

## **Tren Deposisi Amonium di Serpong dan Bandung** *The trend of Ammonia Deposition in Serpong and Bandung*

Asri Indrawati<sup>1</sup>, Retno Puji Lestari<sup>2</sup>, dan Dyah Aries Tanti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LAPAN, Jl. Dr Djundjuran No. 133, Bandung, 40173

<sup>2</sup>P3KLL-KLHK, Kawasan PUSPITEK Gedung 210, Tangerang Selatan, 15310

E-mail: asri.indrawati@lapan.go.id

Diterima 29 September 2020, direvisi 26 Oktober 2020, disetujui tanggal 2 November 2020

### **ABSTRAK**

**Tren Deposisi Amonium di Serpong dan Bandung.** Konsentrasi amonium yang ada dalam air hujan dapat membentuk ion amonium yang berasal dari reaksi amonia dengan air hujan. Ion amonium memiliki faktor netralisasi terhadap nilai keasaman air hujan. Jika konsentrasinya cukup besar, deposisi amonium akan memberikan fenomena lingkungan yang beragam, seperti eutrofikasi dan pengasaman tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat tren deposisi amonium secara temporal, baik bulanan, musiman maupun tahunan di Serpong dan Bandung. Data yang digunakan yaitu data rata-rata tertimbang konsentrasi ion amonium dalam air hujan tahun 2000–2018. Sampel air hujan dianalisis dengan menggunakan kromatografi ion untuk mengetahui besarnya konsentrasi ion amonium, dilanjutkan dengan perhitungan fluks deposisi amonium dan menjalankan model *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model* (HYSPLIT) untuk mengetahui trayektori polutan amonia untuk Serpong dan Bandung. Hasil penelitian menunjukkan kenaikan konsentrasi ion amonium dari tahun 2000 – 2018 untuk Serpong sebesar 2,64%, dengan konsentrasi tertinggi pada tahun 2013 sebesar 83  $\mu\text{mol/L}$ . Sedangkan untuk Bandung mengalami kenaikan yang signifikan sebesar 87,87% dengan konsentrasi terendah pada tahun 2010 sebesar 32  $\mu\text{mol/L}$ . Karakteristik tren deposisi amonium bulanan menunjukkan kenaikan konsentrasi pada bulan Juli – Oktober. Pada musim penghujan, konsentrasi ion amonium lebih rendah bila dibandingkan dengan musim kemarau. Fluks deposisi amonium berfluktuasi setiap tahunnya dengan mengikuti pola curah hujan, dan mengalami kenaikan dari tahun 2000 – 2018 sebesar 35% untuk Serpong dan mencapai 272% untuk Bandung. HYSPLIT model menunjukkan trayektori polutan yang berasal dari wilayah Bali dan Nusa Tenggara untuk Serpong pada musim kemarau, sedangkan sumber polutan di Bandung, dapat berasal dari Australia. Pada musim penghujan, sumber polutan baik di Serpong maupun Bandung, berasal dari lautan.

**Kata kunci:** Deposisi, amonia, amonium, konsentrasi, tren.

### **ABSTRACT**

**The Trend of Ammonium Deposition in Serpong and Bandung.** The concentration of ammonium in rainwater originated from the reaction of ammonia with rainwater forming ammonium ions. Ammonium ion has a neutralization factor for the acidity of rainwater. If the concentration is significantly high, it will cause various environmental phenomenon, such as eutrophication and soil acidification. The purpose of this study was to determine the trend of ammonium deposition temporally, either monthly, seasonally or annually in Serpong and Bandung. The data used are the weighted average data for the concentration of ammonium ion in rainwater from the year 2000 to 2018. Rainwater samples were analyzed using ion chromatography to determine the concentration of ammonium ions, then calculating the ammonium deposition flux and followed by running *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model* (HYSPLIT) model to determine the trajectory ammonia in Serpong and Bandung. The results showed that the increased concentration of ammonium ion from 2000–2018 in Serpong was 2.64%, with the highest concentration in 2013 (83  $\mu\text{mol/L}$ ). Meanwhile, Bandung showed a significant increase of 87.87%, with the lowest concentration in 2010 (32  $\mu\text{mol/L}$ ). The monthly deposition trend

*characteristic showed an increase in ammonium concentration in July–October. As in the rainy season, the concentration of ammonium ion was lower than in the dry season. Ammonium deposition flux fluctuates every year following the rainfall pattern, and increased by 35% during 2000–2018 in Serpong and reached up to 272% in Bandung. The HYSPLIT model shows the trajectory of pollutants originating from Bali and Nusa Tenggara regions to Serpong during the dry season and from Australia to Bandung. Meanwhile, in the rainy season, the pollutant source originated from the ocean both for Serpong and Bandung.*

**Keywords:** *Deposition, ammonia, ammonium, concentration, trend*

## 1. Pendahuluan

Amonia merupakan polutan atmosfer yang penting dan mempunyai peran kunci dalam beberapa masalah pencemaran udara. Amonia dalam bentuk gas berhubungan erat dengan kehadiran amonium di atmosfer, yang pada gilirannya amonium ini bertindak sebagai agen penetral di atmosfer dan juga berkontribusi terhadap masalah pengasaman atmosfer (Keresztesi, 2018). Keasaman air hujan dikendalikan oleh konsentrasi ion yang bersifat asam dan basa. Sumber keasaman di atmosfer yang utama adalah asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ), sedangkan sumber basa yang utama adalah amonia ( $\text{NH}_3$ ) dan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) (Wang, Akimoto & Uno, 2002).

