

## Pembentukan Gas Amonia dari $\text{NH}_4\text{Cl}$ dan $\text{NaOH}$ Sebagai Alternatif Pengganti Gas Standar Amonia

Iwan Ardiyanta<sup>1)</sup> Supriyanto<sup>2)</sup>

1) Universitas Islam Indonesia/Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia

2) Universitas Islam Indonesia/Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia

<sup>a)</sup>Corresponding author: iwan.ardiyanta@uui.ac.id

<sup>b)</sup>another author: supri.yanto@uui.ac.id

### ABSTRAK

Gas amonia merupakan gas pencemar udara yang bersifat iritan dan berbau tajam. Dalam penegakan lingkungan, pengujian kadar amonia di udara ambien diperlukan untuk menilai kualitas udara serta dampak potensial terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Gas standar amonia umumnya sulit diperoleh atau mempunyai harga beli yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi gas standar amonia pada skala laboratorium serta mengevaluasi kestabilan konsentrasi yang dihasilkan sebagai alternatif pengganti gas standar komersial. Selain itu, penelitian ini mengembangkan metode pembuatan standar kerja (*working standar*) gas amonia yang sederhana, stabil dan dapat diaplikasikan dalam kegiatan kalibrasi maupun pengujian kualitas udara. Penelitian ini merupakan studi eksperimental laboratorium dengan desauab variasi waktu sebagai variabel bebas. Gas amonia dihasilkan melalui reaksi kimia antara  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan  $\text{NaOH}$  dalam sistem reaktor tertutup. Konsentrasi target sebesar 0,25 mg/L, 0,5 mg/L dan 1 mg/L diproduksi dengan tiga variasi waktu reaksi, yaitu 15, 30 dan 60 detik). Gas yang terbentuk ditangkap menggunakan larutan penjerap indofenol dan dianalisis menggunakan Spektrofotometer sesuai SNI 19-7117.1-2005. Evaluasi dilakukan terhadap kesesuaian konsentrasi dan kestabilan gas yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi gas amonia sebesar  $1,00 \pm 0,07$  dengan 7% sebagai simpangan baku relatif pada konsentrasi tertinggi, menunjukkan kestabilan yang baik. Dengan demikian, Penelitian ini dapat digunakan sebagai pendekatan yang lebih mudah dan terjangkau dalam pembuatan standar kerja gas amonia untuk keperluan kalibrasi maupun pengujian kualitas udara.

**Kata Kunci:** Gas standar; Gas amonia; Indofenol;  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ;  $\text{NaOH}$

### ABSTRACT

*Ammonia gas is an air pollutant that is irritating and has a pungent odor. In environmental enforcement, testing ammonia levels in ambient air is necessary to assess air quality and potential impacts on human health and the environment. Standard ammonia gas is generally difficult to obtain or has a high purchase price. This study aims to produce standard ammonia gas on a laboratory scale and evaluate the stability of the concentration produced as an alternative to commercial standard gas. In addition, this study develops a simple, stable method for producing working standards of ammonia gas that can be applied in calibration and air quality testing activities. This research is a laboratory experimental study with time variation as the independent variable. Ammonia gas is produced through a chemical reaction between  $\text{NH}_4\text{Cl}$  and  $\text{NaOH}$  in a closed reactor system. Target concentrations of 0.25 mg/L, 0.5 mg/L, and 1 mg/L are produced with three reaction time variations, namely 15, 30, and 60 seconds. The gas formed was captured using an indophenol absorbent solution and analyzed using a spectrophotometer in accordance with SNI 19-7117.1-2005. An evaluation was conducted on the suitability of the concentration and stability of the gas produced. The results of the study showed an ammonia gas concentration of  $1.00 \pm 0.07$  with 7% as the relative standard deviation at the highest concentration, indicating good stability. Thus, this study can be used as an easier and more affordable approach in creating ammonia gas working standards for calibration and air quality testing purposes.*

**Keywords:** Standard gas; Ammonia gas; Indophenol;  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ;  $\text{NaOH}$

