

Analisa Kualitas Gas O₃ dan NH₃ dalam Udara Ambien di BSPJI Padang

Analysis of O₃ and NH₃ Gas Quality in Ambient Air at BSPJI Padang

Dola Dwi Putri¹, Minda Azhar^{2*}

^{1,2}Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Padang, 25173.

Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat.

*Corresponding Author: minda@fmipa.unp.ac.id

ABSTRAK : Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas udara ambien di lingkungan Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Padang dengan fokus pada dua parameter utama, yaitu ozon (O₃) dan amonia (NH₃). O₃ merupakan oksidan fotokimia yang dapat menyebabkan gangguan pernapasan dan iritasi mata, sementara NH₃ merupakan gas bersifat basa dengan bau menyengat yang dapat berdampak negatif pada kesehatan dan lingkungan. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode impinger, sedangkan analisis konsentrasi dilakukan secara kuantitatif menggunakan spektrofotometri UV-Vis dengan metode neutral buffer kalium iodida (NBKI) untuk O₃ dan metode indofenol untuk NH₃. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi O₃ pada dua titik pengambilan sampel masing-masing sebesar 49,070 µg/Nm³ dan 28,943 µg/Nm³, sementara konsentrasi NH₃ terdeteksi sebesar 3,070 µg/Nm³. Nilai-nilai tersebut berada di bawah ambang batas baku mutu udara ambien yang ditetapkan dalam PP No. 41 Tahun 1999 dan SNI 19-7119.1-2005, sehingga kualitas udara di lokasi penelitian masih tergolong aman dan belum tercemar secara signifikan oleh kedua parameter tersebut. Penelitian ini menegaskan pentingnya pemantauan rutin kualitas udara ambien sebagai langkah preventif dalam menjaga kesehatan masyarakat dan keberlanjutan lingkungan.

Kata kunci : Udara ambien, ozon, standar SNI

ABSTRACT: This study aims to analyze ambient air quality in the Padang Industrial Standardization and Services Center (BSPJI) environment with a focus on two main parameters, namely ozone (O₃) and ammonia (NH₃). O₃ is a photochemical oxidant that can cause respiratory problems and eye irritation, while NH₃ is a basic gas with a pungent odor that can have negative impacts on health and the environment. Sampling was carried out using the impinger method, while concentration analysis was carried out quantitatively using UV-Vis spectrophotometry with the neutral buffer potassium iodide (NBKI) method for O₃ and the indophenol method for NH₃. The measurement results showed that the O₃ concentration at the two sampling points was 49.070 µg/Nm³ and 28.943 µg/Nm³, respectively, while the NH₃ concentration was detected at 3.070 µg/Nm³. These values are below the ambient air quality standard threshold set by Government Regulation No. 41 of 1999 and SNI 19-7119.1-2005, indicating that air quality at the study site is still considered safe and has not been significantly polluted by these two parameters. This study emphasizes the importance of routine monitoring of ambient air quality as a preventive measure in maintaining public health and environmental sustainability.

Keywords: Ambient air, ozone, SNI standard

1. PENDAHULUAN

Udara adalah suatu campuran beberapa macam gas yang perbandingan-nya tidak konstan, tergantung pada

keadaan suhu udara, tekanan udara dan lingkungan sekitarnya. Udara yang ada di dalam atmosfer bumi memiliki fungsi yang sangat penting bagi kehidupan di bumi.

Dalam udara terdapat O₂ untuk bernafas hewan dan manusia, CO₂ untuk proses fotosintesis tumbuhan dengan bantuan sinar matahari dan O₃ sebagai penahan sinar ultraviolet dari matahari. Tanpa udara, kehidupan di bumi tidak dapat berlangsung sebagai mana mestinya (Beer *et al.*, 2010).

Gas-gas lain yang terdapat dalam udara antara lain gas-gas mulia, nitrogenoksida, hydrogen, metana, belerang dioksida, ammonia, dan lain-lain. Pada keadaan normal, sebagian besar udara terdiri dari oksigen dan nitrogen (90%). Tetapi aktifitas manusia dapat merubah komposisi kimia udara sehingga terjadi pertambahan jumlah spesies, ataupun meningkatkan konsentrasi zat-zat kimia yang sudah ada (Sun and Li, 2021).