Peningkatan deposisi amonium di beberapa negara Eropa dan Amerika menjadi perhatian khusus dan penelitian tersendiri mengenai masalah deposisi amonium (Butler *et al.*, 2016) dan juga di kawasan Asia (Duan, 2016), terutama di Cina (Liu *et al.*, 2019). Hasil kajian oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Kualitas dan Laboratorium Lingkungan (P3KLL) untuk wilayah Indonesia, yaitu Serpong, Bandung, Jakarta dan Maros pada tahun 2008–2015, menunjukkan bahwa amonia merupakan senyawa dominan sebagai senyawa yang dapat menetralisasi keasaman air hujan dibandingkan dengan  $\text{CaCO}_3$  dengan fraksi penetralan sebesar 0,85 untuk Serpong dan 0,75 untuk Bandung (Lestari, 2018).

Amonium tidak hanya dapat mempengaruhi nilai keasaman hujan, tetapi juga dapat menghasilkan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  dan  $[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$  melalui serangkaian interaksi multi fase kompleks dengan  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_x$  (Chao, Zi-fa & Gbaguidi, 2010) dari 80% emisi amonia global berasal dari kegiatan pertanian, 11% dari pembakaran biomassa dan 8,3% dari industri dan lalu lintas (Butler *et al.*, 2016).

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat tren deposisi amonium secara temporal, baik bulanan, musiman maupun tahunan di Serpong dan Bandung, serta melihat perbedaan karakteristik tren konsentrasi deposisi amonium pada masing-masing daerah yang berhubungan dengan perbedaan topografi Serpong dan Bandung. Informasi mengenai tren deposisi amonium akan sangat berguna bagi pemangku kebijakan untuk memberikan masukan terhadap kebijakan yang berhubungan dengan masalah lingkungan dan pencemaran udara.

## 2. Metodologi

Penelitian terkait pemodelan dispersi emisLokasi penelitian dilakukan di P3KLL (Tangerang Selatan) dan Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer–Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (PSTA – LAPAN, Bandung). Kedua lokasi merupakan lokasi penelitian deposisi asam untuk kawasan Asia Timur, yang termasuk dalam jaringan

pemantauan deposisi asam di Asia Timur (*Acid Deposition Monitoring Network in East Asia - EANET*). Serpong merupakan daerah sub urban dengan topografi landau (Bappeda, 2016), sedangkan Bandung merupakan daerah urban dengan topografi berbentuk cekungan (BPN, 2019).

Sampling air hujan dilakukan setiap hari hujan (komposit dalam 24 jam) dengan menggunakan peralatan *automatic rainsampler*. Pada masing-masing sampel air hujan dilakukan pengukuran nilai pH dan konduktivitas, kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring. Jika sampel air hujan tidak langsung dianalisis untuk konsentrasi anion ( $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{Cl}^-$ ) dan kation ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  dan  $\text{Ca}^{2+}$ ) dengan menggunakan kromatografi ion, maka sampel air hujan diawetkan dengan disimpan pada lemari pendingin dengan suhu  $\pm 4^\circ\text{C}$  (EANET, 2010).

Analisis kromatografi ion, dilakukan dengan menggunakan DIONEX yang dilengkapi dengan *suppressor* ASRS dan CSRS ULTRA II, 2mm, kolom anion: IonPac AS12A, dan kolom kation: IonPac CS12A pada laju alir 1,5 L/menit untuk anion dan 1 L/menit untuk analisis kation. Eluen yang digunakan adalah 0,3 mM  $\text{NaHCO}_3$  dan 2,7 mM  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  untuk anion dan *Methane Sulphonic Acid* (MSA) 20 mM untuk kation (Lestari, 2018). Larutan standar yang digunakan yaitu larutan standar komersial anion ( $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{Cl}^-$ ) dan kation ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  dan  $\text{Ca}^{2+}$ ) 1000 mg/L, dengan deret standar yang digunakan yaitu, 0,03 mg/L; 0,06 mg/L; 0,1 mg/L; 0,3 mg/L; 0,6 mg/L; 1 mg/L, 3 mg/L, 6 mg/L dan 10 mg/L.

Dari data yang diperoleh kemudian dilakukan pengecekan kualitas data dengan menggunakan prinsip kesetimbangan ion (EANET, 2010). Pengolahan data dilakukan dengan rentang data tahun 2000–2018 yang berupa data rata-rata bulanan tertimbang, namun ketersediaan data dari Serpong dimulai dari tahun 2001 sampai dengan

2018. Data konsentrasi yang dipergunakan adalah data rata-rata tertimbang yang memperhitungkan jumlah curah hujan dengan rumus (EANET, 2018):

$$C = \frac{\sum CiPi}{\sum Pi} \dots\dots\dots(1)$$

dimana C = konsentrasi rata-rata tertimbang ( $\mu\text{mol/L}$ )

$C_i$  = konsentrasi sampel i hasil analisis kromatografi ion ( $\mu\text{mol/L}$ )

$P_i$  = jumlah curah hujan sampel i ( $\mu\text{mol/L}$ )