## **PENDAHULUAN**

Gas amonia ( $\text{NH}_3$ ) merupakan senyawa anorganik yang sering dijumpai di atmosfer, terutama di wilayah industri, pertanian dan pemukiman padat. Dalam kondisi tertentu, gas amonia dapat terlepas ke udara dan berkontribusi terhadap pencemaran udara ambien. Amonia memiliki sifat basa kuat dan mudah larut dalam air, menyebabkan gas ini mudah berakasi dengan senyawa asam di udara membentuk aerosol ammonium sulfat atau nitrat yang berkontribusi terhadap pembentukan partikel halus ( $\text{PM}_{2,5}$ ) (J.H. seinfield&pandis, 2016). Gas ini bersifat iritan, berbau tajam dan pada kadar tinggi dapat menimbulkan gangguan kesehatan seperti iritasi pada saluran pernapasan, mata dan kulit serta mengganggu keseimbangan ekosistem lingkungan. Dalam konteks pemantauan lingkungan, pengujian gas amonia di udara ambien menjadi salah satu parameter penting untuk menilai tingkat pencemaran udara dan kepatuhan terhadap baku mutu lingkungan semisal PP No 22 tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan Engelland lingkungan hidup. Untuk menjamin keakuratan hasil pengujian, laboratorium perlu menyiapkan standar kerja yang tervalidasi dan memiliki ketertelusuran (*traceability*) ke standar nasional atau internasional. Dalam pelaksanaan uji laboratorium, gas standar diperlukan sebagai acuan kalibrasi alat ukur dan pembanding hasil analisis. Standarisasi amonia pada pengujian kualitas udara umumnya dilakukan menggunakan gas standar ( $\text{NH}_3$ ) bersertifikat yang memiliki konsentrasi dan ketertelusuran (*traceability*) terhadap standar internasional dan diperlukan untuk memastikan akurasi serta presisi hasil pengukuran (EPA, 2016). Gas ini digunakan sebagai acuan untuk kalibrasi instrumen analisis amonia, seperti analyzer gas kontinu maupun metode gas detector guna menjamin akurasi dan presisi hasil pengukuran. Gas standar amonia biasanya disediakan dalam bentuk silinder bertekanan dengan konsentrasi tertentu dalam satuan ppm atau  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) dan disertai sertifikat analisis produsen. Namun demikian, penggunaan gas standar amonia memiliki beberapa keterbatasan, terutama dari sisi biaya yang mahal, memerlukan penyimpanan khusus serta keterbatasan masa simpan. Oleh karena itu diperlukan metode alternatif untuk menyiapkan standar kerja (*working standart*) amonia dengan cara sederhana namun tetap akurat. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah penyisihan gas amonia secara sederhana dilaboratorium melalui reaksi kimia antara garam amonium ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dan basa kuat ( $\text{NaOH}$ ) melalui sistem tertutup yang menghasilkan gas amonia (Svehla, 1996; Greenwood & Earnshaw, 2012) selanjutnya dapat ditangkap dan dianalisis untuk menentukan konsentrasinya serta menguji stabilitas dan efektifitas produksi gas amonia dari reaksi antara  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan  $\text{NaOH}$  sebagai pengganti gas standar, mengevaluasi pengaruh waktu reaksi terhadap konsentrasi gas amonia yang dihasilkan dan menilai efektifitas metode penyisihan gas amonia melalui analisis statistik.

## **METODE**

Amonia Adalah gas tidak berwarna dengan bau tajam khas, berat molekul 17,03 g/mol dan titik didih 33,4°C. Gas ini bersifat basa kuat dan mudah bereaksi dengan asam membentuk garam ammonium. Dalam atmosfer amonia berperan sebagai precursor aerosol anorganik yang mempengaruhi visibilitas dan kesehatan manusia (WHO, 2021). Amonia di atmosfer Sebagian besar berasal dari aktivitas industri, pertanian dan limbah organik. Gas ini bersifat basa dan dapat bereaksi dengan gas asam di udara, membentuk partikel ammonium yang berkontribusi

pada pembentukan aerosol sekunder. Paparan amonia di udara pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan menurunkan kualitas udara ambien (WHO, 2021). Penyisihan gas amonia dilakukan dengan meraksikan ammonium klorida (NH<sub>4</sub>Cl) dengan natrium hidroksida (NaOH). Reaksi kimia yang terjadi Adalah sebagai berikut :



