

## **ESTIMASI KETIDAKPASTIAN KONSENTRASI $PM_{2,5}$ DAN $PM_{10}$ DALAM CUPLIKAN PARTIKULAT UDARA AMBIEN**

Indah Kusmartini, Djoko Prakoso DA, Syukria Kurniawati,  
Endah Damastuti, Diah Dwiana L.

Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan – Bandung,  
Jln. Tamansari No 71, Bandung – 40132

### **ABSTRAK**

**ESTIMASI KETIDAKPASTIAN KONSENTRASI  $PM_{2,5}$  DAN  $PM_{10}$  DALAM CUPLIKAN PARTIKULAT UDARA AMBIEN.** Ketidakpastian merupakan suatu hasil pengukuran yang memberikan karakter rentang nilai yang di dalamnya terdapat nilai besaran yang terukur. Penentuan ketidakpastian perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas dan tingkat kepercayaan hasil pengukuran serta untuk menetapkan ketertelusuran pengukuran terhadap satuan internasional. Terkait hal tersebut, Laboratorium Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) sebagai laboratorium yang telah terakreditasi ISO/IEC 17025:2005 menerapkan prosedur untuk mengestimasi ketidakpastian pengukuran. Penentuan konsentrasi massa partikulat udara merupakan salah satu pengukuran yang dilakukan di laboratorium PSTNT sehingga perlu dilakukan estimasi ketidakpastiannya. Kontribusi ketidakpastian berasal dari faktor penimbangan filter dan volume sampling udara. Komponen – komponen kontributor ketidakpastian dijelaskan secara terperinci di dalam makalah ini. Dengan mengambil tingkat kepercayaan 95% (faktor cakupan=2) diperoleh ketidakpastian baku yang diperluas untuk  $PM_{2,5}$  dan  $PM_{10}$  masing-masing sebesar 1,20 dan 1,90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dengan konsentrasi masing-masing 20,94 dan 33,53  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ketidakpastian pengukuran yang diperoleh diharapkan dapat meningkatkan kualitas hasil penentuan kuantifikasi partikulat udara.

*Katakunci: ketidakpastian, partikulat udara,  $PM_{2,5}$  dan  $PM_{10}$*

### **ABSTRACT**

**UNCERTAINTY ESTIMATION OF CONCENTRATION  $PM_{2,5}$  DAN  $PM_{10}$  IN AIR PARTICULATE SAMPLES.** The uncertainty of measurement result that gives the characteristic range of value with in which measureable amount of value. It should be done to increase quality and confidence of analysis result and also to establish traceability of the analysis result to SI unit. Related of that the laboratory Center for Applied Nuclear Science and Technology (PSTNT) as a laboratory that has been accredited to ISO/IEC 17025:2005 apply the procedures for estimating measurement of uncertainty. Determination of mass concentration of airborne particulate matter were to be measured in PSTNT laboratory, therefore its need to be done with estimation of uncertainty. Contribution factor of uncertainty were come from weighing of filter and air particulate sampling. The contributor component of uncertainty source were detailed. The result of expanded uncertainty 95% confidence level (coverage factor of 2) for  $PM_{2,5}$  and  $PM_{10}$  were 1,20 and 1,90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectively with concentration were 20,94 and 33,53  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectively. The uncertainty estimation was expected to increase the quality result of quantification airborne particulate.

*Keywords: uncertainty, airborne particulate,  $PM_{2,5}$  dan  $PM_{10}$*

### **1. PENDAHULUAN**

Laboratorium Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) merupakan laboratorium pengujian yang telah menerapkan secara konsisten standar kompetensi Laboratorium Pengujian &

