

Analisis Nilai SO₂ dan NO₂ Cerobong Emisi pada Industri Peleburan Baja Kabupaten Bekasi

Woro Wur Daningsih^{*1}, Roy Wangitan², Laila Febrina³

^{1,2}Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Sahid Jakarta, Jakarta, Indonesia

e-mail: ^{*1}worowdani@gmail.com, ²wangitan_roy@yahoo.co.id, ³laila_febrina@gmail.com

Abstract

PT X operates in the steel smelting and rolling industry (Furnace & Steel Rolling). The purpose of this study is to examine the steel smelting production process at PT X that has the potential to generate emissions, to identify PT X's emission control processes, to assess the measurement results of particulate, opacity, SO₂, and NO₂ parameters from steel smelting, and to analyze whether PT X's emissions comply with the emission quality standards. Steel smelting activities are a major source of NO_x, SO_x, and particulate formation. The use of raw materials such as pig iron, cast iron, and hot briquetted iron, which contain sulfur levels ranging from 0.05–0.15%, serves as the main source of SO_x emissions. The injection of pure nitrogen and pure oxygen into the electric arc furnace contributes to NO_x emissions. The results of stack gas emission testing at PT X showed maximum levels of 47 mg/m³ for particulates, <20% for opacity, 76 mg/m³ for SO₂, and 11.49 mg/m³ for NO₂ during the period from the second quarter of 2024 to the first quarter of 2025.

Keywords : *Electric Arc Furnace, NO₂, SO₂, Steelmaking*

Abstrak

PT X bergerak dibidang industri peleburan dan penggilingan baja (*Furnace & Steel Rolling*). Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui proses produksi peleburan baja PT X yang berpotensi mengeluarkan emisi, mengetahui proses pengendalian emisi PT X, mengetahui hasil nilai parameter partikulat, opasitas, SO₂ dan NO₂ peleburan baja dan menganalisis emisi PT X telah memenuhi baku mutu emisi atau

belum. Kegiatan peleburan baja merupakan sumber utama pembentukan NO_x, SO_x dan partikulat. Pemakaian bahan baku *pig iron*, *cast iron* dan *hot briquetted iron* memiliki kandungan sulfur 0.05 – 0.15% merupakan sumber emisi SO_x. Kegiatan injeksi nitrogen murni dan oksigen murni pada tanur busur listrik merupakan sumber emisi NO_x. Hasil pengujian gas emisi cerobong peleburan PT X pada parameter partikulat tertinggi sebesar 47 mg/m³, untuk opasitas tertinggi di <20%, untuk SO₂ tertinggi sebesar 76 mg/m³ dan untuk NO₂ tertinggi sebesar 11,49 mg/m³ selama periode triwulan 2 tahun 2024 hingga triwulan 1 tahun 2025.

Kata Kunci: *Electric Arc Furnace, NO₂, SO₂, Steelmaking*

PENDAHULUAN

Industri manufaktur peleburan baja sudah banyak tersebar di Indonesia. Mesin yang digunakan dalam kegiatan manufaktur peleburan baja diantaranya tanur busur listrik (*electric arc furnace*), tanur oksigen basa (*basic oxygen furnace*), dan tanur sembur (*blast furnace*). Tiga tanur tersebut ada yang bisa dioperasikan menggunakan bahan bakar batu bara ada pula yang bisa dioperasikan dengan listrik. Industri ini juga menggunakan bahan baku seperti bijih besi, batubara dan scrap yang memiliki kandungan sulfur 0,5-2%.

Dalam proses meleburkan besi dan baja dari fase padat ke fase cair dibutuhkan suhu diatas 1.300°C hal ini dikarenakan titik leleh dari baja pada 1.370°C-1.530°C. Pada proses pembakaran dengan suhu diatas 1.300°C akan menimbulkan emisi udara seperti SO₂ dan NO₂, maka perlu

adanya teknologi pengendalian pencemaran udara yang tepat guna sehingga emisi udara yang keluar dari proses peleburan baja dapat dikendalikan dan tidak mencemari udara.