Gas NH<sub>3</sub> yang dihasilkan dialirkan menuju reaktor atau tabung penjerap yang berisi larutan indofenol sebagai media pengikat. Reaksi antara amonia dengan larutan penjerap menghasilkan senyawa berwarna yang intensitasnya dapat diukur dengan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 630 nm. Prinsip analisa amonia dengan Metode indofenol merupakan metode kolorimetri berdasarkan pembentukan kompleks biru antara amonia, fenol dan natrium hipoklorit dalam kondisi basa dengan bantuan natrium nitrit sebagai katalis, intensitas warna biru yang terbentuk sebanding dengan konsentrasi amonia dalam sampel (SNI 19-7117.6-2005). Untuk mendapatkan larutan standar yang kita inginkan dapat kita hitung dengan menggunakan tabel 1 berikut:

**Tabel 1.** Perhitungan Konsentrasi NH<sub>3</sub>

Konsentrasi NH <sub>3</sub> (mg/L)	NH <sub>4</sub> Cl 150 mg/L (stock) mL NH <sub>4</sub> Cl	NaOH 0,00675 M (stock) mL NaOH
0,25	4	2
0,50	8	3
1	15	6

Standar kerja (*working standar*) merupakan larutan atau gas dengan konsentrasi yang sudah diketahui dan dapat digunakan dalam kalibrasi instrumen. Dalam sistem ISO/IEC 17025:2017, setiap hasil uji harus memiliki ketertelusuran terhadap standar acuan. Oleh karena itu proses penyisihan gas amonia berperan dalam pembuatan gas standar kerja yang tertelusur dan stabil.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ;

1. Reaktor kaca tertutup
2. Impinger
3. Spektrofotometer - Shimadzu UV-1280

Bahan yang digunakan

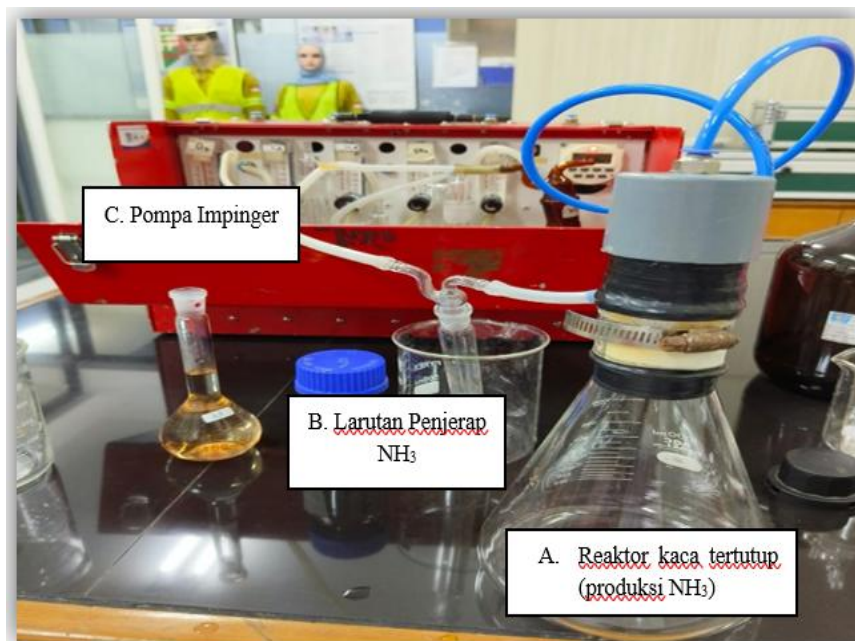
1. NH<sub>4</sub>Cl (Amonium klorida)-Merck
2. NaOH(Natrium hidroksida)-Merck
3. Distilat water
4. Larutan penjerap NH<sub>3</sub> dengan metode indofenol

Prosedur uji stabilitas produksi gas amonia

1. Siapkan larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan  $\text{NaOH}$
2. Reaksikan kedua larutan didalam reaktor tertutup untuk menghasilkan gas amonia
3. Alirkan gas  $\text{NH}_3$  yang terbentuk menuju tabung berisi larutan penjerap indofenol (impinger)
4. Variasikan konsentrasi  $\text{NH}_3$  0,25; 0,5 dan 1 mg/L dan waktu reaksinya 15; 30 dan 60 detik
5. Analisis kadar amonia yang tertangkap dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 630 nm
6. Lakukan analisis statistik untuk melihat pengaruh waktu reaksi terhadap kadar amonia