Kalibrasi ISO/IEC 17025:2008. Pada SNI tersebut, dipersyaratkan bahwa Laboratorium Pengujian harus mempunyai dan menerapkan prosedur untuk mengestimasi ketidakpastian pengukuran. Untuk itu, suatu laboratorium kimia analisis harus dapat menjamin bahwa hasil analisis yang diperoleh

sesuai dengan tujuan yang dimaksud. Salah satu kegiatan penelitian yang dilakukan yaitu peningkatan peran teknik analisis nuklir dalam mendukung kualitas lingkungan, khususnya dalam memperoleh distribusi polutan udara di berbagai wilayah di Indonesia [1,2]. Kuantifikasi jumlah partikulat udara memegang peranan yang sangat penting dengan diperolehnya data karakterisasi polutan udara yang valid pada penentuan konsentrasi partikulat udara. Partikulat udara (*Airborne Particulate Matter- APM*) adalah paduan kompleks senyawa organik dan anorganik dalam bentuk padatan dan cairan. Partikulat udara yang memiliki dampak pada kesehatan manusia dan menjadi parameter suatu pencemaran udara adalah  $PM_{2,5}$  (partikulat udara yang tersuspensi berukuran kurang dari 2,5 mikrometer) dan  $PM_{10}$  (partikulat udara tersuspensi yang berukuran 2,5–10 mikrometer). Jumlah sampel partikulat udara sangat sedikit (dalam skala mikrogram) oleh karena itu diperlukan peralatan yang mampu mengkuantifikasi jumlah partikulat udara dengan ketelitian yang tinggi [3,4,12].

Terkait hal tersebut dalam menjamin kualitas mutu hasil pengukuran suatu laboratorium maka dilakukan ketidakpastian pengukuran konsentrasi partikulat udara yang meliputi pernyataan tentang; apa yang diukur, identifikasi sumber ketidakpastian, estimasi masing-masing komponen ketidakpastian, perhitungan ketidakpastian baku dan ketidakpastian baku yang diperluas. Hasil estimasi ketidakpastian yang diperoleh diharapkan dapat meningkatkan kualitas hasil penentuan kuantifikasi partikulat udara.

## 2. TEORI

Ketidakpastian merupakan parameter hasil pengukuran yang memberikan karakter sebaran nilai-nilai yang secara layak dapat memberikan besaran ukur [5].

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk mengestimasi ketidakpastian adalah :

1. Menetapkan apa yang diukur

Langkah ini merupakan pernyataan mengenai apa yang diukur.

2. Identifikasi sumber ketidakpastian

Mengidentifikasi sumber – sumber ketidakpastian yaitu sumber-sumber yang memberikan kontribusi ketidakpastian, pada setiap proses analisis.

3. Mengkuantifikasi komponen ketidakpastian

Langkah ini dilakukan dengan mengestimasi besarnya ketidakpastian dari masing-masing komponen yang telah diidentifikasi. Terdapat dua kategori komponen ketidakpastian yakni:

- a. Tipe A yaitu ketidakpastian berdasarkan pekerjaan eksperimental dan dihitung dari

rangkaian berulang. Ketidakpastian baku ( $\mu$ ) untuk tipe A diperoleh melalui persamaan :

$$\mu = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

dengan :

- $\mu$  : ketidakpastian baku
- s : simpangan baku
- n : jumlah pengamatan.

b. Tipe B yaitu ketidakpastian berdasarkan informasi/data yang dapat dipercaya, contoh: sertifikat. Untuk ketidakpastian baku tipe B, simpangan baku adalah ketidakpastian itu sendiri, namun perlu dikoreksi terhadap distribusi probabilitas nilai tersebut.

1. Untuk distribusi normal dengan tingkat kepercayaan 95%,

$$\mu(x) = \frac{s}{2} \quad (2)$$

dengan :

- $\mu$  : ketidakpastian baku
- s : simpangan baku

2. Untuk distribusi normal dengan tingkat kepercayaan 99%,

$$\mu(x) = \frac{s}{3} \quad (3)$$

dengan :

- $\mu$  : ketidakpastian baku
- s : simpangan baku

3. Untuk distribusi *rectangular*,

$$\mu(x) = \frac{s}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

dengan :

- $\mu$  : ketidakpastian baku
- s : simpangan baku

4. Untuk distribusi *triangular*,

$$\mu(x) = \frac{s}{\sqrt{6}} \quad (5)$$

dengan :

- $\mu$  : ketidakpastian baku
- s : simpangan baku

Distribusi probabilitas adalah normal bila sebaran data mengikuti bentuk kurva Gauss dengan nilai rata-rata berada di tengah kurva. Distribusi

