

## **KECENDERUNGAN TEMPORAL DEPOSISI ASAM DI SERPONG DAN JAKARTA (2001-2009): STUDI TRANSBOUNDARY POLUTAN**

**Tuti Budiwati<sup>1</sup>, Sumaryati<sup>1</sup>, Emalya Rachmawati<sup>2</sup> dan Dyah Arles Tanti<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer - LAPAN

Jl. Dr. Junjuran 133, Bandung 40173

<sup>2</sup>Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan-KLH

email: tuti\_japan@yahoo.com

### **ABSTRACT**

*Wet deposition in Serpong and Jakarta from 2001 to 2009 was analysed for their chemical characteristic of rain water and trends. It was found that H<sup>+</sup> ions tend to decrease in 2001 to 2004, with slope 3.84 in Serpong, but in Jakarta increased with slope 6.12. In 2005 to 2009, its trend increased with slope 2.63 in Serpong, but Jakarta decreased with slope 16.12. Pollutant trajectory analysis and transboundary air pollution with Serpong as case studies were also carried out by using software TAPM from CSIRO. There were indications of pollutants mass transfer or transboundary pollutants to Serpong from surrounding cities.*

*Keywords: acid deposition, acid rain, transboundary pollutants*

### **ABSTRAK**

Deposisi basah di Serpong dan Jakarta dari 2001 sampai 2009 dianalisis karakteristik kimia dan kecenderungannya. Hasilnya diperoleh kecenderungan deposisi asam tahun 2001-2004 menurun di Serpong yaitu dengan slope 3,84, tetapi di Jakarta naik dengan slope 6,12 untuk ion H<sup>+</sup>. Tahun 2005-2009, kecenderungan deposisi asam adalah naik di Serpong dengan slope 2,63 sebaliknya Jakarta didapati turun dengan slope 16,12 untuk ion H<sup>+</sup>. Disamping itu dilakukan analisis trayektori polutan dan pembelajaran kasus *transboundary air pollution* di Serpong dengan *software* TAPM (The Air Pollution Model) dari CSIRO. Ada indikasi permindahan *massa* polutan atau *transboundary* polusi untuk Serpong dari sekitarnya.

**Kata kunci:** deposisi asam, hujan asam, transboundary polutan

### **1. PENDAHULUAN**

Dalam periode 2001-2008 di Jakarta, frekuensi hujan

asam yaitu pH di bawah 5,6 adalah 84% dan pH rata-rata 4,9. Hal yang sama adalah Serpong yang berada di sebelah Baratnya dengan rata-rata pH adalah 4,7 dan frekuensi kejadian hujan asam 94% (PUSARPEDAL, 2010). Mengingat perbedaan nilai pH yang tidak begitu besar antara Jakarta dan Serpong, maka perlu diperhitungkan kandungan deposisi asam yang terlarut dalam hujan dan juga jumlah curah hujannya. Hal ini terkait dengan Jakarta adalah daerah urban dengan kepadatan transportasi yang cukup tinggi dibandingkan Serpong sebagai daerah rural dengan kepadatan transportasi yang masih lebih rendah. Hasil penelitian deposisi asam periode 2001-2004 didapati deposisi nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> adalah 150,8 meq.m<sup>-2</sup>.th<sup>-1</sup> di Jakarta (*urban*) dan di Serpong sebagai daerah pedesaan (*rural*) adalah 101,8 meq.m<sup>-2</sup>.th<sup>-1</sup>. Periode 2005-2009 di Jakarta didapati deposisi nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> adalah 99,4 meq.m<sup>-2</sup>.th<sup>-1</sup> dan di Serpong adalah 97,0 meq.m<sup>-2</sup>.th<sup>-1</sup>, terdapat selisih yang relatif kecil yaitu 2,4 meq.m<sup>-2</sup>.th<sup>-1</sup> (Budiwati dkk, 2012). Letak Serpong berjarak sekitar 40 km arah Barat Daya dari kota Jakarta. Ada kemungkinan terjadi *transboundary* polutan yaitu polutan terbawa oleh angin dan terdeposisi di tempat yang jauh dari sumbernya yaitu dari Jakarta ke Serpong.

