nocola.co.id/id/mengelola-risiko-lingkungan-aqms-cems-nocola/>

Biodata



Nama : Nova Diharmi
TTL : Tanjung Pinang, 28 November 2000
Agama : Islam
Alamat : Jorong Mancuang, Kelurahan Padang Tarok, Kec. Baso, Kab. Agam, Prov. Sumatera Barat
Email : novadiharmi@gmail.com
Riwayat Pendidikan : SMK : SMKN 1 BASO
SMP : SMPN 3 BASO

Lampiran

Lampiran A

| No | Datetime | Measured | Corrective |
|----|---------------------|----------|------------|
| 1 | 2024-11-05 00:00:00 | 0,61 | 0,4 |
| 2 | 2024-11-05 01:00:00 | 0,02 | 0,01 |
| 3 | 2024-11-05 02:00:00 | 0,03 | 0,02 |
| 4 | 2024-11-05 03:00:00 | 0,24 | 0,16 |
| 5 | 2024-11-05 04:00:00 | 0,3 | 0,2 |
| 6 | 2024-11-05 05:00:00 | 1 | 0,66 |
| 7 | 2024-11-05 06:00:00 | 1,44 | 0,96 |
| 8 | 2024-11-05 07:00:00 | 2,71 | 1,81 |
| 9 | 2024-11-05 08:00:00 | 1,94 | 1,29 |
| 10 | 2024-11-05 09:00:00 | 0,15 | 0,1 |
| 11 | 2024-11-05 10:00:00 | 0,06 | 0,04 |
| 12 | 2024-11-05 11:00:00 | 0,12 | 0,08 |
| 13 | 2024-11-05 12:00:00 | 0,46 | 0,31 |
| 14 | 2024-11-05 13:00:00 | 0,87 | 0,58 |
| 15 | 2024-11-05 14:00:00 | 0,83 | 0,55 |
| 16 | 2024-11-05 15:00:00 | 1,11 | 0,74 |
| 17 | 2024-11-05 16:00:00 | 0,59 | 0,39 |
| 18 | 2024-11-05 17:00:00 | 0,93 | 0,62 |
| 19 | 2024-11-05 18:00:00 | 1,27 | 0,84 |
| 20 | 2024-11-05 19:00:00 | 0,79 | 0,53 |
| 21 | 2024-11-05 20:00:00 | 1,43 | 0,95 |
| 22 | 2024-11-05 21:00:00 | 2,1 | 1,4 |
| 23 | 2024-11-05 22:00:00 | 2,46 | 1,64 |
| 24 | 2024-11-05 23:00:00 | 3 | 2 |
| 25 | 2024-11-06 00:00:00 | 2,36 | 1,58 |
| 26 | 2024-11-06 01:00:00 | 2,31 | 1,54 |
| 27 | 2024-11-06 02:00:00 | 3,27 | 2,18 |
| 28 | 2024-11-06 03:00:00 | 3,62 | 2,41 |
| 29 | 2024-11-06 04:00:00 | 3,94 | 2,62 |

| | | | |
|----|---------------------|------|------|
| 30 | 2024-11-06 05:00:00 | 4,16 | 2,77 |
| 31 | 2024-11-06 06:00:00 | 4,62 | 3,08 |
| 32 | 2024-11-06 07:00:00 | 4,91 | 3,28 |
| 33 | 2024-11-06 08:00:00 | 3,45 | 2,3 |
| 34 | 2024-11-06 09:00:00 | 1,71 | 1,14 |
| 35 | 2024-11-06 10:00:00 | 2,22 | 1,48 |
| 36 | 2024-11-06 11:00:00 | 1,21 | 0,81 |
| 37 | 2024-11-06 12:00:00 | 0,5 | 0,33 |
| 38 | 2024-11-06 13:00:00 | 0,52 | 0,35 |
| 39 | 2024-11-06 14:00:00 | 0,52 | 0,35 |
| 40 | 2024-11-06 15:00:00 | 1 | 0,67 |
| 41 | 2024-11-06 16:00:00 | 0,94 | 0,62 |
| 42 | 2024-11-06 17:00:00 | 1,32 | 0,88 |
| 43 | 2024-11-06 18:00:00 | 1,55 | 1,03 |
| 44 | 2024-11-06 19:00:00 | 1,03 | 0,69 |
| 45 | 2024-11-06 20:00:00 | 1,27 | 0,85 |
| 46 | 2024-11-06 21:00:00 | 1,2 | 0,8 |
| 47 | 2024-11-06 22:00:00 | 1,01 | 0,68 |
| 48 | 2024-11-06 23:00:00 | 1,67 | 1,11 |
| 49 | 2024-11-07 00:00:00 | 2,32 | 1,55 |
| 50 | 2024-11-07 01:00:00 | 2,41 | 1,61 |
| 51 | 2024-11-07 02:00:00 | 3,18 | 2,12 |
| 52 | 2024-11-07 03:00:00 | 2,75 | 1,83 |
| 53 | 2024-11-07 04:00:00 | 2,84 | 1,89 |
| 54 | 2024-11-07 05:00:00 | 3 | 2 |
| 55 | 2024-11-07 06:00:00 | 3,09 | 2,06 |
| 56 | 2024-11-07 07:00:00 | 3,36 | 2,24 |
| 57 | 2024-11-07 08:00:00 | 2,34 | 1,56 |
| 58 | 2024-11-07 09:00:00 | 0,72 | 0,48 |
| 59 | 2024-11-07 10:00:00 | 1,39 | 0,93 |
| 60 | 2024-11-07 11:00:00 | 0,26 | 0,17 |
| 61 | 2024-11-07 12:00:00 | 0,46 | 0,31 |
| 62 | 2024-11-07 13:00:00 | 1,01 | 0,67 |