Kemudian dilakukan perhitungan fluks deposisi untuk  $\text{NH}_4^+$  ( $\text{mmol m}^{-2}$ ), dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Deposisi } \text{NH}_4^+ = C \times (\text{total curah hujan dalam suatu periode})/100 \dots(2)$$

dimana C = konsentrasi rata-rata tertimbang ( $\mu\text{mol/L}$ )

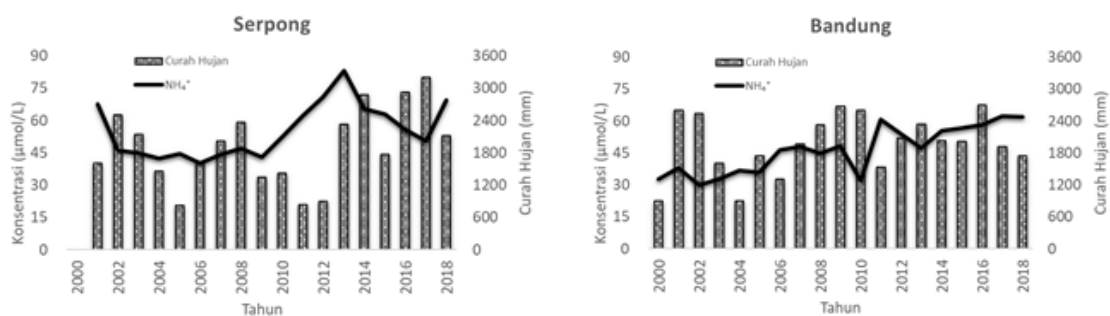
Pengolahan data secara statistik dilakukan dengan menggunakan *software* Excel dalam pengolahan data *time series* untuk melihat karakteristik tren konsentrasi deposisi amonium dan fluks deposisi amonium baik bulanan, musiman maupun tahunan, dilanjutkan dengan menjalankan model HYSPLIT yang merupakan model trayektori untuk melihat asal sumber polutan amonia secara *backward trajectory* sebagai pembentuk ion amonium.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Konsentrasi Ion Amonium

Konsentrasi ion amonium dalam air hujan berhubungan dengan emisi amonia. Sumber emisi amonia terbesar berasal dari sektor pertanian, yaitu penggunaan pupuk (Chao *et al.*, 2010). Namun untuk daerah perkotaan (urban) sumber amonia berasal dari aktivitas lalu lintas yaitu penggunaan kendaraan bermotor. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat hubungan antara kepadatan lalu lintas dengan peningkatan emisi amonia di atmosfer (Phan, 2013).

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa konsentrasi ion amonium untuk Serpong



Sumber: Indrawati *et al.* (2020)

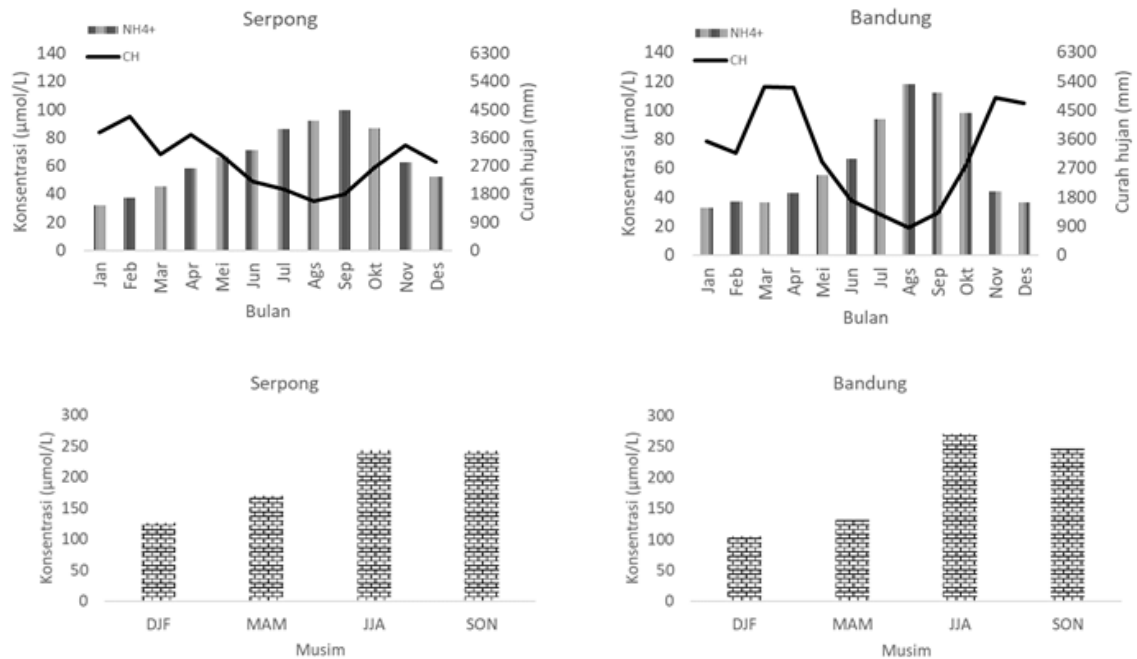
**Gambar 1.** Konsentrasi Ion Amonium dan Curah Hujan untuk Serpong dan Bandung Tahun 2000 – 2018.