Gas *nitrogen dioksida* (NO_2) merupakan polutan udara ambien bersama unsur *nitrogen monoksida* (NO) yang biasanya dihasilkan dari kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar mesin kendaraan, pembakaran sampah, pembakaran batu bara dan industri (Saidal Siburian & Mar, 2020). Karakteristik gas ini memiliki bau tajam dan berwarna coklat dimana dampaknya terhadap kesehatan terutama adalah penurunan fungsi paru, menyebabkan sesak napas, bahkan berujung pada kematian (Suwanto & Kusuma, 2023). *Sulfur dioksida* (SO_2) adalah komponen pencemar udara dengan jumlah paling banyak. Gas ini memiliki karakteristik tidak berwarna dan berbau tajam, apabila bereaksi dengan uap air di udara akan menjadi H_2SO_4 atau dikenal sebagai hujan asam yang dapat menimbulkan kerusakan baik material, benda, maupun tanaman (Juliadita et al., 2022).

Dampak negatif dari bahan pencemar tersebut pada manusia ialah iritasi saluran pernapasan dan penurunan fungsi paru dengan gejala batuk, sesak napas, dan meningkatkan penyakit asma (Sugiarto et al., 2019). Kedua polutan tersebut merupakan indikator terpenting dalam menilai tingkat tercemarnya udara ambien untuk itu apabila ada industri yang mengeluarkan polutan tersebut melebihi baku mutu lingkungan yang diperbolehkan akan sangat berdampak pada udara ambien di lingkungan (Radin Mohamed et al., 2016).

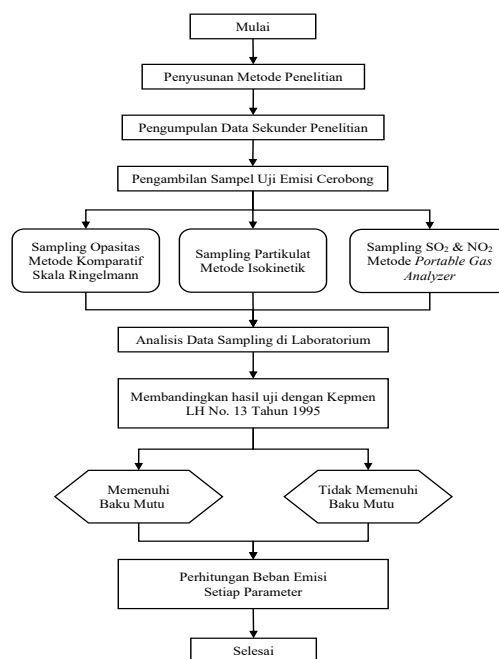
Kegiatan industri peleburan baja di Kabupaten Bekasi yang dilakukan oleh PT X, merupakan lini bisnis baru yang pembangunannya dilakukan dari tahun 2015-2016. Kegiatan ini sudah memproses Dokumen Lingkungan di tahun 2014-2015 dan Izin Lingkungan lini tersebut terbit di tahun 2015. PT X kemudian melakukan ekspansi kembali di tahun 2018 untuk lini bisnis baru yang izin lingkungannya terbit di tahun 2020. Dalam dokumen Addendum Amdal PT X di tahun 2020, PT X berkewajiban memantau emisi cerobong dengan 4 parameter diantaranya opasitas, partikulat, NO_2 dan SO_2 dengan baku mutu emisi sumber tidak bergerak pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 1995.

Sejak melakukan operasional kegiatan peleburan baja pada tahun 2016 sampai saat ini belum adanya kajian lain selain Amdal yang membahas mengenai proses produksi dan proses pengendalian pencemaran udara secara detail yang telah dilakukan di PT X. Banyaknya persepsi negatif yang muncul dikalangan masyarakat terkait pencemaran udara oleh PT X yang belum bisa dipastikan secara legal. Berdasarkan latar belakang tersebut maka penulis ingin menganalisa lebih lanjut terkait proses produksi, proses pengendalian pencemaran udara dan nilai konsentrasi parameter opasitas, partikulat, NO_2 dan SO_2 pada emisi sumber tidak bergerak di PT X.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian deskriptif kuantitatif yang diambil adalah data primer dan data sekunder yang bertujuan untuk mengetahui proses produksi, pengendalian emisi dan kualitas emisi sumber tidak bergerak di PT X selama tahun 2024-2025 dilakukan 4 kali pengujian kualitas emisi sumber tidak bergerak. Lokasi penelitian dilakukan di lokasi peleburan baja milik PT X dengan 1 cerobong pantau.