Udara yang ada di sekitar kita dibedakan menjadi 2, yaitu udara emisi yang merupakan udara yang dikeluarkan oleh sumber emisi seperti knalpot kendaraan bermotor atau cerobong asap buangan industri, dan udara ambien yang merupakan udara bebas di permukaan bumi yang sehari-hari dihirup oleh makhluk hidup. Dengan cara membandingkan hasil pengukuran ke dalam Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU), pemantauan kualitas udara memiliki peranan yang sangat penting dalam menentukan tercemar atau tidaknya udara pada lokasi pengukuran. Agar didapatkan kualitas udara ambien yang baik, maka perlu dilakukan dengan memantau atau mengukur kualitas udara, baik udara

ambien ataupun udara emisi (Zhu *et al.*, 2021).

Udara ambien merupakan udara yang sehari-harinya terhirup oleh makhluk hidup dan merupakan udara bebas yang ada di permukaan bumi. Dalam upaya mendapatkan kualitas udara ambien yang baik dan berkualitas maka dibutuhkan upaya pengendalian pencemaran udara, seperti dengan melakukan pemantauan dan pengukuran kualitas udara sehari-hari. Pengukuran udara tersebut dapat dilakukan dengan memilih beberapa kawasan dalam suatu wilayah yang dapat digunakan sebagai sampel, yaitu kawasan perumahan, kawasan industri, kawasan perkantoran, dan kawasan padat lalu lintas (Kurniawati, Rahmawati and Wilandari, 2015).

Oksidan fotokimia adalah komponen atmosfer yang diproduksi oleh proses fotokimia, yaitu suatu proses yang membutuhkan sinar, yang akan mengoksidasi komponen-komponen yang tidak segera dapat dioksidasi oleh gas oksigen. Senyawa yang terbentuk merupakan polutan sekunder yang diproduksi karena interaksi antara polutan primer dengan sinar (Jeon *et al.*, 2021).

Oksidan fotokimia masuk ke dalam tubuh sebagai bagian dari udara dan pada konsentrasi subletal dapat mengganggu proses pernapasan dan iritasi mata. Oksidan dapat mengganggu integritas sel karena dapat bereaksi dengan komponen-komponen yang penting untuk mempertahankan kehidupan sel, baik

komponen-komponen fungsional (misalnya enzim-enzim dan DNA) (Nephew *et al.*, 2020).

Oksidan di udara meliputi ozon (lebih dari 90%), nitrogen dioksida, dan peroksiasetilnitrat (PAN). Karena sebagian besar oksidan adalah ozon, maka monitoring udara ambien dinyatakan sebagai kadar ozon. Pada lapisan troposfer terbentuknya O_3 akibat adanya reaksi fotokimia pada senyawa oksida nitrogen (NO_x) dengan bantuan sinar matahari. Konsentrasi ozon yang tinggi dapat menyebabkan gangguan pada sistem pernapasan, serangan jantung dan kematian. Sebaliknya, di lapisan stratosfer keberadaan ozon sangat dibutuhkan untuk 'menyelimuti' permukaan bumi dari radiasi sinar ultraviolet (Kim *et al.*, 2023).

Amoniak adalah salah satu indikator pencemar udara pada bentuk kebauan. Gas amoniak adalah gas yang tidak berwarna, memiliki bau yang menyengat. Biasanya, amoniak berasal dari aktifitas mikroba, industri amoniak, pengolahan limbah dan pengolahan batu bara. Gas amoniak memiliki waktu tinggal yang relatif pendek di atmosfer, karena diendapkan kembali ke permukaan tanah melalui proses deposisi kering (proses jatuhnya asam ke bumi melalui gas dan debu atau partikel akibat pengaruh gravitasi dan difusi atmosfer) atau bereaksi dengan cepat dengan polutan asam (André, Firman and Simmons, 2020).