dan Bandung mengalami kenaikan, namun kenaikan yang signifikan terlihat jelas untuk Bandung yaitu sebesar 87,87%, sedangkan untuk Serpong sebesar 2,64%. Nilai konsentrasi ion amonium tertinggi untuk Serpong terdapat di tahun 2013, yaitu sebesar 83 µmol/L, sedangkan nilai konsentrasi amonium untuk Bandung pada tahun 2013 mengalami penurunan dari tahun sebelumnya yaitu sebesar 47 µmol/L. Pada saat curah hujan rendah, konsentrasi ion amonium memiliki kecenderungan tinggi, begitu pula sebaliknya, bila curah hujan tinggi, konsentrasi amonium cenderung mengalami penurunan. Pola ini hampir sama dengan penelitian oleh Phan, (2013), dimana konsentrasi amonia mengalami kenaikan pada saat musim kering. Hal ini berkaitan erat dengan karakteristik amonia yang sangat mudah larut dengan air (Singh, 2001). Selain itu, amonia dapat dikonversi menjadi ion amonium di atmosfer dengan kecepatan reaksi sekitar 30% perjam (Asman, 1994).

Pada saat curah hujan rendah, konsentrasi polutan di atmosfer mengalami akumulasi, sehingga konsentrasi amonia terlarut yang berlebih di atmosfer lebih banyak dalam air hujan, dan sebaliknya konsentrasi ion amonium pada saat curah hujan rendah lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi ion amonium pada saat curah hujan lebih tinggi. Terlihat pada tahun

2010 dan 2011 untuk daerah Serpong, total curah hujan pada tahun 2010 adalah 1426 mm, dan konsentrasi ion amonium sebesar 52 µmol/L. Sedangkan pada tahun 2011 saat total curah hujan rendah yaitu 830 mm, konsentrasi ion amonium mencapai 62 µmol/L. Sementara itu di Bandung pada rentang tahun yang sama, terlihat jelas pada tahun 2010, total curah hujan 2606 mm dan konsentrasi ion amonium sebesar 32 µmol/L, sedangkan pada tahun 2011, dengan total curah hujan lebih rendah yaitu 1530 mm, konsentrasi ion amonium sebesar 61 µmol/L.

Hubungan antara besarnya curah hujan dengan konsentrasi ion amonium terlihat jelas pada pola bulanan dan musiman yang tersaji pada Gambar 2. Pola bulanan mengindikasikan pada saat periode bulan dengan intensitas curah hujan rendah, konsentrasi ion amonium lebih besar bila dibandingkan dengan periode bulan dengan intensitas curah hujan lebih tinggi. Berdasarkan data total curah hujan tahun 2000–2018, puncak tertinggi curah hujan di daerah Serpong terjadi di bulan Februari sebesar 4359,8 mm dengan konsentrasi ion amonium sebesar 38,3 µmol/L. Puncak hujan di Bandung terjadi pada bulan Maret sebesar 5725 mm dengan konsentrasi ion amonium sebesar 35,7 µmol/L. Curah hujan terendah terjadi pada bulan Agustus, baik



Sumber: Indrawati *et al.* (2020)

**Gambar 2.** Pola Bulanan dan Musiman Konsentrasi Ion Amonium dalam Air Hujan daerah Serpong dan Bandung Tahun 2000–2018

untuk daerah Serpong maupun Bandung, dengan nilai curah hujan dan konsentrasi ion amonium secara berurutan yaitu, Serpong 1565,5 mm; 91,8 µmol/L dan Bandung 864 mm; 118,2 µmol/L.

Pola musiman dibagi ke dalam 4 kategori, yaitu musim penghujan diwakili oleh bulan Desember, Januari, dan Februari (DJF), peralihan musim penghujan – kemarau diwakili oleh bulan Maret, April, dan Mei (MAM). Musim kemarau diwakili oleh bulan Juni, Juli dan, Agustus (JJA) serta peralihan musim kemarau – penghujan diwakili oleh bulan September, Oktober, dan November (SON). Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa untuk pola musiman nilai konsentrasi ion amonium pada JJA dan SON mempunyai nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan DJF dan MAM, baik Serpong dan Bandung.

Karakteristik pola bulanan dan musiman (musim hujan dan musim

kemarau) untuk besarnya nilai konsentrasi ion amonium terlihat jelas untuk Bandung dibandingkan dengan Serpong. Kondisi ini dikarenakan topografi Bandung yang berbentuk cekungan menyebabkan polutan terperangkap dalam cekungan sehingga penyebaran polutan secara horizontal terhambat (Sumaryati, 2011). Sedangkan Serpong dengan topografi berbentuk datar, penyebaran polutan terjadi lebih mudah.

Amonia dapat diemisikan dari sumber antropogenik ataupun secara alami. Amonia diemisikan ke atmosfer sebagai hasil dari pemupukan dengan pupuk industri (misalnya urea yang mengandung amonia), kotoran hewan dan juga dari proses-proses industri. Sebagian besar emisi amonia disebabkan pemecahan pupuk hewan, mineral N yang terkandung dalam pupuk hewan sebesar 50% dari total N akan dilepas sebagai amonia. Sebanyak 80% dari emisi amonia yang ada di atmosfer berasal dari sumber

antropogenik (Behera *et al.*, 2013). Di daerah perkotaan, lalu lintas kendaraan berkontribusi terhadap sumber amonia. Penelitian oleh Löflund *et al.* (2002) menunjukkan bahwa terdapat hubungan linier antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi amonia di daerah perkotaan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Li, Schwab & Demerjian (2006) terdapat pola yang sama antara peningkatan konsentrasi gas amonia dengan peningkatan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dari asap kendaraan bermotor.