Polutan-polutan tersebut relatif stabil di atmosfer dan dapat berpindah bersamaan dengan massa udara untuk jarak jauh (Milukaite et al., 2000). Dampak pencemaran udara dalam skala meso atau regional, yang dampaknya dapat mempengaruhi areal yang lebih luas contohnya hujan asam (Stern et al., 1984). Maka dampak dari emisi gas NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan aerosol yang berasal dari kota dan industri di kota Jakarta, Tangerang-Serpong, Bogor, Bekasi, Cilegon dan Serang Banten akan mempengaruhi komponen kimia air hujan dalam skala meso yaitu wilayah di sekitarnya. Angin akan menyebarkan awan atau polutan ke segala arah. Penyebaran polusi udara mengikuti sifat meteorologi lingkungannya dari suatu wilayah ke wilayah lainnya karena kegiatan sumber yang berbeda (Stern et al., 1984; Milukaite et al., 2000). Sifat yang demikian ini berpotensi menyebabkan terjadinya *transboundary pollution*.

Maka kajian observasi meteorologi yang sesuai akan menjelaskan adanya perpindahan masa udara di atmosfer. Penelitian hujan asam sebagai dampak dari penurunan kualitas udara bertujuan memberikan informasi kondisi atmosfer

Indonesia dan kontrol polusi udara. Pengaruh lokasi terhadap pembentukan hujan asam dan deposisi asam di kota-kota Jawa seperti Jakarta dan Serpong di Tangerang yang mengalami perkembangan dari daerah pedesaan menjadi daerah tempat tinggal yang ramai. Dan sangat mungkin mendapatkan dampak penyebaran polutan dari industri di Jawa Barat seperti Tangerang, Cikampek, Bekasi atau dari Jakarta. Penelitian ini sebagai langkah menjawab isu-isu internasional dan nasional tentang deposisi asam sebagai dampak peningkatan gas-gas polutan asam dan potensinya terhadap terjadinya hujan asam.

## **2 DATA DAN METODOLOGI**

### **2.1 Data**

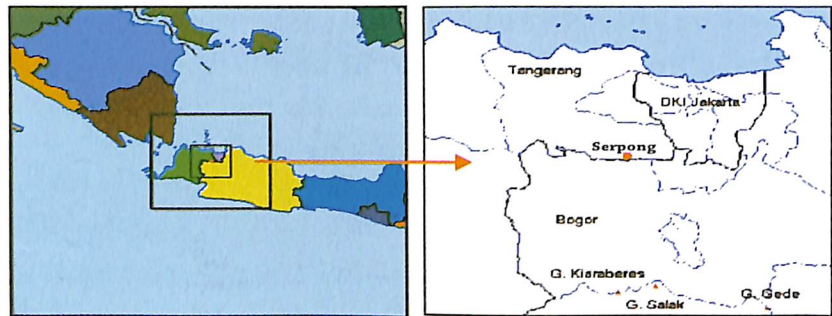
Data yang digunakan adalah  $\text{SO}_2$  dan  $\text{HNO}_3$  di Serpong dari pengamatan oleh Pusarpedal (Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan) KNLH. Selain itu digunakan data kimia air hujan (deposisi basah) yaitu curah hujan (mm), pH, anion:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{Cl}^-$  dalam  $\mu\text{mol/L}$ , dan kation:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dalam  $\mu\text{mol/L}$  rata-rata bulanan dari BMKG (Badan Meteorologi, Geofisika dan Klimatologi) dan Pusarpedal KNLH dari Januari 2001 sampai Desember 2009. Data-data ini telah diuji kualitasnya dengan metode *Quality Assurance/Quality Control (QA/QC)* yang dikeluarkan oleh ADORC-Japan (2001). Untuk analisis angin dan penyebaran polusi udara digunakan data Meteorologi TAPM dari CSIRO Australia

### **2.2 Metodologi**

Pengolahan data deposisi basah yaitu pH, EC (mS/m), anion:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{Cl}^-$  dalam  $\mu\text{mol/L}$ , dan kation:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dalam  $\mu\text{mol/L}$  bulanan dari Januari 2001 sampai Desember 2009 dalam komposisi kimia untuk mengkaji karakteristik lokasi air hujan. Selain itu dihitung pula secara teori non-sea salt (nss)  $\text{SO}_4^{2-}$  and non-sea salt (nss)  $\text{Ca}^{2+}$  (ADORC, (2002; Budiwati dkk, 2012). Perhitungan statistik koefisien korelasi kecenderungan temporal ion-ion utama air hujan seperti nss- $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , nss- $\text{Ca}^{2+}$ , dan  $\text{H}^+$ . Dilakukan pula analisis kecepatan angin, arah angin dan trayektori dengan software TAPM (The Air Pollution Model) dari CSIRO.