Setelah dilepaskan ke atmosfer, amonia dikembalikan ke permukaan

sebagai amonia gas atau sebagai ion amonium. Ion amonium dapat diasosiasikan dengan nitrat, sulfat, atau beberapa anion lain dan dimasukkan ke dalam aerosol atau sebagai bagian dari campuran ionik yang ditemukan di awan dan tetesan hujan. Amoniak di atmosfer bereaksi dengan nitrat dan sulfat sehingga terbentuk garam amoniak yang sangat korosif. Gas ammonia di atmosfer akan menyebabkan terbentuknya aerosol anorganik sekunder senyawa ammonium, termasuk ammonium sulfat $((NH_4)_2SO_4)$, ammonium bisulfat (NH_4HSO_4) , dan ammonium nitrat (NH_4NO_3) (Katzman, Bohbot-Raviv and Dubowski, 2021).

Untuk gas amonia (NH_3), pengukuran kualitas udara ambien dilakukan dengan metode indofenol menggunakan spektrofotometer. Prinsip pengukuran kualitas udara untuk parameter amonia (NH_3) adalah amonia dari udara ambien yang telah dijerap oleh larutan penjerap asam sulfat, akan membentuk ammonium sulfat. Kemudian direaksikan dengan fenol dan natrium hipoklorit dalam suasana basa, akan membentuk senyawa kompleks indofenol yang berwarna biru. Intensitas warna biru yang terbentuk diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 630 nm (Wang *et al.*, 2023).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa larutan penjerap, larutan penyangga, fenol, natrium hipoklorit, amoniak, HCl, larutan iodat (I_2), natrium tiosulfat, kalium iodat (KIO_3), kalium iodide (KI) aquades. Alat yang digunakan berupa labu labu ukur, tabung impinger, pipet ukur, gelas kimia, neraca analitik, kaca arloji, spektrofotometer UV-Vis.

2.2 Prosedur

2.2.1 Pengambilan contoh uji (O_3)

Pengambilan contoh uji dilakukan dengan memasukkan larutan penjerap sebanyak 10 mL ke dalam botol penjerap dan menempatkannya di lokasi wilayah BSPJI Padang pada tempat yang terlindung dari sinar matahari langsung. Setelah itu, pompa penghisap udara dihidupkan dan laju alir diatur pada rentang 0,5 hingga 3 L/menit; setelah laju alir stabil, dicatat nilai awalnya dan dipantau sekurang-kurangnya setiap 10 menit. Pengambilan contoh uji dilakukan selama 30 menit sambil mencatat temperatur dan tekanan udara pada saat pengambilan. Setelah waktu pengambilan selesai, pompa penghisap dimatikan untuk mengakhiri proses.

2.2.3 Pembuatan larutan penjerap oksidan

Larutkan 10 g kalium iodide (KI) dalam 200 mL aquades. Pada tempat yang lain larutkan 35,82 g dinatrium hidrogen fosfat dodekahidrat ($Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$) dan 13,6 g kalium dihidrogen fosfat (KH_2PO_4)

dengan 500 mL aquades. Ditambahkan larutan kalium iodida ke dalam larutan penyangga sambil diaduk sampai homogen. Encerkan larutan ini sampai volume 1.000 mL dalam labu ukur dan diamkan.

2.2.4 Pembuatan kurva kalibrasi

Menyiapkan tabung uji 10 mL dan pipet larutan standar iod sebanyak 0,5 mL, 1,0 mL, 1,5 mL, 2,0 mL, dan 3,0 mL ke dalam masing-masing tabung uji. Setelah itu, ditambahkan larutan penjerap ke setiap tabung hingga mencapai volume total 10 mL, lalu homogenkan. Selanjutnya ukur menggunakan spektrofotometer.

2.2.5 Pengujian contoh uji O_3

Dalam jangka waktu 30 hingga 60 menit setelah pengambilan contoh uji, larutan dimasukkan ke dalam kuvet spektrofotometer untuk mengukur intensitas warna kuning yang terbentuk.

2.2.6 Pembuatan larutan penjerap NH_3

Memasukkan 3 mL H_2SO_4 97% ke dalam labu ukur 1000 mL yang telah berisi lebih kurang 200 mL aquades dingin. Larutan diencerkan hingga tanda batas lalu homogenkan.