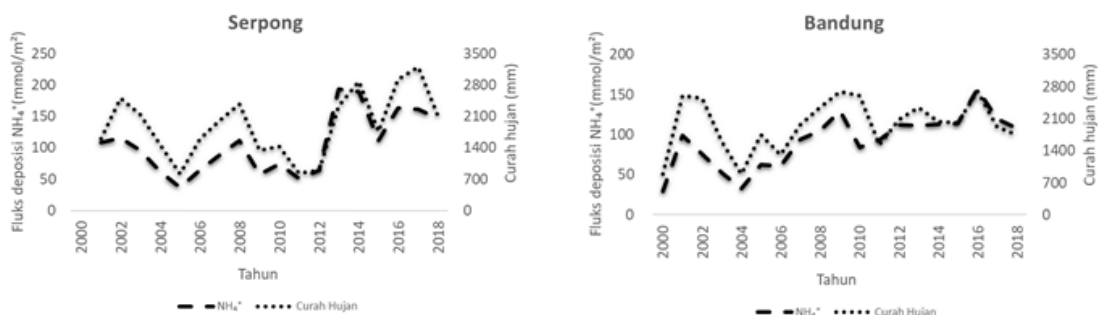
### 3.2. Fluks Deposisi Ion Amonium

Fluks deposisi basah, sangat terkait dengan jumlah dari curah hujan dalam suatu periode pemantauan. Variabilitas nilai fluks deposisi basah berkorelasi dengan perubahan jumlah total curah hujan (Conradie *et al.*, 2016). Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa nilai fluks deposisi amonium berfluktuasi setiap tahunnya dengan mengikuti fluktuasi besarnya nilai curah hujan, baik untuk Serpong maupun Bandung. Kenaikan nilai fluks deposisi yang cukup signifikan terlihat pada daerah Serpong tahun 2013 yaitu 193 mmol/m<sup>2</sup>, dengan persentase kenaikan 200% dari fluks deposisi tahun 2012 yang hanya 64 mmol/m<sup>2</sup>. Sedangkan untuk Bandung, nilai fluks deposisi amonium tertinggi pada tahun 2016, yaitu sebesar 156,9 mmol/m<sup>2</sup>, dengan kenaikan sebesar 272% dari tahun 2000–

2018. Penelitian yang dilakukan di Amerika oleh Du *et al.* (2014), juga menunjukkan kenaikan deposisi amonium secara global di Amerika sebesar 50% dalam kurun waktu 1985 – 2012. Peningkatan deposisi amonium diakibatkan oleh peningkatan emisi NH<sub>3</sub> di atmosfer. Pada daerah dengan laju peningkatan deposisi amonium yang cukup tinggi, diperlukan regulasi yang mengatur tentang emisi NH<sub>3</sub> yang dilepaskan ke atmosfer (Du *et al.*, 2014).

Fluks deposisi amonium dan konsentrasi ion amonium berkorelasi kuat dengan jumlah curah hujan. Konsentrasi ion amonium lebih tinggi pada saat musim kemarau, dan lebih rendah pada saat musim penghujan. Namun untuk fluks deposisi amonium, nilai deposisi mengalami kenaikan pada saat musim penghujan dan mengalami penurunan pada saat musim kemarau. Karakteristik ini sama dengan penelitian yang dilakukan di Afrika Selatan (Conradie *et al.*, 2016).

Curah hujan yang tinggi akan menurunkan konsentrasi tertimbang ion amonium karena proses “pencucian” amonia di atmosfer terjadi secara berkelanjutan pada saat musim hujan, sehingga udara relatif bersih, mengakibatkan meningkatnya fluks deposisi amonium pada tahun dengan jumlah curah hujan tinggi. Sedangkan pada saat musim kemarau proses penghilangan



Sumber: Indrawati *et al.* (2020)

**Gambar 3.** Pola Bulanan dan Musiman Konsentrasi Ion Amonium dalam Air Hujan daerah Serpong dan Bandung Tahun 2000 – 2018

amoniam di udara lebih banyak terjadi dengan cara deposisi kering. Konsentrasi gas amonia di udara lebih tinggi dengan curah hujan yang relatif rendah akan mengakibatkan konsentrasi ion amonium yang larut pada air hujan mempunyai konsentrasi yang tinggi. Namun fluks deposisi amonium akan rendah pada musim kemarau, fluks deposisi amonium dalam air hujan akan lebih sedikit pada tahun dengan jumlah curah hujan yang rendah.