*Running* TAPM (The Air Pollution Model) dari CSIRO

Australia hanya dipilih mode meteorologi untuk memperoleh karakteristik meteorologi pencemaran udara, sehingga dapat diperoleh trayektori polutan dari suatu sumber di dalam domain Serpong. Domain Serpong dipilih pada pusat dengan koordinat ( $6^{\circ} 21' \text{LS}$ ,  $106^{\circ} 40,5' \text{BT}$ ) sebanyak  $100 \times 100$  grid, dengan resolusi  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$  dengan domain luar  $1000 \text{ km} \times 1000 \text{ km}$ . *Downscaling* dilakukan dengan resolusi  $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$  pada domain  $300 \text{ km} \times 300 \text{ km}$  dan resolusi  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$  pada domain  $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$  (Gambar 1). Waktu *running* (proses pengolahan data meteorologi) dilakukan pada 11-20 Januari 2009 yang mewakili periode musim hujan 2009 dan 11-20 Juli 2009 yang mewakili periode musim kemarau 2009.



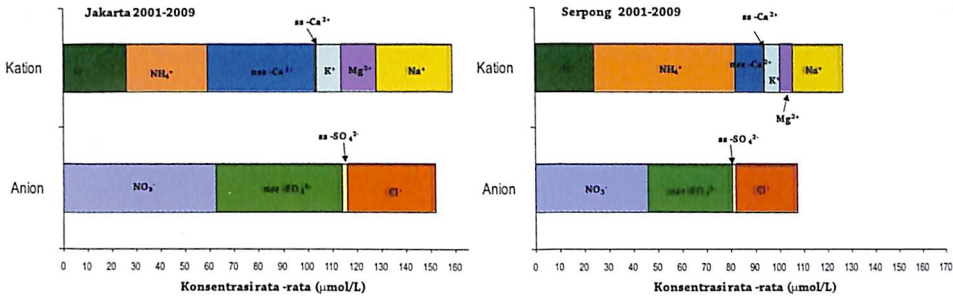
**Gambar 3.1** Serpong dan sekitarnya dalam domain 1 ( $1000 \text{ km} \times 1000 \text{ km}$ ), domain 2 ( $300 \text{ km} \times 300 \text{ km}$ ) dan domain 3 ( $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$ )

### 3 HASIL

#### 3.1 Komposisi Kimia

Gambar 3.2 memperlihatkan karakteristik kimia air hujan di Jakarta dan Serpong dari data rata-rata bulanan (*averaged weighted*) 2001 sampai 2009. Air hujan mengandung bermacam anion dan kation yang terlarut, setelah terjadi penggabungan gas-gas dan aerosol udara ambien. Anion dan kation yang diukur adalah  $\text{SO}_4^{2-}$ , *nss*- $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , *nss*- $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , and  $\text{H}^+$ . Dari komposisi kimia air hujan dapat dinyatakan karakteristik lokasi air hujan. Karakteristik kimia air hujan di Jakarta terlihat didominasi anion utama seperti nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan *nss*-sulfat (*nss*- $\text{SO}_4^{2-}$ ). Selain itu ion-ion dari laut seperti  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{Na}^+$  adalah tinggi, signifikan dengan Jakarta sebagai area pantai (*coastal area*) (Santoso et al., 2012; Hooper, 2001). Hal ini berbeda

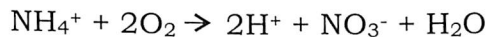
dengan Serpong yang didominasi oleh amonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Serpong sebagai daerah *rural* (pedesaan) masih banyak ditumbuhi tumbuhan-tumbuhan dan terdapat peternakan yang menghasilkan amoniak ( $\text{NH}_3$ ).



**Gambar 3.2** Konsentrasi anion dan kation dalam air hujan di Jakarta dan Serpong dari 2001 sampai 2009

### 3.2 Variasi deposisi basah

*Slope* dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) dari rata-rata tahunan deposisi dihitung untuk Jakarta dan Serpong, dan hasil analisis ditujukan untuk deposisi  $nss\text{-SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $nss\text{-Ca}^{2+}$ , dan  $\text{H}^+$  sebagai parameter deposisi dari  $\Sigma\text{N}$  ( $= \text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) dan  $\text{H}^+_{\text{eff}}$  ( $= \text{H}^+ + 2\text{NH}_4^+$ ), dalam satuan  $\text{meq.m}^{-2}.\text{th}^{-1}$  seperti ringkasan dalam Tabel 3. Total nitrogen ( $\Sigma\text{N}$ ) didefinisikan sebagai jumlah deposisi ion  $\text{NH}_4^+$  dan ion  $\text{NO}_3^-$ , sebagai analisis anion dan kation dari parameter nitrogen. Sedangkan  $\text{H}^+_{\text{eff}}$  dihitung sebagai jumlah dari deposisi  $\text{H}^+$  dan dua kali deposisi  $\text{NH}_4^+$ . Hal ini dipertimbangkan berdasarkan konversi secara mikrobiologi amonium menjadi  $\text{NO}_3^-$  oleh van Breemen et al., 1982 (PR SAD Part I, 2006) sebagai berikut.