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Penelitian
Variabel yang diamati dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a) Variabel baku mutu, penelitian ini variabel baku mutu yang dipilih yaitu baku mutu lingkungan terkait emisi cerobong industri besi baja di Indonesia menggunakan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 1995 Lampiran IB.
- b) Variabel parameter yang dipilih dalam penelitian ini yaitu: nilai konsentrasi parameter SO₂, parameter NO₂, parameter partikulat dan opasitas.

Kegiatan pengumpulan data pada penelitian ini dengan cara tinjauan lapangan terhadap proses produksi yang berjalan di PT X, mengumpulkan data terkait kapasitas produksi, penggunaan bahan bakar produksi, penggunaan bahan baku/bahan penolong produksi, waktu operasional produksi dan alur proses pengendalian pencemaran udara di PT X. Pengumpulan data juga dilakukan dalam pengambilan sampel variabel parameter selama 1 tahun dengan jarak waktu 3 bulan sekali, melakukan kerja sama dengan Laboratorium yang bersertifikasi KAN dan teregistrasi KLH.

Analisis terhadap data yang dikumpulkan sebagai berikut:

- a) Analisis data secara deskriptif terhadap prosedur proses produksi peleburan baja di PT X, proses pengendalian emisi gas buang PT X,
- b) Analisis penentuan partikulat menggunakan metode isokinetik, metode penentuan opasitas menggunakan metode komparatif warna asap yang paling sesuai dengan warna pada skala *Ringelmann*, sedangkan metode untuk penentuan SO₂ dan NO₂ menggunakan metode *gas analyzer*.

Analisis data dengan metode komparatif antara hasil konsentrasi SO₂ dan NO₂ dari sertifikat hasil uji dengan baku mutu emisi di Indonesia dan internasional dengan menyajikan data dalam tabel/grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Peleburan Baja Penghasil Emisi

Proses peleburan baja di PT X yang merupakan penghasil emisi terbesar yaitu tanur busur listrik (*electric arc furnace*). Proses peleburan baja di PT X menggunakan mesin tanur *Electric Arc Furnace* (EAF) berkapasitas 120 ton per *heat* (*batch*) dan menggunakan

Analisis Nilai SO₂ dan NO₂ Cerobong Emisi...

tenaga listrik serta *natural gas*. Waktu yang dibutuhkan proses peleburan dalam 1 *heat* selama 60-70 menit dengan suhu 1.620°C-1.680°C. Peleburan baja di PT X menggunakan bahan baku berupa *scrap*, *cast iron*, *pig iron*, besi briket panas (*hot briquetted iron* /HBI), *carbon charger* dan *carbon raiser*. Sedangkan untuk bahan penolong pada proses tanur busur listrik di PT X menggunakan batu kapur, dolomit, MgO *ball*, gas oksigen dan gas nitrogen.

Setelah dilakukan identifikasi lebih lanjut terhadap pemakaian bahan baku dan penolong di tungku *electric arc furnace* ditemukan bahan baku yang memiliki kandungan sulfur 0.05 – 0.15% yaitu *pig iron*, *cast iron* dan HBI (Tisdale et al., 2021). Pembuatan *pig iron*, *cast iron* dan HBI berasal dari kegiatan *ironmaking* yang menggunakan tanur *blast furnace*. Bahan dasar pembuatan *pig iron*, *cast iron* dan HBI berasal dari biji besi, batubara dan batu kapur yang dilebur di *blast furnace* kemudian dicetak sesuai dengan bentuk standar. Penambahan batu bara pada pembuatan *pig iron*, *cast iron* dan HBI bertujuan untuk meningkatkan nilai karbon pada produk hal ini dibutuhkan untuk produk baja karbon tinggi yang memiliki sifat kekerasan, kekuatan, dan ketahanan ausnya yang tinggi. Produk baja seperti ini banyak digunakan sebagai produk baja konstruksi.