| | | | |
|----|---------------------|------|------|
| 63 | 2024-11-07 14:00:00 | 1,74 | 1,16 |
| 64 | 2024-11-07 15:00:00 | 2,36 | 1,57 |
| 65 | 2024-11-07 16:00:00 | 1,84 | 1,23 |
| 66 | 2024-11-07 17:00:00 | 1,81 | 1,21 |
| 67 | 2024-11-07 18:00:00 | 2,24 | 1,49 |
| 68 | 2024-11-07 19:00:00 | 1,5 | 1 |
| 69 | 2024-11-07 20:00:00 | 1,54 | 1,03 |
| 70 | 2024-11-07 21:00:00 | 1,35 | 0,9 |
| 71 | 2024-11-07 22:00:00 | 2 | 1,34 |
| 72 | 2024-11-07 23:00:00 | 2,29 | 1,53 |
| 73 | 2024-11-08 00:00:00 | 1,57 | 1,05 |
| 74 | 2024-11-08 01:00:00 | 0,56 | 0,37 |
| 75 | 2024-11-08 02:00:00 | 1,79 | 1,19 |
| 76 | 2024-11-08 03:00:00 | 1,29 | 0,86 |
| 77 | 2024-11-08 04:00:00 | 1,96 | 1,3 |
| 78 | 2024-11-08 05:00:00 | 2,88 | 1,92 |
| 79 | 2024-11-08 06:00:00 | 2,94 | 1,96 |
| 80 | 2024-11-08 07:00:00 | 3,17 | 2,11 |
| 81 | 2024-11-08 08:00:00 | 2,14 | 1,43 |
| 82 | 2024-11-08 09:00:00 | 0,29 | 0,19 |
| 83 | 2024-11-08 10:00:00 | 0,4 | 0,26 |
| 84 | 2024-11-08 11:00:00 | 0 | 0 |
| 85 | 2024-11-08 12:00:00 | 0 | 0 |
| 86 | 2024-11-08 13:00:00 | 0,13 | 0,09 |
| 87 | 2024-11-08 14:00:00 | 0,4 | 0,26 |
| 88 | 2024-11-08 15:00:00 | 0,2 | 0,13 |
| 89 | 2024-11-08 16:00:00 | 1,58 | 1,05 |
| 90 | 2024-11-08 17:00:00 | 3,41 | 2,28 |
| 91 | 2024-11-08 18:00:00 | 4,37 | 2,92 |
| 92 | 2024-11-08 19:00:00 | 3,38 | 2,25 |
| 93 | 2024-11-08 20:00:00 | 3,63 | 2,42 |
| 94 | 2024-11-08 21:00:00 | 3,92 | 2,61 |
| 95 | 2024-11-08 22:00:00 | 4,22 | 2,81 |