Kecenderungan ion-ion utama dan curah hujan di Jakarta dan Serpong diperlihatkan dalam tabel 3.1 dan tabel 3.2. Periode tahun 2005 sampai 2009 memperlihatkan kenaikan yang signifikan dari sulfat, nitrat, chlor, amonium dan calcium di Serpong dan sebaliknya untuk Jakarta.

Di Serpong, didapatkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) tinggi untuk ion  $\text{NO}_3^-$  yaitu 0,897 dengan *slope*  $-9,493 \text{ meq.m}^{-2}.\text{th}^{-1}$  yang menurun selama periode 2001-2004 dan 0,88 dengan *slope*  $7,44 \text{ meq.m}^{-2}.\text{th}^{-1}$  yang berarti naik selama periode 2005-2009. Emisi

sumber nitrat turun dan naik secara signifikan di Serpong.

**Tabel. 3.1** Slope dan koefisien determinasi untuk regresi garis (*linear regression*) dari deposisi rata-rata tahunan 2001-2004.

2001-2004	Jakarta (urban)		Serpong (rural)	
	Slope	R <sup>2</sup>	Slope	R <sup>2</sup>
Curah hujan	62,40	0,22	-79,52	0,045
nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6,51	0,04	-16,42	0,86
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	19,2	0,66	-9,49	0,90
Cl <sup>-</sup>	6,58	0,22	-5,81	0,39
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-18,21	0,58	-17,21	0,75
nss-Ca <sup>2+</sup>	0,58	0,60	-6,04	0,62
H <sup>+</sup>	6,12	0,42	-3,84	0,137
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,99	0,001	-26,71	0,813
H <sup>+</sup> + 2NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-30,30	0,44	-38,27	0,62

**Tabel. 3.2** Slope dan koefisien determinasi untuk regresi garis (*linear regression*) dari deposisi rata-rata tahunan 2005-2009.

2005-2009	Jakarta (urban)		Serpong (rural)	
	Slope	R <sup>2</sup>	Slope	R <sup>2</sup>
Curah hujan	-95,89	0,24	167,8	0,14
nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-22,35	0,62	6,25	0,05
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-19,2	0,57	7,44	0,88
Cl <sup>-</sup>	-14,84	0,60	3,91	0,28
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,63	0,04	9,26	0,17
nss-Ca <sup>2+</sup>	-11,40	0,59	0,44	0,003
H <sup>+</sup>	-16,12	0,84	2,63	0,04
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-17,57	0,43	12,62	0,12
H <sup>+</sup> + 2NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-12,86	0,43	21,13	0,13

Sedangkan untuk Jakarta, koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) yang tertinggi di atas 0,50 adalah 0,62 dengan *slope* -22,35 meq.m<sup>-2</sup>.th<sup>-1</sup> untuk nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> yaitu terjadi penurunan emisi sulfur, dan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) 0,60 dengan *slope* -14,84 meq.m<sup>-2</sup>.th<sup>-1</sup> untuk Cl<sup>-</sup> selama periode 2005-2009. Kenaikan deposisi NH<sub>4</sub><sup>+</sup> terlihat dari nilai *slope* yang positif di Jakarta dan Serpong, selama periode 2005-2009.



### 3.4 Pembelajaran Kasus “*Transboundary Air Pollution*”

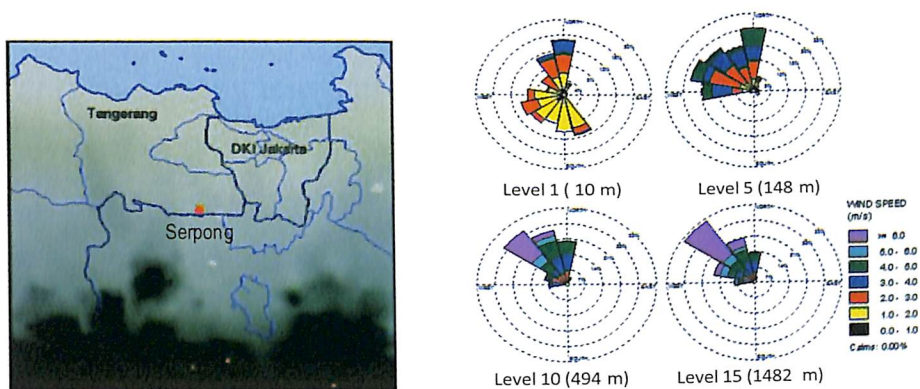
#### • Serpong dan sekitarnya:

Gambar 3.3 memperlihatkan Serpong yang dikelilingi kota-kota dengan jalur transportasi yang padat. Arah ke Utara adalah laut Jawa, sebelah Timur Laut adalah Jakarta yang padat transportasi dan industri. Sebelah Timur terdapat Bekasi yang padat industri dan transportasi dan sebelah Barat Laut terdapat Tangerang yang cukup padat juga transportasi dan industrinya. Bogor terletak di sebelah Selatan dan Tenggara.



**Gambar 3.3** Serpong (lingkaran merah) dan sekitarnya

#### Kajian arah angin 11-20 Januari 2009 di Serpong

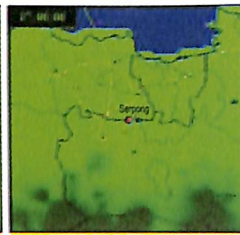
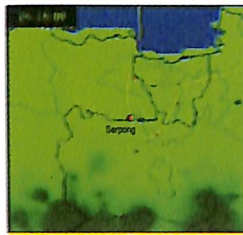
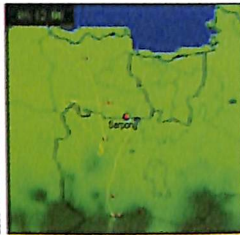


**Gambar 3.4** Arah angin di Serpong 11-20 Januari 2009: Domain 3 (100 km x 100 km)

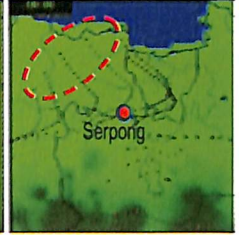
Dari Gambar 3.4, angin permukaan dipengaruhi kuat oleh angin gunung (Selatan) dan angin laut (Utara). Semakin ke atas pengaruh topografi berkurang, sehingga dominan angin global adalah angin Barat Laut dengan kecepatan  $> 6$  m/s. Kecepatan angin semakin ke atas semakin besar.

### Trayektori polutan Januari 2009

3.5-(a)



3.5-(b)



**Gambar 3.5-(a)** Simulasi trayektori polutan di Serpong dan **(b)** Contoh sebaran polutan dari beberapa titik di daerah sebelah Barat Laut Serpong pada pagi, siang, sore dan malam hari di bulan Januari 2009 hasil *running* TAPM

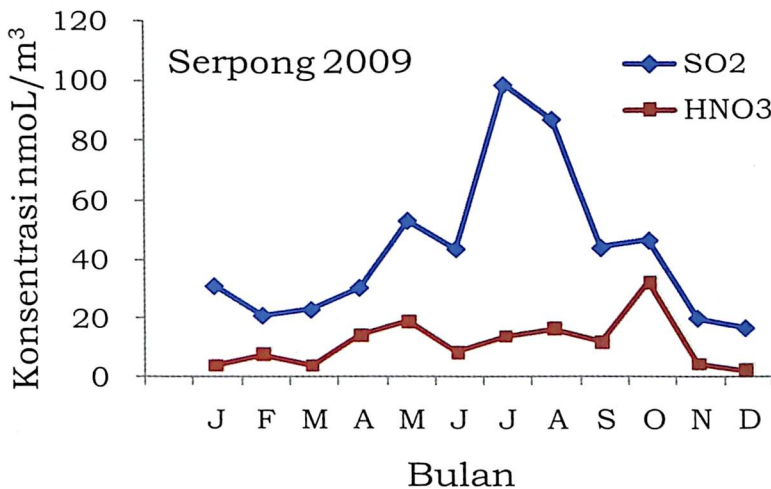
Dari Gambar 3.5-(a) memperlihatkan hasil *running* TAPM (*The Air Pollution Model*) dari 11 sampai 20 Januari 2009 untuk lintasan pada tanggal 17 Januari 2009 pagi hari (jam ke 126 atau hari ke 6 jam 06:00 ). Hasil tersebut adalah bahwa polutan di Serpong berasal dari Barat Laut yang melewati daerah Selatan Serpong, dan pengaruh angin dari barat daya menyebabkan ke arah Timur Laut. Selanjutnya pada jam 12:00 memperlihatkan lintasan polutan bergerak ke Selatan karena pengaruh angin dari Utara pada siang hari. Sedangkan sore hari terlihat lintasan polutan menuju ke arah Timur Laut sampai malam hari, karena angin berasal dari Barat Daya.