Kegiatan peleburan baja merupakan sumber utama pembentukan NO_x, yang mana kegiatan ini menggunakan suhu yang tinggi untuk mengubah fasa padat menjadi fasa cair dari material baja. Kegiatan injeksi nitrogen murni pada tungku EAF untuk membantu *slag foaming* merupakan sumber terbesar timbulnya NO_x pada peleburan baja, terlebih lagi peninjeksian nitrogen dan oksigen dilakukan di waktu yang bersamaan namun dengan tekanan yang berbeda. Pada penelitian yang dilakukan (Purba, 2024) dihasilkan bahwa suhu yang optimal untuk baja *high carbon* antara 1585°C -1595°C tergantung pada kandungan *carbon* dan *liquid temperature* pada tiap *grade* nya. di Hal ini juga didukung dengan penelitian yang dilakukan (Gunawan, 2022) menyampaikan proses *tapping* atau penuangan cairan baja ke *ladle* dilakukan saat temperatur sudah di atas 1600°C. Kegiatan pembakaran terdapat 3 peluang munculnya NO_x yaitu NO_x yang muncul karena kondisi termal, NO_x yang

muncul dari bahan bakar dan NO_x yang muncul saat zona nyala (Sunarno et al., 2021). Untuk kegiatan peleburan di PT X yang menggunakan suhu 1620°C-1680°C menimbulkan emisi NO_x pada kondisi termal tersebut.

Penanganan emisi di PT X menggunakan *bag house filter* sebagai pengendali pencemaran udara dari proses peleburan baja. Setelah dilakukan analisis lebih lanjut terkait pendekatan teknologi dan pendekatan proses, ditemukannya penginjeksian batu kapur secara langsung saat proses peleburan. Injeksi batu kapur ke tungku adalah teknologi yang paling sederhana dimana batu kapur kering diinjeksikan ke bagian atas dari tungku agar bereaksi dengan SO₂ dalam gas hasil pembakaran (Nugrainy et al., 2015). Proses ini disebut LIMB (*Limestone Injection Multistage Burner*) yang diperkenalkan oleh Babcock & Wilcox dari USA, namun tidak ada daur ulang material dari alat kontrol partikulat (*electrostatic precipitator/bag filter*) dan system peleburan PT X menggunakan teknologi *low NO_x burner*.

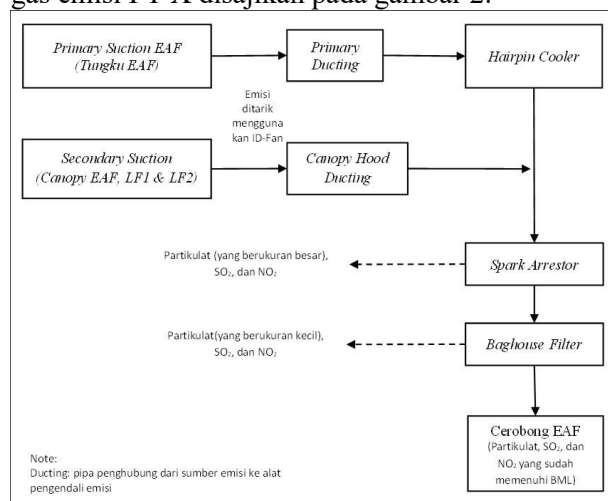
Proses Pengendalian Emisi PT X

Dalam pengendalian gas emisi PT X, membagi 2 alur proses penanganan emisi yaitu *primary suction* untuk pengendalian gas emisi dari dalam tungku EAF dan *secondary suction* untuk pengendalian gas emisi dari ruang produksi. Pada dasarnya sumber emisi dari dalam tungku dan dari dalam ruang produksi memiliki perbedaan pada suhu emisi dan ukuran partikulat yang dihasilkan. Pada suhu yang bersumber dari *primary suction* (saluran *off-gas*) berkisar 250°C-1.650°C tergantung dari proses yang sedang berlangsung ditungku EAF, sedangkan pada suhu dari *secondary suction* hanya berkisar 100-150°C. Adapun ukuran partikulat dari *primary suction* lebih besar dibandingkan dari saluran *secondary suction* (Fifianah & Amalia, 2024).