Pengujian sampel dilakukan pada setiap variasi konsentrasi dengan beberapa waktu pengujian. Pada setiap waktu pengujian, pengukuran dilakukan secara duplo untuk memastikan ketelitian dan keterulangan hasil. Nilai rerata masing-masing waktu pengujian diperoleh dari hasil pengukuran duplo tersebut. Selanjutnya, nilai rerata konsentrasi dihitung berdasarkan rerata dari seluruh waktu pengujian pada konsentrasi yang sama. Standar deviasi (SD) untuk setiap konsentrasi ditentukan berdasarkan variasi nilai rerata pada tiap waktu pengujian. Nilai relative standar deviation (RSD) pada masing-masing konsentrasi dihitung dari perbandingan antara standar deviasi dan nilai rerata konsentrasi, kemudian dinyatakan dalam persen.

Rangkaian alat produksi amonia dapat dilihat pada gambar 1 yang meliputi reaktor kaca tertutup untuk produksi  $\text{NH}_3$  (gambar 1a), larutan penjerap  $\text{NH}_3$  (gambar 1b) dan pompa impinger (gambar 1c). berikut :



**Gambar 1.** Rangkaian alat produksi  $\text{NH}_3$

Dalam penelitian ini hasil pengujian dianalisis secara statistik dengan menghitung nilai simpangan baku (*SD/Standar Deviation*) dan *Relative Standard Deviation* (RSD). Simpangan baku merupakan ukuran statistik yang menunjukkan tingkat penyebaran data dalam suatu kelompok terhadap nilai rata-rata (*mean*). Nilai simpangan baku yang rendah menunjukkan bahwa data cenderung terkonsentrasi di sekitar nilai rata-rata (*homogen*), sedangkan nilai

simpangan baku yang tinggi menunjukkan bahwa data memiliki tingkat penyebaran yang luas (*heterogen*). Selain itu, RSD digunakan untuk menilai tingkat presisi metode pengujian secara relative terhadap nilai rata-rata. Nilai RSD yang kecil menunjukkan presisi metode yang baik, sedangkan nilai RSD yang besar mengindikasikan adanya variasi data yang tinggi.

Rumus perhitungan simpangan baku (SD) dituliskan sebagai berikut ;

Rumus perhitungan *Relative Standard Deviation* (RSD) dituliskan sebagai berikut ;

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - \underline{x})^2}{n - 1}}$$

$$RSD = \frac{SD}{\underline{x}} \times 100\%$$

Dengan keterangan ;

*SD* = Simpangan baku

RSD = *Relative Standard Deviation*

*xi* = setiap nilai data ke-1

$\underline{x}$  = nilai rata-rata

*n* = Jumlah data pengamatan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Tabel 2** Hasil Uji Produksi Amonia

Target Konsentrasi	Waktu (detik)	Hasil Uji (mg/L) ke-1	Hasil Uji (mg/L) ke-2	Rata-rata konsentrasi (mg/L)	Simpangan baku (mg/L)	Simpangan Baku Relatif (%)
<b>0.25 mg/L</b>	15	0,32	0,36	0,28	0,07	24,65
	30	0,27	0,16			
	60	0,27	0,32			
<b>0.50 mg/L</b>	15	0,50	0,32	0,43	0,07	16,59
	30	0,45	0,50			
	60	0,41	0,39			
<b>1.00 mg/L</b>	15	1,05	1,09	1,00	0,07	6,72
	30	0,92	0,93			
	60	0,98	0,98			

Hasil pengukuran konsentrasi pada tabel 2 dengan tiga variasi waktu (15; 30 dan 60 detik) menunjukkan bahwa nilai *standar deviation* (SD) dan *relative standar deviation* (RSD) sangat dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi larutan serta kestabilan sinyal instrumen. Pada konsentrasi rendah yaitu 0,25 mg/L, variasi antar replikasi terlihat cukup besar dengan SD berkisar antara 0,032 – 0,080 mg/L. Nilai RSD pada waktu 30 detik mencapai 37,2 %, menunjukkan bahwa pengukuran pada konsentrasi ini belum stabil dan memiliki tingkat ketidakpastian yang tinggi. hal ini dapat disebabkan oleh sensitivitas instrumen yang menurun pada konsentrasi mendekati batas deteksi, sehingga fluktuasi sinyal lebih mudah terjadi.