Dari Gambar 3.5-b adalah contoh sebaran polutan dari beberapa sumber di daerah Barat Laut Serpong. Berdasarkan contoh pada pagi, siang, sore dan malam hari menunjukkan pada bulan Januari angin Barat Laut atau musim penghujan angin baratan akan membawa polutan dari daerah industri Serang dan Cilegon dari sebelah Barat Laut Serpong.



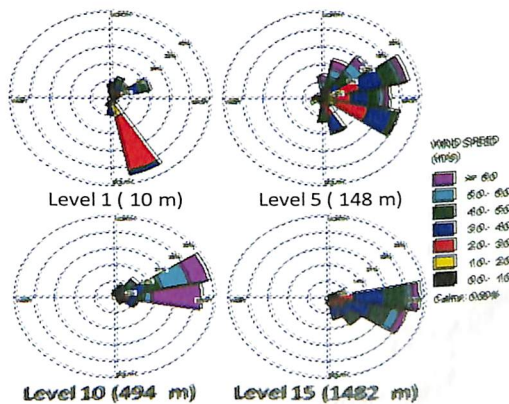
### Kecenderungan SO<sub>2</sub> dan HNO<sub>3</sub> di Serpong

Arah angin pada bulan Juli pada ketinggian diatas 10 m dominan berasal dari timur dan akan membawa polutan dari Jakarta dan Bogor yang padat transportasi. Dampaknya terlihat konsentrasi SO<sub>2</sub> maksimum yaitu 98,64 nmoL/m<sup>3</sup> dan HNO<sub>3</sub> cukup tinggi yaitu 14,32 nmoL/m<sup>3</sup> pada Juli 2009 di Serpong (Gambar 3.6).



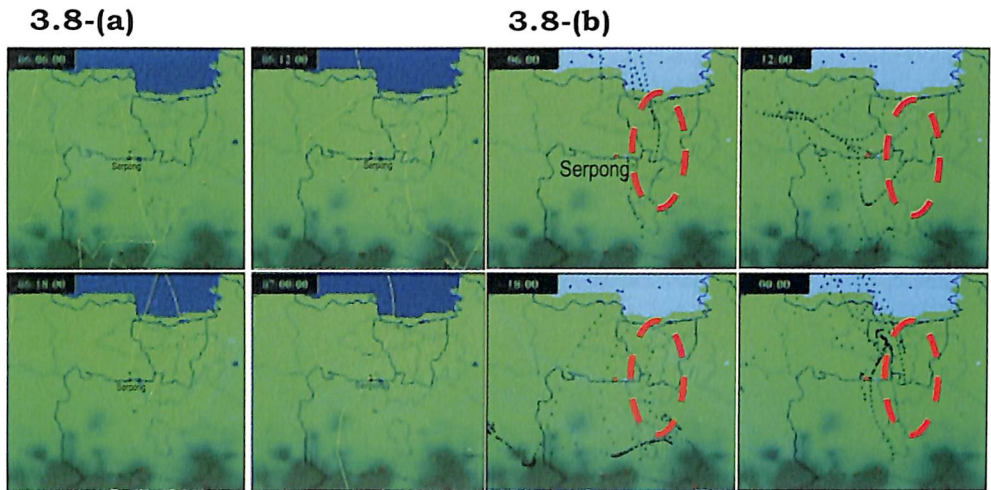
Gambar 3.6 Variabilitas SO<sub>2</sub> dan HNO<sub>3</sub> di Serpong 2009

### Kajian arah angin 11-20 Juli 2009 di Serpong



Gambar 3.7 Arah angin di Serpong musim kemarau (Juli 2009) Domain 3 (100 km x 100 km)

Gambar 3.7 memperlihatkan bahwa angin permukaan pada ketinggian 10 m di bulan Juli 2009 dipengaruhi kuat oleh angin gunung (Selatan Tenggara) dengan kecepatan 2-3 m/s. Semakin ke atas pengaruh angin global dari 148 m sampai 1482 m semakin dominan, yaitu angin dari Timur dengan kecepatan 4-6 m/s.