Perbedaan pada karakteristik gas emisi tersebut mempertimbangkan perbedaan teknologi yang digunakan untuk pengendalian gas emisi. Pabrik *dedusting* EAF terdiri dari saluran gas panas berpendingin air yang mengumpulkan *off-gas* melalui tungku EAF (*primary dedusting*) dan sistem *dedusting* tudung kanopi (*secondary dedusting*).

Kegiatan pengolahan emisi ini serarah dengan kegiatan pengolahan emisi yang ada di PT X yang mana telah menyediakan 2 jalur perpipaan *primary dedusting* dan *secondary dedusting* (kegiatan ini merupakan upaya dalam menangkap seluruh emisi yang dihasilkan dari kegiatan peleburan baja di PT X). mendinginkan gas emisi, memisahkan debu yang berukuran besar dan menyaring debu yang berukuran kecil dengan filter kain pada *bag house*.

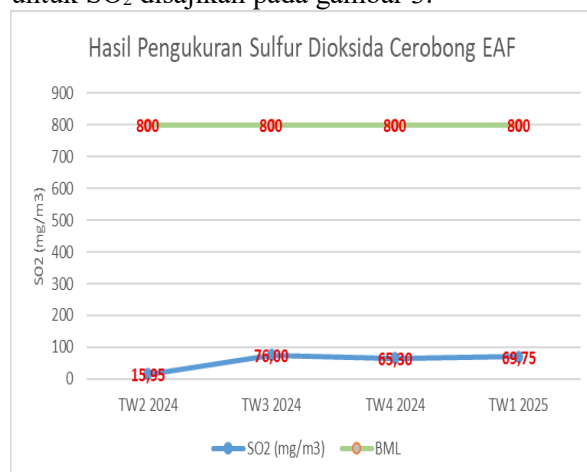
Adapun diagram alir proses pengendalian gas emisi PT X disajikan pada gambar 2.



Gambar 2 Proses Pengendalian Emisi Peleburan Baja PT X

Hasil Pengujian Emisi Cerobong

Adapun tren hasil koreksi konsentrasi untuk SO₂ disajikan pada gambar 3.

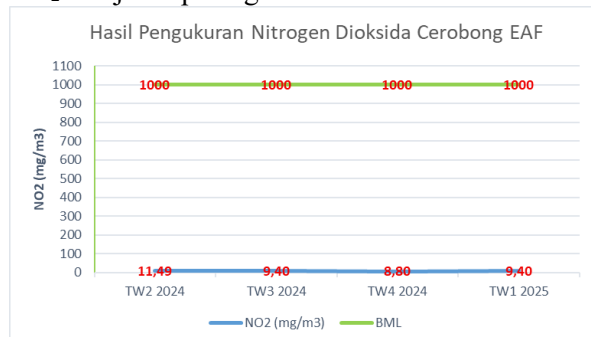


Gambar 3 Hasil Pengukuran SO₂ Cerobong EAF PT X

Berdasarkan tren grafik pada gambar 3 cerobong EAF diketahui menghasilkan emisi SO₂ yang berbeda pada setiap periode yang berbeda. Apabila dibandingkan dengan baku mutu pada

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 1995 hasil pengukuran untuk parameter tersebut masih memenuhi atau masih dibawah angka baku mutu yang ada.

Adapun tren hasil koreksi konsentrasi untuk NO₂ disajikan pada gambar 4.