2.2.7 Pengambilan contoh uji NH_3

Pengambilan contoh uji dilakukan dengan memasukkan larutan penjerap sebanyak 10 mL ke dalam botol penjerap dan menempatkannya di lokasi wilayah BSPJI Padang pada tempat yang

terlindung dari sinar matahari langsung. Setelah itu, pompa penghisap udara dihidupkan dan laju alir diatur pada kisaran 1 hingga 2 L/menit; setelah laju alir stabil, dicatat laju alir awal dan dipantau secara berkala minimal setiap 10 menit. Pengambilan contoh uji dilakukan selama 1 jam, sambil mencatat temperatur dan tekanan udara. Setelah 1 jam, dicatat laju alir dan pompa penghisap dimatikan untuk mengakhiri proses.

2.2.8 Pembuatan kurva kalibrasi

Menyiapkan enam buah tabung uji 25 mL, lalu masing-masing diisi larutan standar amonia sebanyak 0,2 mL; 0,4 mL; 0,6 mL; 1,0 mL; dan 1,5 mL, kemudian ditambahkan larutan penjerap hingga mencapai volume 10 mL. Ke dalam masing-masing tabung tersebut ditambahkan secara berurutan 2 mL larutan penyangga, 5 mL larutan pereaksi fenol, dan 2,5 mL larutan pereaksi natrium hipoklorit, lalu dihomogenkan. Diamkan selama 30 menit. Selanjutnya ukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 630 nm.

2.2.9 Pengujian contoh uji NH₃

Larutan contoh uji dipindahkan ke dalam tabung uji 25 mL, kemudian ditambahkan secara berurutan 2 mL larutan penyangga, 5 mL larutan pereaksi fenol, dan 2,5 mL larutan pereaksi natrium hipoklorit, lalu dihomogenkan. Setelah itu, ditambahkan aquades dan didiamkan selama 30 menit. Larutan yang telah

bereaksi kemudian diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 630 nm. untuk pengujian blanko dengan menggunakan 10 mL larutan penjerap sebagai pengganti larutan contoh uji.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji kadar oksidan di udara ambien mengacu pada SNI 7119-8:2017 menggunakan metode *neutral buffer kalium iodide* (NBKI). Prinsip kerja metode NBKI adalah oksidan dari udara ambien akan bereaksi dengan ion iodida (I⁻) dalam larutan penjerap NBKI, menghasilkan iod (I₂). Adapun reaksinya sebagai berikut : $O_3 + 2I^- + H_2O \rightarrow I_2 + 2OH^- + O_2$ Iod inilah yang kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 352 nm. Semakin tinggi konsentrasi oksidan, semakin banyak iodium yang terbentuk, dan semakin tinggi pula nilai absorbansi yang terukur.

Berdasarkan PP No.41 Tahun 1999, nilai ambang batas konsentrasi oksidan (O₃) di udara ambien yaitu 235 µg/Nm³, sedangkan hasil pengukuran dan penentuan konsentrasi oksidan sampel menunjukkan bahwa konsentrasi oksidan di BSPJI Padang berada di bawah ambang batas, yaitu 39,0065 µg/Nm³. Dengan demikian, kondisi udara di BSPJI Padang dikategorikan belum tercemar senyawa oksidan. Pada umumnya semakin rendah konsentrasi NO₂ dan NO di troposfer, maka laju pembentukan O₃ akan semakin rendah, begitu juga sebaliknya.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa O₃ memiliki peran penting dalam menjaga dan melindungi lapisan stratosfer dari radiasi sinar ultra violet. Namun bila konsentrasi O₃ di stratosfer berkurang maka akan menyebabkan konsentrasi O₃ di lapisan troposfer meningkat. Sedangkan apabila jumlah O₃ di troposfer lebih besar maka akan menyebabkan gas rumah kaca yang dapat menciptakan pemanasan global. Keberadaan ozon pada lapisan bawah yang bersinggungan langsung dengan makhluk hidup maka akan berdampak buruk, terutama pada kesehatan (Wang *et al.*, 2024).