Pada konsentrasi 0,5 mg/L, kestabilan pengukuran mulai meningkat. Nilai SD lebih kecil dibandingkan konsentrasi 0,25 mg/L dan sebagian besar RSD berada dibawah 10% kecuali pada waktu 15 detik yang masih menunjukkan RSD cukup tinggi (31,4%). Temuan ini mengindikasikan bahwa pada waktu pengukuran yang terlalu cepat, sistem belum mencapai keadaan stabil, sehingga menghasilkan variasi nilai yang lebih besar. Meskipun demikian, nilai RSD total sebesar 4,3 % mengonfirmasi bahwa konsentrasi 0,5 mg/L secara umum memiliki kestabilan yang baik.

Pada konsentrasi tertinggi yaitu 1,00 mg/L, nilai SD dan RSD menunjukkan kestabilan yang baik. Rentang SD berada pada 0,007-0,028 mg/L dan RSD pada seluruh waktu pengukuran berada dibawah 3%. Konsistensi yang tinggi pada konsentrasi ini menunjukkan bahwa instrumen bekerja optimal ketika sinyal analitik cukup kuat dan jauh dari batas deteksi. Nilai RSD total sebesar 7,3% tetap berada dalam kisaran yang dapat diterima untuk analisis pada konsentrasi menengah hingga tinggi.

Secara keseluruhan data ini menunjukkan bahwa kestabilan pengukuran meningkat seiring bertambahnya konsentrasi. Waktu pengukuran juga berperan penting, dimana waktu diatas 30 detik cenderung memberikan hasil yang lebih konsisten dibandingkan waktu 15 detik. Berdasarkan SD dan RSD, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi 0,25 mg/L memiliki tingkat ketidakstabilan tertinggi, sedangkan konsentrasi 0,5 mg/L dan 1 mg/L menunjukkan kestabilan pengukuran yang baik SD kecil (0,007-0,028 mg/L) menunjukkan hasil replikasi konsisten, RSD pada semua waktu reaksi rendah (0,8-2,64%) RSD total ; 7,3% yang masih dapat diterima untuk konsentrasi 1 mg/L, sehingga lebih layak digunakan sebagai acuan dalam penetapan standar atau validasi metode.

Pola perubahan konsentrasi dari tiga level standar pada tiga waktu pengukuran, seperti terlihat pada grafik reaksi pada waktu 15 detik menunjukkan variasi yang lebih besar terutama pada konsentrasi 0,25 mg/L dan 0,5 mg/L, sedangkan pada konsentrasi 1 mg/L cenderung stabil.

Konsentrasi 0,25 mg/L menunjukkan pola menurun pada waktu 30 detik kemudian naik Kembali pada 60 detik (tanda ketidakstabilan) konsentrasi 0,50 mg/L cukup stabil meskipun sedikit turun diwaktu 60 detik, sedangkan konsentrasi 1 mg/L sangat stabil dan memiliki perubahan kecil antar beda waktu, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi, semakin stabil sinyal dan semakin kecil variasi terhadap waktu.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisis SD dan RSD pada tiga tingkat konsentrasi (0,25; 0,50; dan 1 mg/L), dapat disimpulkan bahwa kestabilan pengukuran sangat dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi serta waktu pengukuran. Konsentrasi 0,25 mg/L menghasilkan variasi pengukuran paling tinggi dengan RSD mencapai 37,2% pada waktu 30 detik, menandakan ketidakstabilan sinyal pada level konsentrasi rendah. Pada konsentrasi 0,50 mg/L, kestabilan mulai meningkat dengan RSD total sebesar 4,3%, meskipun waktu 15 detik masih menunjukkan variasi yang besar.

Konsentrasi 1 mg/L memperlihatkan kestabilan terbaik dengan nilai SD dan RSD rendah pada seluruh waktu pengukuran. Secara keseluruhan, waktu pengukuran  $\geq 30$  detik memberikan hasil yang lebih konsisten, dan konsentrasi menengah hingga tinggi (0,5–1 mg/L) dinilai lebih stabil serta layak digunakan sebagai standar pembandingan dalam pengukuran.