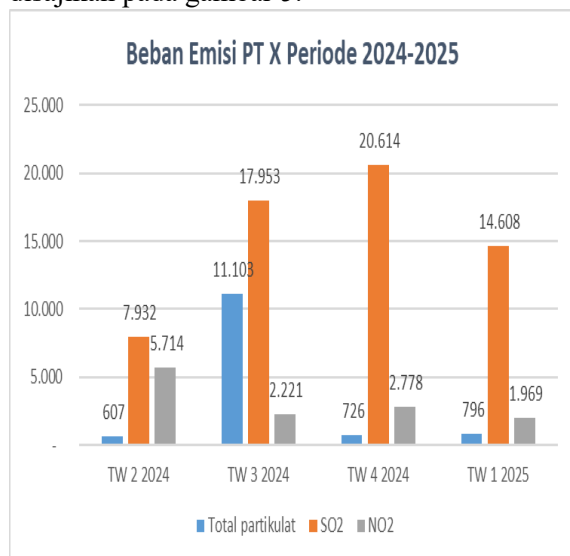


Gambar 4 Hasil Pengukuran NO₂ Cerobong EAF PT X

Berdasarkan tren grafik pada gambar 4, cerobong EAF diketahui menghasilkan emisi NO₂ yang tergolong serupa pada setiap periode pengambilan sampel yaitu dibawah 12 mg/m³. Apabila dibandingkan dengan baku mutu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 1995 hasil pengukuran untuk parameter tersebut masih memenuhi atau masih dibawah angka baku mutu yang ada.

Beban Emisi Cerobong EAF PT X

Adapun hasil beban emisi cerobong PT X disajikan pada gambar 5.



Gambar 5 Grafik Beban Emisi Setiap Parameter PT X Per Triwulan

Beban emisi dari proses perhitungan pengujian manual menggunakan persamaan (7) dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 2014 memiliki 3 aspek yang

Analisis Nilai SO₂ dan NO₂ Cerobong Emisi...

berpengaruh terhadap beban emisi yaitu jam operasional, laju alir dan konsentrasi parameter, ketiga aspek ini saling mempengaruhi satu sama lain. Dari analisa jam operasional tertinggi terjadi di triwulan 4 tahun 2024 sebesar 388 jam dan jam operasional terendah terjadi di triwulan 1 tahun 2025 sebesar 192 jam. Dari analisa laju alir tertinggi terjadi di triwulan 2 tahun 2024 sebesar 429 m³/s dan jam operasional terendah terjadi di triwulan 3 tahun 2024 sebesar 207 m³/s.

Dari analisa parameter partikulat tertinggi terjadi di triwulan 3 tahun 2024 sebesar 47 mg/m³ dan parameter partikulat terendah terjadi di triwulan 2 tahun 2024 sebesar 1,22 mg/m³, dengan perbedaan nilai partikulat pada setiap triwulan berkisar 43,2 - 45,78 mg/m³. Dari analisa parameter SO₂ tertinggi terjadi di triwulan 3 tahun 2024 sebesar 76 mg/m³ dan parameter SO₂ terendah terjadi di triwulan 2 tahun 2024 sebesar 15,95 mg/m³, dengan perbedaan nilai SO₂ dengan perbedaan nilai pada setiap parameter berkisar 6,25–60,05 mg/m³. Dari analisa parameter NO₂ tertinggi terjadi di triwulan 2 tahun 2024 sebesar 11,49 mg/m³ dan parameter NO₂ terendah terjadi di triwulan 4 tahun 2024 sebesar 8,8 mg/m³, dengan perbedaan nilai NO₂ dengan perbedaan nilai pada setiap parameter berkisar 2,09 - 2,69 mg/m³.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan, antara lain a) Proses produksi baja di PT X yang berpotensi menimbulkan emisi berasal dari proses peleburan yang menggunakan tanur *electric arc furnace*. Penggunaan bahan baku *pig iron*, *cast iron* dan HBI yang memiliki kandungan sulfur sebesar 0,01-0,15% merupakan sumber utama timbulnya SO₂ dan penggunaan injeksi oksigen dan nitrogen serta suhu pembakaran yang berkisar 1620°C-1680°C merupakan sumber utama timbulnya NO₂; b) Tahapan pengelolaan gas emisi dari proses peleburan baja di PT X diantaranya *primary deducting*, *secondary deducting*, *hairpin cooler*, *spark arrestor*, *bag house filter* dan cerobong. Tahapan tersebut memiliki prinsip kerja untuk mendinginkan gas emisi, pemisahan partikulat besar dan kecil, serta penyaringan partikulat kecil; c) Hasil pengujian gas emisi cerobong peleburan PT X