Oksidan fotokimia yang masuk ke dalam saluran pernafasan akan menyebabkan iritasi kuat dan merusak sistem paru-paru. Oksidan juga dapat menyebabkan iritasi pada mata. Beberapa gejala yang dapat diamati pada manusia yang diberi perlakuan kontak dengan ozon, sampai dengan kadar 0,2 ppm tidak ditemukan pengaruh apapun, pada kadar 0,3 ppm mulai terjadi iritasi pada hidung dan tenggorokan. Kontak dengan Ozon pada kadar 1,0–3,0 ppm selama 2 jam pada orang-orang yang sensitif dapat mengakibatkan pusing berat dan kehilangan koordinasi. Pada kebanyakan orang, kontak dengan ozon dengan kadar 9,0 ppm selama beberapa waktu akan mengakibatkan *edema pulmonary*. Dampak bagi hewan adalah dapat menyebabkan timbulnya kanker pada mata sapi karena Ozon (salah satu oksida) yang

semakin tipis sedangkan pada tanaman yaitu dapat merusak tanaman sehingga tanaman tersebut tidak dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Dampak lain yang dapat ditimbulkan yaitu pada ekosistem dan lingkungan. Dampak tersebut diantaranya terganggunya atau bahkan putusnya rantai makanan pada tingkat konsumen di ekosistem perairan karena penurunan jumlah fitoplankton (Cocci *et al.*, 2017).

Berdasarkan dampak tersebut, maka diperlukan perhatian untuk melakukan penanganan terhadap kondisi ini. Penanganan yang dapat dilakukan sekarang yaitu dengan menentukan perbaruan baku mutu untuk batas maksimum yang masih diperbolehkan bagi oksidan, agar tidak terlalu berpengaruh terhadap kesehatan manusia, hewan, tumbuhan, dan material yang ada di bumi ini serta mengurangi kegiatan manusia yang bersifat meningkatkan jumlah oksidan di troposfer (Zeger *et al.*, 2008).

Selanjutnya, dilakukan uji kadar amoniak (NH₃) di udara ambien dengan metode uji yang berdasarkan pada pembentukan senyawa indofenol biru. Penentuan amoniak dilakukan berdasarkan (SNI, 2005). Prinsip dasar dari metode ini, yaitu amoniak dari udara ambien yang telah dijerap oleh H₂SO₄ akan membentuk amonium sulfat ((NH₄)₂SO₄) reaksinya sebagai berikut : (NH₄)₂SO₄ + H₂SO₄ → 2NH₄HSO₄ Kemudian direaksikan dengan fenol dan natrium hipoklorit dalam suasana basa

menggunakan katalis natrium nitroprusida reaksinya sebagai berikut : Fenol + NH₃ + NaOCl + NaOH $\xrightarrow{\text{Na-nitroprusida}}$ Indofenol (biru) + H₂O + garam yang akan membentuk senyawa indofenol yang berwarna biru. Intensitas warna biru yang terbentuk akan diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 630 nm.

Berdasarkan uji kadar amoniak (NH₃) di udara ambien yang telah dilakukan, didapatkan hasil pengukuran kadar NH₃ masih berada dibawah nilai ambang batas yang telah ditetapkan yaitu 2,00 mg/L, sedangkan hasil pengukuran dan penentuan konsentrasi oksidan sampel menunjukkan bahwa konsentrasi amoniak di BSPJI Padang berada di bawah ambang batas, yaitu 3,070 µg/Nm³.

Berdasarkan hasil pengumpulan data selama proses sampling dalam rentang waktu 1 jam, temperatur dan tekanan udara yang tercatat sebagai berikut :

Tabel 1. Temperatur dan Tekanan Udara

No.	Waktu	Suhu (°C)	Tekanan (hpa)
1	11.04	32,7	988,4
2	11.14	32,7	988,3
3	11.24	32,8	988,3
4	11.34	32,3	988,1
5	11.44	32,3	988,9
6	11.54	32,3	988,7
7	12.04	32,1	988,6