| | | | |
|-----|---------------------|------|------|
| 96 | 2024-11-08 23:00:00 | 4,44 | 2,96 |
| 97 | 2024-11-09 00:00:00 | 4,06 | 2,71 |
| 98 | 2024-11-09 01:00:00 | 4,5 | 3 |
| 99 | 2024-11-09 02:00:00 | 6,28 | 4,19 |
| 100 | 2024-11-09 03:00:00 | 6,15 | 4,1 |
| 101 | 2024-11-09 04:00:00 | 6,56 | 4,37 |
| 102 | 2024-11-09 05:00:00 | 7,46 | 4,97 |
| 103 | 2024-11-09 06:00:00 | 8 | 5,34 |
| 104 | 2024-11-09 07:00:00 | 8,01 | 5,34 |
| 105 | 2024-11-09 08:00:00 | 7,12 | 4,75 |
| 106 | 2024-11-09 09:00:00 | 6,22 | 4,14 |
| 107 | 2024-11-09 10:00:00 | 7,33 | 4,88 |
| 108 | 2024-11-09 11:00:00 | 6,17 | 4,11 |
| 109 | 2024-11-09 12:00:00 | 5,64 | 3,76 |
| 110 | 2024-11-09 13:00:00 | 6,15 | 4,1 |
| 111 | 2024-11-09 14:00:00 | 6,05 | 4,03 |
| 112 | 2024-11-09 15:00:00 | 4,79 | 3,19 |
| 113 | 2024-11-09 16:00:00 | 4,79 | 3,19 |
| 114 | 2024-11-09 17:00:00 | 5,15 | 3,44 |
| 115 | 2024-11-09 18:00:00 | 6,99 | 4,66 |
| 116 | 2024-11-09 19:00:00 | 6,33 | 4,22 |
| 117 | 2024-11-09 20:00:00 | 7,35 | 4,9 |
| 118 | 2024-11-09 21:00:00 | 7,27 | 4,85 |
| 119 | 2024-11-09 22:00:00 | 6,95 | 4,63 |
| 120 | 2024-11-09 23:00:00 | 7,25 | 4,84 |
| 121 | 2024-11-10 00:00:00 | 6,29 | 4,2 |
| 122 | 2024-11-10 01:00:00 | 5,74 | 3,83 |
| 123 | 2024-11-10 02:00:00 | 7,35 | 4,9 |
| 124 | 2024-11-10 03:00:00 | 6,99 | 4,66 |
| 125 | 2024-11-10 04:00:00 | 7,65 | 5,1 |
| 126 | 2024-11-10 05:00:00 | 7,58 | 5,05 |
| 127 | 2024-11-10 06:00:00 | 8,14 | 5,43 |
| 128 | 2024-11-10 07:00:00 | 8,38 | 5,59 |

| | | | |
|-----|---------------------|------|------|
| 129 | 2024-11-10 08:00:00 | 6,41 | 4,27 |
| 130 | 2024-11-10 09:00:00 | 4,52 | 3,01 |
| 131 | 2024-11-10 10:00:00 | 5,45 | 3,63 |
| 132 | 2024-11-10 11:00:00 | 3,6 | 2,4 |
| 133 | 2024-11-10 12:00:00 | 3,69 | 2,46 |
| 134 | 2024-11-10 13:00:00 | 3,92 | 2,61 |
| 135 | 2024-11-10 14:00:00 | 3,26 | 2,17 |
| 136 | 2024-11-10 15:00:00 | 2,96 | 1,97 |
| 137 | 2024-11-10 16:00:00 | 3,15 | 2,1 |
| 138 | 2024-11-10 17:00:00 | 3,27 | 2,18 |
| 139 | 2024-11-10 18:00:00 | 4,31 | 2,87 |
| 140 | 2024-11-10 19:00:00 | 3,62 | 2,42 |
| 141 | 2024-11-10 20:00:00 | 3,58 | 2,39 |
| 142 | 2024-11-10 21:00:00 | 3,88 | 2,59 |
| 143 | 2024-11-10 22:00:00 | 3,77 | 2,52 |
| 144 | 2024-11-10 23:00:00 | 3,55 | 2,37 |
| 145 | 2024-11-11 00:00:00 | 3,87 | 2,58 |
| 146 | 2024-11-11 01:00:00 | 4,01 | 2,68 |
| 147 | 2024-11-11 02:00:00 | 5,63 | 3,75 |
| 148 | 2024-11-11 03:00:00 | 5,5 | 3,67 |
| 149 | 2024-11-11 04:00:00 | 5,5 | 3,67 |
| 150 | 2024-11-11 05:00:00 | 5,91 | 3,94 |
| 151 | 2024-11-11 06:00:00 | 5,89 | 3,93 |
| 152 | 2024-11-11 07:00:00 | 5,88 | 3,92 |
| 153 | 2024-11-11 08:00:00 | 4,81 | 3,21 |
| 154 | 2024-11-11 09:00:00 | 3,38 | 2,25 |
| 155 | 2024-11-11 10:00:00 | 4,11 | 2,74 |
| 156 | 2024-11-11 11:00:00 | 2,92 | 1,94 |
| 157 | 2024-11-11 12:00:00 | 2,72 | 1,81 |
| 158 | 2024-11-11 13:00:00 | 2,16 | 1,44 |
| 159 | 2024-11-11 14:00:00 | 1,94 | 1,29 |
| 160 | 2024-11-11 15:00:00 | 2,42 | 1,61 |
| 161 | 2024-11-11 16:00:00 | 2,17 | 1,44 |

| | | | |
|-----|---------------------|------|------|
| 162 | 2024-11-11 17:00:00 | 2,94 | 1,96 |
| 163 | 2024-11-11 18:00:00 | 3,76 | 2,51 |
| 164 | 2024-11-11 19:00:00 | 3,18 | 2,12 |
| 165 | 2024-11-11 20:00:00 | 3,04 | 2,03 |
| 166 | 2024-11-11 21:00:00 | 2,89 | 1,93 |
| 167 | 2024-11-11 22:00:00 | 2,89 | 1,93 |
| 168 | 2024-11-11 23:00:00 | 3,13 | 2,09 |