### 3.3. HYSPLIT Model

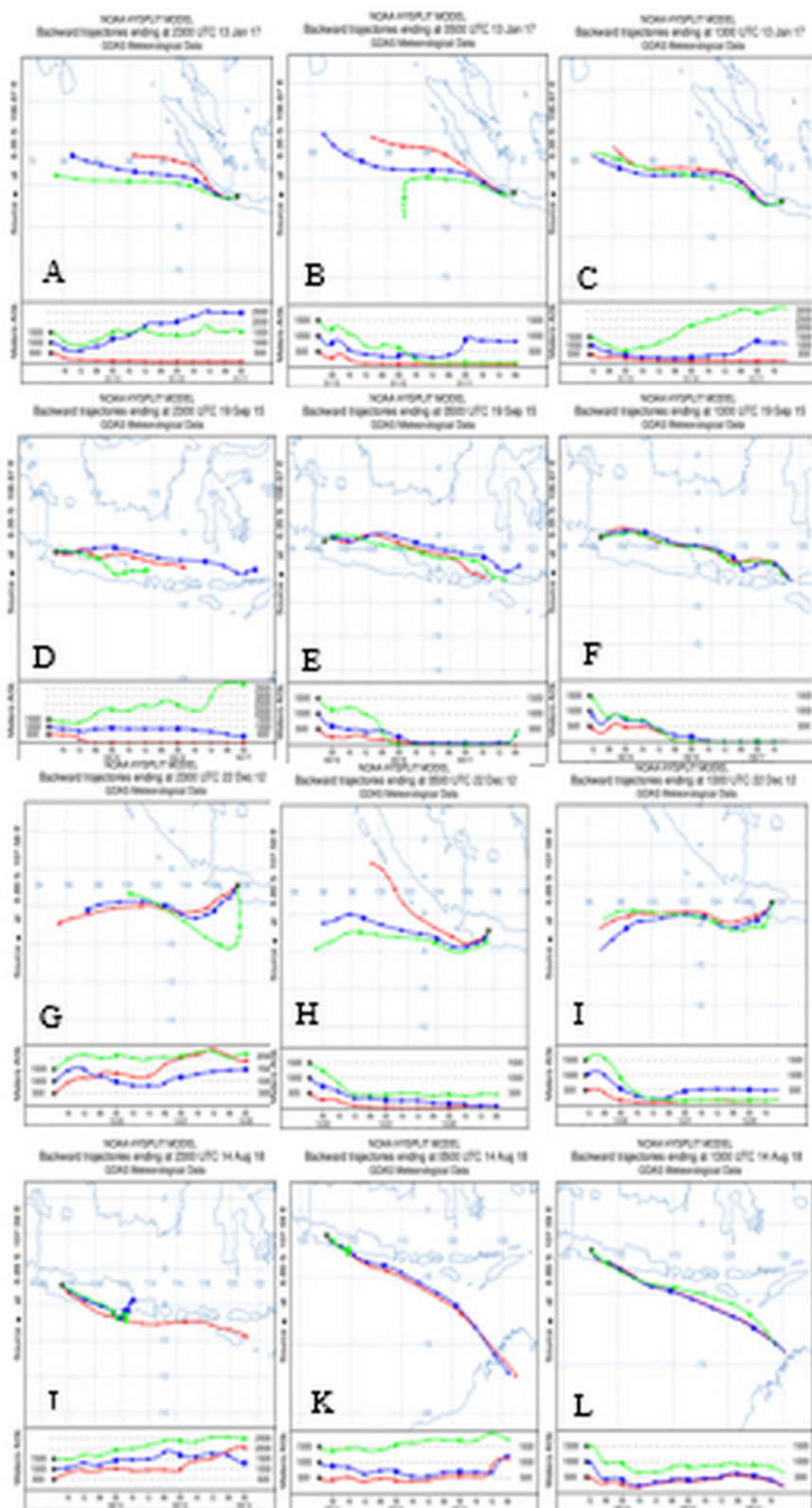
Keberadaan  $\text{NH}_3$  di atmosfer mempunyai umur yang cukup singkat, yaitu kurang dari 5 hari. Namun, jika amonia sudah berubah bentuk menjadi aerosol amonium dimana amonia bereaksi dengan  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  dan  $\text{Cl}^-$  menghasilkan aerosol amonium sulfat, amonium nitrat dan amonium klorida, umurnya menjadi lebih panjang yaitu sekitar 10 hari dan dapat berpindah dan terdeposisi jauh ke tempat lain (Phan, 2013).

Model HYSPLIT dijalankan untuk melihat posisi sumber polutan sebelumnya dengan menggunakan *backward trajectory*. Input data meteorologi yang digunakan yaitu *Global Data Assimilation System* (DGAS) dengan resolusi  $0,5^\circ$  dan  $1^\circ$ . Model HYSPLIT biasanya digunakan untuk membantu memodelkan *transboundary pollution* dan *long range transport air pollution* (Báez, 2007) seperti halnya aplikasi trayektori polutan untuk pengelolaan polusi udara di Indonesia (Sumaryati, 2019). Dalam penelitian ini, model HYSPLIT dijalankan selama 72 jam yang disesuaikan dengan umur amonia di atmosfer, pada bulan kering yang berkesesuaian dengan musim kemarau dan bulan basah yang berkesesuaian dengan musim penghujan, dengan 3 interval waktu, yaitu pukul 06.00 WIB, 12.00 WIB, dan 20.00 WIB dan ketinggian 500, 1000 dan 1500 di atas permukaan tanah. Pemilihan interval waktu berhubungan dengan ketinggian lapisan inversi yang berhubungan dengan

proses penyebaran polutan (Sumaryati, Indrawati & Tanti, 2020).