**Gambar 3.8 (a)** Trayektori polutan di Serpong dan **(b)** Contoh sebaran polutan dari beberapa titik di daerah sebelah Timur Serpong pada pagi, siang, sore dan malam hari di bulan Juli 2009

Gambar 3.8-a dan 3.8-b memperlihatkan hasil running TAPM (The Air Pollution Model) dari 11 sampai 20 Juli 2009, yaitu pada tanggal 17 Juli 2009 pagi hari jam ke 126 atau hari ke 6 jam 06:00) : polutan di Serpong berasal timur yang berputar melintasi selatan Serpong. Selanjutnya pada hari yang sama pada siang hari atau jam ke 132 atau hari ke 6 jam 12:00, polutan di Serpong berasal dari Selatan mirip pada pagi hari sebelumnya ke arah Utara. Pengaruh angin Utara menyebabkan polutan berbalik lagi ke Selatan. Tanggal 17 Juli 2009 sore hari (jam ke 138 atau hari ke 6 jam 18:00): Polutan di Serpong berasal dari Utara. Pada malam hari pengaruh angin gunung dari sebelah Selatan menyebabkan lintasan polutan dari Selatan menuju Utara.

#### 4. PEMBAHASAN

Dan pada musim kemarau sumbangan amonium sulfat  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  dan amonium nitrat  $[\text{NH}_4\text{NO}_3]$  yang terdapat dalam debu-debu tanah akan menaikkan  $\text{NH}_4^+$  dalam air hujan. Anion utama seperti nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan nss-sulfat ( $\text{nss-SO}_4^{2-}$ ) yang berasal dari pembakaran bahan bakar minyak terlihat tinggi dan dominan di Serpong, sebagai indikasi pengaruh sumber antropogenik yang kuat. Sulfur berada dalam partikel atau partikulat umumnya dikarenakan konversi  $\text{SO}_2$  menjadi sulfat melalui proses oksidasi dan homogen. Jadi umumnya, hanya sebagian dari sulfat partikulat adalah hasil sumber lokal dikarenakan tidak cukup waktu untuk berubah. Gas yang berubah menjadi partikel halus akan disebarkan sampai jauh. Sulfur yang terkandung dalam partikel halus (fine particle) dapat menjadi trans-boundary pollutant issue tergantung pada lokasi sumber utama (Hopke et al., 2008). Konsentrasi nss- $\text{Ca}^{2+}$  yang tinggi di Jakarta dan Serpong disebabkan pengaruh debu-debu tanah (gambar 3.2) (Santoso et al., 2012).

Dari karakter angin pada Januari 2009 diduga polutan dipermukaan hanya dipengaruhi oleh daerah di sebelah Utara dengan kecepatan 2-3 m/s, yaitu daerah Tangerang yang berada di sebelah Barat Laut Serpong dan Jakarta dengan kegiatan transportasi dan industri yang padat. Sedangkan angin permukaan yang dari Selatan dengan kecepatan 1-2 m/s tidak begitu memberikan kontribusi polutan dikarenakan daerah Selatan relatif lebih sedikit sumber polusi udara seperti dari sumber transportasi dan industri.

Awan-awan yang aktif dalam proses pencucian (*scavenging*) adalah tebal awan  $h = 1$  km (Andronache, 2004) dan skala tertinggi konsentrasi aerosol (H) adalah 2 km di Jakarta (Pinandito et al., 2000). Maka polutan pada level *boundary* akan berdampak pada pembentukan deposisi asam (hujan asam). Untuk daerah Serpong selain dari sumber lokal juga dapat dipengaruhi dari sumber di sebelah Barat Laut, yaitu industri di daerah Serang dan Cilegon.

Berdasarkan trayektori polutan pada Januari 2009 maka polutan dari Tangerang dan Jakarta yang padat transportasi akan mempengaruhi kualitas udara Serpong pada musim hujan siang

hari. Sedangkan sore hari sampai malam hari pengaruh angin berasal Barat Daya membawa polutan dari wilayah Bogor Barat Daya yang relatif sedikit transportasi dan area hijau.

Pada musim kemarau polutan permukaan di Serpong dipengaruhi angin Tenggara dari daerah Bogor yang padat transportasi tetapi juga pengaruh dari angin gunung yang relatif bersih, sedangkan untuk level *boundary* sampai 2 km angin berasal dari daerah Timur, yaitu daerah perbatasan Jakarta-Bogor dengan transportasi yang padat. Polutan dari Timur berasal daerah industri dari Jakarta yang mempengaruhi Serpong tentunya.

## 5. KESIMPULAN

Kecenderungan deposisi asam tahun 2001-2004 menurun di Serpong, tetapi Jakarta naik. Kecenderungan deposisi asam tahun 2005-2009 adalah naik di Serpong, sebaliknya Jakarta didapati turun. Hasilnya diperoleh kecenderungan deposisi asam tahun 2001-2004 menurun di Serpong yaitu dengan slope 3,84, tetapi di Jakarta naik dengan slope 6,12 untuk ion  $H^+$ . Tahun 2005-2009, kecenderungan deposisi asam adalah naik di Serpong dengan slope 2,63 sebaliknya Jakarta didapati turun dengan slope 16,12 untuk ion  $H^+$ .