pada parameter partikulat tertinggi sebesar 47 mg/m³, untuk opasitas tertinggi di <20%, untuk SO₂ tertinggi sebesar 76 mg/m³ dan untuk NO₂ tertinggi sebesar 11,49 mg/m³ selama periode triwulan 2 tahun 2024 hingga triwulan 1 tahun 2025; d) Hasil pengujian gas emisi cerobong peleburan PT X telah memenuhi baku mutu emisi pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 1996 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak.

DAFTAR PUSTAKA

- Fifianah, M., & Amalia, A. (2024). Analisis Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi Gas SO₂ dan NO₂ dari Cerobong Ketel Pabrik Gula X. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 9(2), 70–76. <https://doi.org/10.33084/mitl.v9i2.7177>
- Gunawan, I. (2022). *Studi Kasus Analisa Penyebab Problem Breakout Pada Proses Casting Peleburan Baja Berbahan Baku Scrap Dengan Steel Grade SMNB3H-Di PT. X*. ITN MALANG.
- Juliadita, A. K., Khambali, K., Hermiyanti, P., & Myers, J. P. (2022). Risk Analysis of NO₂ and SO₂ Gas Exposure for Leather Tannery Workers Industry at Magetan. *International Journal of Advanced Health Science and Technology*, 2(5), 285–291. <https://doi.org/10.35882/ijahst.v2i5.117>
- Nugrainy, G. S., Sudarno, & Cahyadi. (2015). Upaya Penurunan Emisi So 2 Dari Bahan Bakar Batubara Kualitas Rendah (Tipe: Subbituminous) Dengan Campuran Batu Kapur (Limestone) Pada Proses Pembakaran. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(1), 1–12. www.scifun.org,
- Purba, Y. (2024). *Pengaruh Variasi Holding Time dan Carburizer Baja Karbon Rendah Proses Pack Carburizing Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Untuk Aplikasi Dodos*. Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Radin Mohamed, R. M. S., Rahim, A. F. H., & Mohd Kassim, A. H. (2016). A Monitoring of Air Pollutants (CO, SO₂ and NO) in Ambient Air Near an Industrial Area. *MATEC Web of Conferences*, 47, 0–5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20164705022>
- Saidal Siburian, M. M., & Mar, M. (2020). *Pencemaran Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca*. Kreasi Cendekia Pustaka.
- Sugiarto, S., Herawati, P., & Riyanti, A. (2019). Analisis Konsentrasi SO₂, NO₂ dan Partikulat pada Sumber Emisi Tidak Bergerak (Cerobong) Berbahan Bakar Batubara dan Cangkang (Studi Kasus di Kabupaten Muaro Jambi). *Jurnal Daur Lingkungan*, 2(1), 21. <https://doi.org/10.33087/daurling.v2i1.20>
- Sunarno, S., Purwanto, P., & Suryono, S. (2021). Trend Analysis of NO_x and SO₂ Emissions in Indonesia from the Period of 1990 -2015 using Data Analysis Tool. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 6(1), 257–263. <https://doi.org/10.25046/aj0601129>
- Suwanto, Y. E. P., & Kusuma, M. N. (2023). Analisa Partikulat Debu, SO Dan NO₂ Pada Industri Manufaktur Di Surabaya. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(3), 674–681. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v11i3.68558>
- Tisdale, D. G., Muinonen, S. J., Molinski, M. D., & Stokreef, A. G. (2021). A Novel Process to Reduce SO₂ Emissions During Electric Furnace Smelting of Sulphides. *Ni-Co 2021: The 5th International Symposium on Nickel and Cobalt*, 307–315.