Model HYSPLIT dijalankan pada bulan dengan nilai konsentrasi ion amonium terendah dan tertinggi dalam kurun waktu 2000 – 2018. Hal ini berhubungan dengan fenomena yang terkait dengan *transboundary pollutant*, yaitu zat pencemar yang dapat melintasi batas wilayah atau negara, yang mempengaruhi besar kecilnya konsentrasi emisi  $\text{NH}_3$ . Untuk Serpong, aplikasi model dijalankan pada bulan Januari 2017 dan bulan September 2015, sedangkan untuk Bandung dilakukan pada bulan Desember 2012 dan Agustus 2018.

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa *backward trajectory* untuk bulan yang berkesesuaian dengan musim hujan, yaitu Januari dan Desember, mempunyai sumber kontribusi polutan yang berbeda dengan bulan yang berkesesuaian dengan musim kemarau, yaitu September dan Agustus. Berdasarkan Gambar 4 (A-C) dan (G-I), untuk musim penghujan, baik untuk Serpong maupun Bandung, sumber polutan berasal dari lautan. Pada musim kemarau untuk Serpong seperti yang terlihat pada Gambar 4 (D-F), sumber polutan amonia dapat berasal dari wilayah timur Indonesia, sekitar daerah Bali bahkan Nusa Tenggara. Sedangkan untuk Bandung yang diperlihatkan pada Gambar 4 (J-L), sumber polutan dapat berasal dari Australia. Berdasarkan informasi yang dirilis oleh *ABC News* ([www.abc.net.au](http://www.abc.net.au)) pada bulan Agustus 2018, di Australia terjadi kebakaran hutan yang cukup besar, sehingga diperkirakan terjadi transportasi polusi udara jarak jauh yang berkontribusi terhadap besarnya nilai deposisi amonium pada bulan Agustus 2018 di Bandung. Hal serupa juga didapatkan pada penelitian di Bandung pada musim kemarau polutan bergerak dari arah tenggara yaitu wilayah Australia, melewati celah dataran rendah yang ada di Bandung untuk selanjutnya bergerak menuju Kota Bandung (Nurlatifah & Driejana, 2019).



Sumber: Indrawati *et al.* (2020)

**Gambar 4.** Hasil Aplikasi Model HYSPLIT di Serpong pada Januari 2017 pukul 06.00 WIB (A), 12.00 WIB (B), 20.00 WIB (C) dan September 2015 pukul 06.00 WIB (D), 12.00 WIB (E), 20.00 WIB (F); di Bandung Desember 2012 pukul 06.00 WIB (G), 12.00 WIB (H), 20.00 WIB (I) dan Agustus 2018 pukul 06.00 WIB (J), 12.00 WIB (K), 20.00 WIB (L).



#### 4. Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan kenaikan tren konsentrasi ion amonium dan fluks deposisi amonium dari tahun 2000–2018 untuk Serpong dan Bandung. Karakteristik musiman terlihat jelas untuk Bandung karena adanya pengaruh faktor topografi dalam penyebaran polutan yang terjadi di Bandung. *Transboundary pollutant* berkontribusi terhadap kenaikan konsentrasi ion amonium di Serpong dan Bandung. Kenaikan yang cukup signifikan untuk konsentrasi ion amonium dan fluks deposisi amonium menunjukkan kebutuhan mengenai regulasi yang berkaitan tentang emisi NH<sub>3</sub> yang dilepaskan ke atmosfer.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih kepada LAPAN dan P3KLL yang telah mendanai penelitian serta kepada tim pelaksana kegiatan pemantauan deposisi asam di kedua instansi.

#### 6. Kepengarangan

Penulis pertama bertanggung jawab terhadap pengolahan data deposisi amonium dan menjalankan aplikasi model HYSPLIT, interpretasi hasil pengolahan data, dan penyusunan tulisan. Penulis kedua bertanggung jawab terhadap analisis laboratorium dan kualitas data untuk deposisi amonium Bandung dan Serpong, serta membantu dalam penulisan dan interpretasi data, sedangkan penulis ketiga bertanggungjawab terhadap data analisis laboratorium deposisi amonium untuk Bandung. Ketiga penulis merupakan suatu kesatuan tim yang tidak terpisahkan.