*rectangular* adalah bila suatu rentang nilai memiliki probabilitas yang sama. Distribusi *triangular* adalah bila suatu sebaran data memiliki rentang dimana terdapat satu nilai yang merupakan nilai terbanyak (modus). Dalam mengestimasi ketidakpastian, perlu diketahui distribusi probabilitas dari suatu nilai, namun bila suatu data tidak diketahui distribusi probabilitasnya ataupun tidak disertai dengan keterangan mengenai tingkat kepercayaan suatu nilai, maka distribusi *rectangular* dapat digunakan [2,5,6].

4. Perhitungan ketidakpastian gabungan baku

Ketidakpastian akhir dari pengukuran diperoleh dengan menggabungkan komponen ketidakpastian baku dari masing-masing sumber. Apabila komponen-komponen bebas dan tidak bergantung satu sama lain seperti umumnya pada kasus pengujian kimia, maka perhitungan ketidakpastian gabungan ( $\mu_G$ ) dapat digolongkan menjadi dua yaitu [7]:

- a. Apabila komponen-komponen ketidakpastian tersebut mempunyai satuan yang sama
  - Dikuadratkan
  - Dijumlahkan
  - Ketidakpastian gabungan adalah akar pangkat dua dari jumlah

$$\mu_G = \sqrt{\mu_a^2 + \mu_b^2 + \dots} \quad (6)$$

Dengan :

- $\mu_G$  : ketidakpastian gabungan
- $\mu_a$  : ketidakpastian faktor a
- $\mu_b$  : ketidakpastian faktor b

- b. Apabila komponen-komponen ketidakpastian tersebut tidak mempunyai satuan yang sama maka:

- Komponen tersebut diubah terlebih dahulu hingga mempunyai satuan yang sama
- Dikuadratkan
- Dijumlahkan
- Ketidakpastian gabungan adalah akar pangkat dua dari jumlah.

$$\mu_G / G = \sqrt{\left(\frac{\mu_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\mu_b}{b}\right)^2 + \dots} \quad (7)$$

Dengan :

- $\mu_G$  : ketidakpastian gabungan
- $\mu_a$  : ketidakpastian faktor a
- $\mu_b$  : ketidakpastian faktor b
- a : faktor a
- b : faktor b
- G : faktor G

- c. Ketidakpastian baku yang diperluas

Tahap terakhir adalah mengalikan ketidakpastian gabungan dengan faktor cakupan yang dikendaki hingga diperoleh ketidakpastian yang diperluas, melalui persamaan :

$$U = k \times \mu_G \quad (8)$$

Dengan :

- U : ketidakpastian yang diperluas,
- K : faktor cakupan (k=2 untuk tingkat kepercayaan 95%, k=3 untuk tingkat kepercayaan 99%)
- $\mu_G$  : ketidakpastian baku gabungan [4].

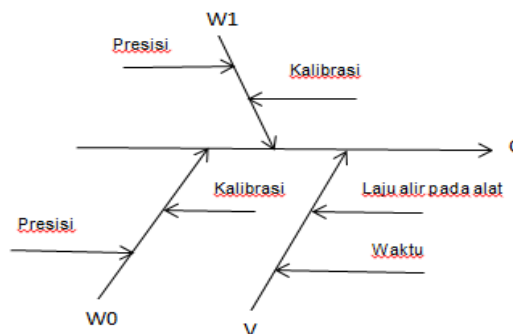
Pada penentuan konsentrasi partikulat udara diukur dengan cara gravimetri, dimana *Particulate Matter* di udara yang terkumpul dalam filter setelah sampling kemudian ditimbang. Konsentrasi partikulat udara merupakan fungsi massa PM yang dikumpulkan dalam volum udara yang ditunjukkan melalui persamaan [8].

$$C = \frac{W}{V} \quad (9)$$

Dengan

- C : konsentrasi,
- W : massa partikulat udara yang terkumpul dalam filter
- V : total volume udara selama sampling.