Ada indikasi permindahan massa polutan atau transboundary polutan untuk Serpong. Angin pada level 1500 m membawa polutan dari Cilegon dan Tangerang pada musim penghujan. Pada musim kemarau, daerah Serpong dipengaruhi angin dari Timur dan Tenggara serta membawa polutan dari Jakarta dan Bogor. Pada musim hujan terdapat pengaruh polutan dari wilayah Barat yaitu Tangerang dan Banten.

## DAFTAR RUJUKAN

- Andronache, C. (2004): *Estimates of sulfate aerosol wet scavenging coefficient for locations in the Eastern United States*, Atmospheric Environment, V.38, 795-804.
- ADORC, (2001): *Manual Quality Assurance/Quality Control (QA/QC), Program for Wet Deposition Monitoring in East Asia by ADORC Acid Deposition and Oxidant Research Center -Japan.*
- ADORC, (2002): *Manual Quality Assurance/Quality Control (QA/QC), Program for Wet Deposition Monitoring in East Asia by*



*ADORC Acid Deposition and Oxidant Research Center –Japan.*

- Budiwati, T., Setyawati, W., Rachmawati, E., dan Indrawati, A. (2012): *Perbandingan Sulfat dan Amonium Terhadap Nitrat Dalam Deposisi Basah*, Fisika, Dinamika Dan Kimia Atmosfer Berbasis Data Satelit Dan *Insitu*, ISBN: 978-979-1458-58-0, 138-150.
- Hopke, P.K., Cohen David D., Begum Bilkis A., Biswas Swapan K., Bangfa Ni, Pandit G. G, Santoso M., Chung Y. S., Davy P., Markwitz A., Waheed S., Siddique N., Santos F.L., Preciosa Corazon B. Pabroa, Manikkuwadura Consy Shirani Seneviratne, Wimolwattanapun W., Bunprapob S., Vuong T.B., Hien P.D., and Markowicz A. (2008): *Urban air quality in the Asian region*, Science of the Total Environment, Volume 404, Number 1-3, ISSN 0048-9697, Elsevier, www.sciencedirect.com 103-112.
- Hooper, M. (2001): Comparative Study of Regional Aerosol in Tropical Australia and Indonesia, *Proceedings of 7th International Joint Seminar on the Regional Deposition Processes in the Atmosphere*, November 20-22, Tsukuba-Japan, 36-43.
- Mouli, P.C, Mohan, S.V, and Reddy, S.J (2005): Rainwater chemistry at a regional representative urban site: influence of terrestrial sources on ionic composition, *Atmospheric Environment*, No. 39, 999 – 1008.
- PRPAD Part I. (2006): Periodic Report on the State of Acid Deposition in East Asia Part I: Regional Assessment, November 2006.
- PUSARPEDAL, (2010): *Status Deposisi Asam di Indonesia Tahun 2001 – 2008*, 34-35.
- Santoso, M., Lestiani, D.D., and Markwitz, A. (2012): Characterization of airborne particulate matter collected at Jakarta roadside of an arterial road, *J Radioanal Nucl Chem* DOI 10.1007/s10967-012-2350-5.
- Stern, A.C., Boubel, R.W., Turner, D.B., and Fox, L.N. (1984): *Fundamentals of Air Pollution*, second edition, Academic Press INC, Orlando-Florida, 35-45.
- Milukaite, A., Mikelskiene A., and Giedraitis B. (2000): Acidification of the world: Natural and Anthropogenic, *Acid Rain 2000*, Proceeding from the 6 th International Conference on Acidic Deposition: Looking back to the past and thinking of

the future, Tsukuba, Japan, 10-16 December 2000, Vol. I, 1553-1558.

Ministry of Environment-Indonesia, (2007): *State of Environment Report in Indonesia 2006*, pp. 336-349.

Ministry of Environment-Indonesia (KNLH) (2008): *State of Environment Report in Indonesia 2007*, pp. 336-349.

Mouli, P.C, Mohan S.V, and Reddy S.J (2005): Rainwater chemistry at a regional representative urban site: influence of terrestrial sources on ionic composition, *Atmospheric Environment*, No. 39, pp. 999 – 1008.

Pinandito, M., Rosananto I., Hidayat I., Sugondo S., Asiati S., Prabowo A., Matsui I., and Sugimoto N. (2000): *Mie Scattering Lidar Observation of Aerosol Vertical Profiles in Jakarta, Indonesia*, *Environmental Science*, 13 (2), 205-216.