#### Daftar Pustaka

- Asman, W. A. H., & Hans A. van Jaarsveld. (1994). A variable-resolution transport model applied for NH<sub>x</sub> in Europe. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 26(3), 445-464. doi:[https://doi.org/10.1016/0960-1686\(92\)90329-J](https://doi.org/10.1016/0960-1686(92)90329-J).
- Báez A., R. B., R. García, H. Padilla, M.C. Torres. (2007). Chemical composition of rainwater collected at a southwest site of Mexico City, Mexico. *Atmospheric Research*, 86(1), 61-75. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2007.03.005>.
- Bappeda. (2016). Rencana pembangunan jangka menengah daerah (RPJMD) Kota Tangerang Selatan 2016 – 2021. Retrieved from <https://bappeda.tangerangselatankota.go.id/uploads/perwal/3.pdf>.
- Behera, S. N., Sharma, M., Aneja, V. P., & Balasubramanian, R. (2013). Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies. *Environ Sci Pollut Res Int*, 20(11), 8092-8131. doi:10.1007/s11356-013-2051-9.
- BPN. (2019). Cekungan Bandung. Retrieved from <https://sifataru.atrbpn.go.id/kawasan/Cekungan-Bandung>.
- Butler, T., Vermeylen, F., Lehmann, C. M., Likens, G. E., & Puchalski, M. (2016). Increasing ammonia concentration trends in large regions of the USA derived from the NADP/AMoN network. *Atmospheric Environment*, 146(Desember 2016), 132-140.
- Chao, G., Zi-fa, W., & Gbaguidi, E. A. (2010). Ammonium Variational Trends and the Ammonia Neutralization Effect on Acid Rain over East Asia. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 3, 120 - 126.
- Conradie, E. H., Van Zyl, P. G., Pienaar, J. J., Beukes, J.P., Galy-Lacaux, C., Venter, A. D., & Mkhathshwa, G. V. (2016). The chemical composition and fluxes of atmospheric wet deposition at four sites in South Africa. *Atmospheric Environment*, 146, 113. doi:10.1016/j.atmosenv.2016.07.033.
- Du, E., de Vries, W., Galloway, J. N., Hu, X., & Fang, J. (2014). Changes in wet nitrogen deposition in the United States between 1985 and 2012. *Environmental Research Letters*, 9(9), 095004. doi:10.1088/1748-9326/9/9/095004.

- Duan, L., Q. Yu, Q. Zhang, Z. Wang, Y. Pan, T. Larssen, J. Tang & J. Mulder. (2016). Acid deposition in Asia: Emissions, deposition, and ecosystem effects. *Atmospheric Environment*, 146, 55-69. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.07.018>
- EANET. (2010). *Technical documents for wet deposition monitoring in East Asia*. Niigata.
- EANET. (2018). *Data report of acid deposition in East Asia 2018*. Retrieved from Niigata:
- Keresztesi, A., Sandor, P., Ghita, G., Dumitru, F.D., Moncea, M.A., Ozunu, A. & Szep, R. (2018). Ammonium neutralization effect on rainwater chemistry in the basins of the Eastern Carpathians - Romania. *Revista de Chimie*, 69(1), 57-63.
- Lestari, R. P., Nasution, R. I., Budiwati, T., Rachmawati, E., & Indrawati, A. (2018). Status deposisi basah di beberapa wilayah pemantauan di Indonesia periode 2008-2015. *Ecolab*, 12(2), 71-82.
- Li, Y., Schwab, J. J., & Demerjian, K. L. (2006). Measurements of ambient ammonia using a tunable diode laser absorption spectrometer: Characteristics of ambient ammonia emissions in an urban area of New York City. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D10). doi:10.1029/2005jd006275.
- Liu, M., Huang, X., Song, Y., Tang, J., Cao, J., Zhang, X., . . . Zhu, T. (2019). Ammonia emission control in China would mitigate haze pollution and nitrogen deposition, but worsen acid rain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(16), 7760-7765. doi:10.1073/pnas.1814880116.
- Löflund, M., Kasper-Giebl, A., Stopper, S., Urban, H., Biebl, P., Kirchner, M., . . . Puxbaum, H. (2002). Monitoring ammonia in urban, inner alpine and pre-alpine ambient air. *J Environ Monit*, 4(2), 205-209. doi:10.1039/b109727j.
- News, A. (2018). NSW bushfires: Bega, Ulladulla and Nowra fires downgraded but still out of control. Retrieved from <https://www.abc.net.au/news/2018-08-15/bushfire-out-of-control-fire-near-ulladulla/10122034>.
- Nurlatifah, A., & Drijeana, R. (2019). Penelusuran trajektori aerosol di kota Bandung menggunakan HYSPLIT-4 *back trajectory* model studi kasus: kejadian kabut asap tanggal 23-28 oktober 2015. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 20(2), 91-99.
- Phan, N.-T., Kim, Ki-Hyun, Shon, Zang-Ho, Jeon, Eui-Chan, Jung, Kweon & Kim, Nam-Jin. (2013). Analysis of ammonia variation in the urban atmosphere. *Atmospheric Environment*, 65, 177–185. doi:10.1016/j.atmosenv.2012.10.049
- Singh, S. P., Satsangi, Gursumeeran, Khare, Puja, Lakhani, Anita, Kumari, K. & Srivastava, S.S. (2001). Multiphase measurement of atmospheric ammonia. *Chemosphere - Global Change Science*, 3, 107-116. doi:10.1016/S1465-9972(00)00029-5.
- Sumaryati. (2011). Polusi udara di kawasan cekungan Bandung. *Berita Dirgantara*, 12, 83-89.
- Sumaryati. (2019). Aplikasi trayektori polutan untuk pengelolaan polusi udara. *ANTASENA*, 4, 15 - 17.
- Sumaryati, A. Indrawati, D. A. Tanti. (2020). Kondisi Gradien temperatur terhadap proses pengenceran smog fotokimia di cekungan Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), 219 - 226.
- Wang, Z., Akimoto, H., & Uno, I. (2002). Neutralization of soil aerosol and its impact on the distribution of acid rain over east Asia: Observations and model results. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D19), ACH 6-1-ACH 6-12. doi:10.1029/2001jd001040.