## **SARAN**

1. Gunakan waktu minimal 30 detik untuk memperoleh kestabilan sinyal yang lebih baik
2. Hindari penggunaan konsentrasi yang terlalu rendah (0,25 mg/L) sebagai standar utama karena memiliki variasi hasil yang tinggi dan kurang akurat
3. Optimalkan kondisi instrumen seperti waktu homogenisasi atau stabilisasi sebelum pembacaan untuk mengurangi fluktuasi awal.
4. Jika konsentrasi rendah diperlukan lakukan replikasi lebih banyak atau gunakan instrumen dengan sensitivitas lebih tinggi untuk meningkatkan keakuratan.
5. Lakukan pemantauan berkala terhadap SD dan RSD terutama pada rentang dekat batas deteksi untuk memastikan validitas hasil analisis

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini, penghargaan sebesar-besarnya diberikan kepada Universitas Islam Indonesia melalui laboratorium dan fasilitas yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada rekan-rekan laboran, dosen pembimbing serta seluruh pihak yang telah memberikan bantuan teknis maupun masukan ilmiah selama proses pengumpulan data, analisis dan penyusunan naskah prosiding ini. Tidak lupa penulis menyampaikan apresiasi kepada panitia seminar/prosiding yang telah memberikan kesempatan untuk mempublikasikan hasil penelitian ini, semoga kontribusi semua pihak menjadi manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan peningkatan kualitas penelitian dimasa yang akan datang.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- APHA. *Methods of Air Sampling and Analysis*. 1998. Thrid Edition. American Public Health Association. Wahington DC, USA. Methode no.401.
- B. Greenwood and A. Earnshaw, *Chemistry of Elements*, 2<sup>nd</sup>., Oxford: Butterwoth-Heinemann, 2012
- Badan standarisasi Nasional (2005). SNI 19-7117.6-2005 : udara ambien bagian 6 : Penentian Amonia (NH<sub>3</sub>) dengan Metode Indofenol. Jakarta : BSN.
- D.A Skoog, F.J. Holler, And S.R. Crouch, *Principle of Instrumental Analysis*, 6<sup>th</sup> ed., Belmont:Thomson Brooks/Cole,2007.
- EPA,(2016), *Compendium of methods for the determination of inorganic compounds in ambient air* (EPA/625/R-96/010a). U.S. Environmental Protection Agency.
- G.Svehla, *Vogel's Qualitative Inorganic Analysis*, 7<sup>th</sup> ed., London: Longman Scientific & Technical, 1996.
- H.Liu, J.Liu, anad K.He, "Advances in ammonia detection methode for environmental monitoring: A review," *TrAC Trends in Analytical Chemistry* vol.143, 2021, 116390
- International Organization for Standarization, *ISO/IEC 17025:2017 – General Requierments for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*, Geneva: ISO, 2017.

- J.H. Seinfeld dan S.N. Pandis, *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, edisi ke-3, New York: John Wiley & Sons, 2016.
- J.P.Lodge Lodge, Jr, 1986, *Methods of Air Sampling and Analysis, Thrid edition*, APHA Washington DC : Lewis Publisher/APHA, 1989.
- K.Matsumoto et al., "Generation of ammonia gas from ammonium salts for calibration purposes", *Talanta*, vol.82, no 5, pp. 1871-1876, 2010
- M.Nowark, E.Erisman, and J.Sutton, "Reduced nitrogen and ammonia in the atmosphere : Sources, transport and measurement techniques," *Atmospheric Environment*, vol. 244, 2021, 117942.
- Pemerintah Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Jakarta, 2021.
- S.Reche, X. Querol, A.Alastuey, et al., "Ammonia emissions and their role in secondary inorganic aerosol formation in urban environments", *Atmospheric Research*, vol.231, 2020, 104676.
- T.Wu, Y.Wang, and Z.Zhang," Laboratory generation and calibration stability of ammonia standard gases using ammoniumsalt reaction, 'Journal of Environmental Chemical Engineering, vol.11, no. 2, 2023, 109234.
- World Health Organization, WHO Global Air Quality Guidelines, Geneva: *World Health Organization*, 2021.
- Y.Pan, L.Tian, D.Liu, et al., "Ammonia emission control strategies and their impact on PM 2,5 pollution in Asia,"*Environmental Science 7 Tecnology*, vol.53, no.17. pp. 10725-10284, 2019