1. Pengujian O₃

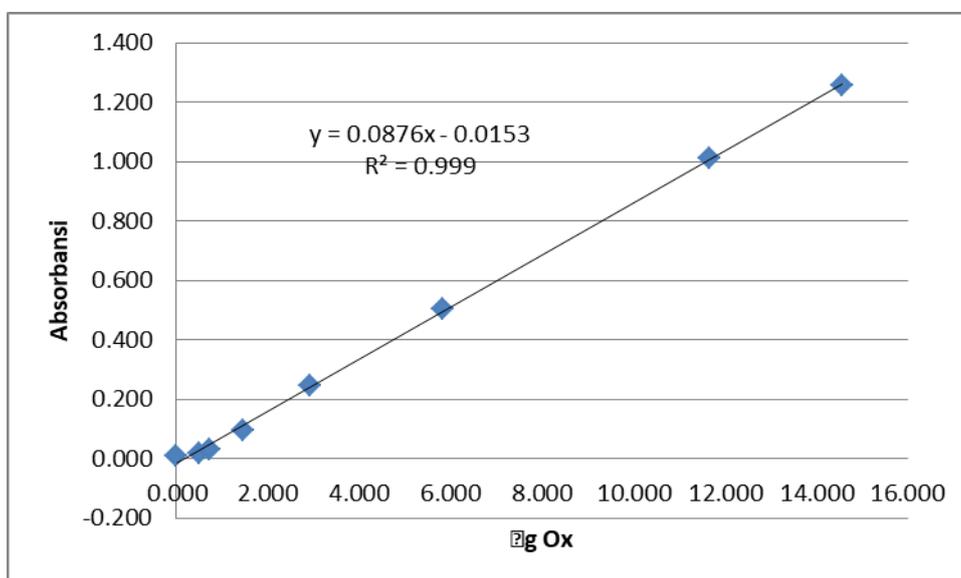
Tabel 2. Hasil Pengukuran absorbansi sampel O₃

No.	Kode sampel	Abs 1	Abs 2	Abs rata- rata
1	Blanko	0,026	0,026	0,026
2	RSUD	0,052	0,052	0,052

3	Sampel (1)	0,087	0,087	0,087
4	Sampel (2)	0,062	0,062	0,062

Tabel 3. Hasil perhitungan konsentrasi sampel O₃

No.	Kode sampel	Konsentrasi
1	RSUD	20,915 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
2	Sampel (1)	49,070 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
3	Sampel (2)	28,943 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$

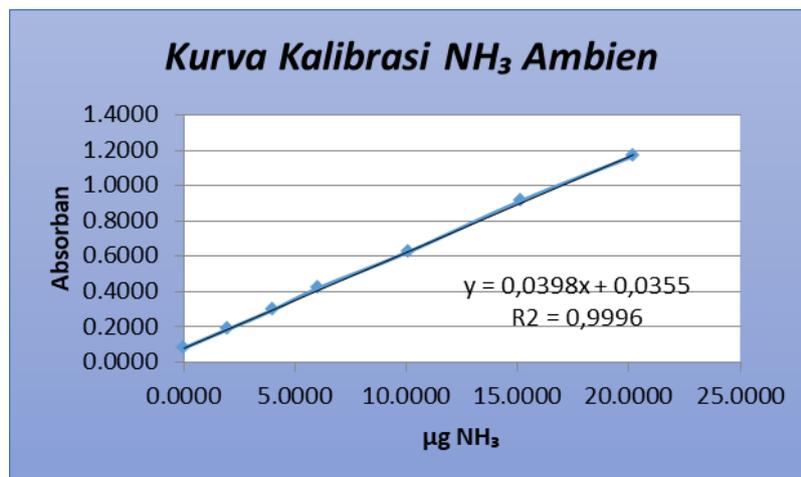


Gambar 1. Kurva Kalibrasi O₃

2. Pengujian NH₃

Tabel 4. Hasil Pengukuran absorbansi sampel NH₃

No.	Kode sampel	Abs 1	Abs 2	Abs rata- rata
1	Blanko	0,049	0,047	0,048
2	Sampel	0,055	0,055	0,055



Gambar 2. Kurva Kalibrasi NH₃

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa kualitas udara ambien di lingkungan BSPJI Padang, didapatkan hasil perhitungan dari pengujian O₃ pada sampel 1 yaitu 49,070 µg/Nm³ dan sampel 2 sebanyak 28,943 µg/Nm³ serta pada pengujian NH₃ diperoleh 3,070 µg/Nm³. Analisis ini dilakukan menggunakan metode spektrofotometri dengan kurva kalibrasi sebagai dasar perhitungan, serta mengacu pada prosedur yang sesuai dengan SNI. Pentingnya pemantauan berkala terhadap kualitas udara ambien guna memastikan lingkungan tetap dalam batas aman terhadap kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

André, G.I., Firman, R.C. and Simmons, L.W. (2020) 'Baculum shape and paternity success in house mice:

evidence for genital coevolution', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1813), p. 20200150. Available at: <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0150>.

Beer, C. *et al.* (2010) 'Terrestrial gross carbon dioxide uptake: Global distribution and covariation with climate', *Science*, 329(5993), pp. 834–838. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1184984>.

Cocci, P. *et al.* (2017) 'Effects of endocrine disrupting chemicals on estrogen receptor alpha and heat shock protein 60 gene expression in primary cultures of loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) erythrocytes', *Environmental Research*, 158, pp. 616–624. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.07.024>.

Jeon, S. *et al.* (2021) 'The reactive oxygen species as pathogenic factors of fragmented microplastics to macrophages', *Environmental Pollution*, 281, p. 117006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117006>.

- 1.117006.
- Katzman, D., Bohbot-Raviv, Y. and Dubowski, Y. (2021) 'Does polyacrylamide-based adjuvant actually reduce primary drift of airborne pesticides?', *Science of The Total Environment*, 775, p. 145816. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145816>.
- Kim, K.A. *et al.* (2023) 'Atmospheric saccharide composition and its possible linkage with marine phytoplankton from North Pacific to the Antarctic regions', *Atmospheric Environment*, 292, p. 119420. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119420>.
- Kurniawati, R.T.D., Rahmawati, R. and Wilandari, Y. (2015) 'Pengelompokan Kualitas Udara Ambien Menurut Kota/Kabupaten Di Jawa Tengah Dengan Metode Klaster', *Jurnal Gaussian*, 4(2), pp. 393–402. Available at: <https://doi.org/10.14710/j.gauss.v4i2.8588>.
- Nephew, B.C. *et al.* (2020) 'Traffic-related particulate matter affects behavior, inflammation, and neural integrity in a developmental rodent model', *Environmental Research*, 183(August 2019). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109242>.
- Peraturan pemerintah Republik Indonesia No 41, Tahun 1999. Tentang Pengendalian Pencemaran Udara', Presiden Republik Indonesia.
- SNI (2005) 'Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 6 : Cara uji kadar amoniak (NH₃) dengan metode indofenol menggunakan spektrofotometer (SNI 2005)'.
Sun, Y. and Li, Y. (2021) 'Application of surface complexation modeling on adsorption of uranium at water-solid interface: A review', *Environmental Pollution*, 278, p. 116861. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116861>.
- Wang, J. *et al.* (2023) 'Spatiotemporal characterization of heavy metal and antibiotics in the Pearl River Basin and pollutants removal assessment using invasive species-derived biochars', *Journal of Hazardous Materials*, 454, p. 131409. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131409>.
- Wang, Y. *et al.* (2024) 'Short-Lived Air Pollutants and Climate Forcers Through the Lens of the COVID-19 Pandemic', *Reviews of Geophysics*, 62(4). Available at: <https://doi.org/10.1029/2022RG000773>.
- Zeger, S.L. *et al.* (2008) 'Mortality in the Medicare Population and Chronic Exposure to Fine Particulate Air Pollution in Urban Centers (2000–2005)', *Environmental Health Perspectives*, 116(12), pp. 1614–1619. Available at: <https://doi.org/10.1289/ehp.11449>.
- Zhu, T. *et al.* (2021) 'Insights into the fate and removal of antibiotics and antibiotic resistance genes using biological wastewater treatment technology', *Science of The Total Environment*, 776, p. 145906. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145906>.