Komponen – komponen ketidakpastian dalam penentuan konsentrasi partikulat udara digambarkan dalam *cause and effect diagram /grafik tulang ikan*. *Cause and effect* merupakan salah satu alat bantu yang sangat memudahkan untuk menggambarkan hubungan antara setiap sumber dan bagaimana pengaruhnya terhadap ketidakpastian akhir. Selain itu diagram ini juga dapat membantu untuk melihat adanya duplikasi sumber ketidakpastian yang sama [6,8].



Gambar 1. Cause and Effect Diagram Penelitian konsentrasi PM

### 3. TATAKERJA (BAHAN DAN METODE)

#### 3.1 Bahan dan peralatan

Bahan yang digunakan dalam kegiatan ini adalah filter dengan merk *nucleopore* dari bahan polikarbonat dengan diameter 47 mm dan pori-pori filter berukuran 8  $\mu\text{m}$  (*coarse*), serta filter merk *nucleopore* yang berbahan polikarbonat dengan diameter 47 mm dengan ukuran pori-pori 0,4  $\mu\text{m}$  (*fine*) serta filter kontrol *fine* dan *coarse* dari bahan yang sama. Sedangkan peralatan yang digunakan antara lain: cawan petri berdiameter 47 mm, pinset, neraca mikro 0,000001 g, peralatan *Gent stacked filter unit sampler*.

#### 3.2 Pengkondisian Filter

Sebelum digunakan untuk sampling, filter dikondisikan di ruang bersih untuk ditimbang minimal 24 jam. Ruang bersih merupakan ruangan bebas debu dilengkapi dengan *dehumidifier* dan *Air Conditioner* untuk mengendalikan kelembaban udara ruangan pada tingkat kelembaban 45-55% dengan suhu 21–23  $^{\circ}\text{C}$  [3].

#### 3.3 Penentuan massa partikulat udara

Penentuan massa partikulat udara dilakukan secara gravimetrik yaitu penentuan konsentrasi partikulat udara yang didasarkan pada perbedaan berat filter sebelum dan sesudah sampling sehingga diperoleh massa partikulat udara [11]. Pada kegiatan ini terlebih dahulu dilakukan penimbangan terhadap filter kontrol *fine* dan *coarse*, sebanyak 3 kali pengulangan. Setelah itu dilakukan penimbangan terhadap filter *fine* dan *coarse* yang akan digunakan untuk sampling sebanyak 3 kali pengulangan hingga diperoleh berat filter yang stabil. Hal yang sama dilakukan terhadap filter cuplikan sesudah sampling.

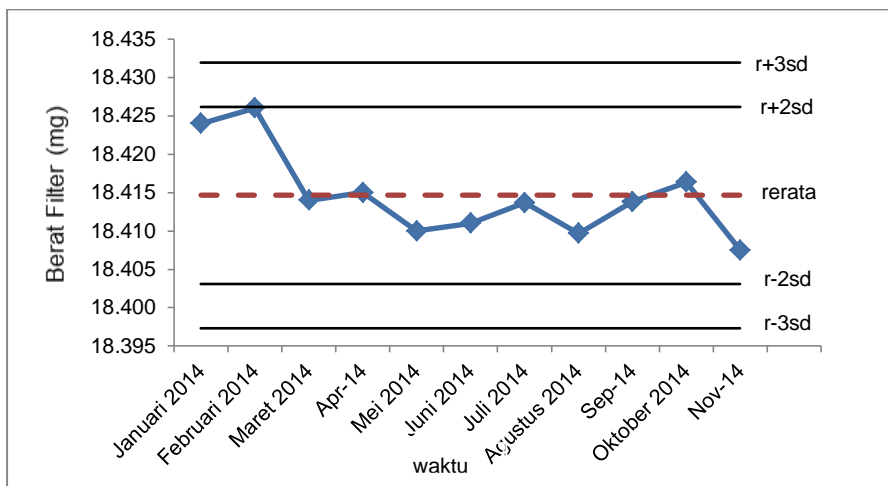
#### 3.4 Sampling partikulat udara ambien

Pengambilan cuplikan dilakukan di PSTA-BATAN Yogyakarta, selama 24 jam menggunakan

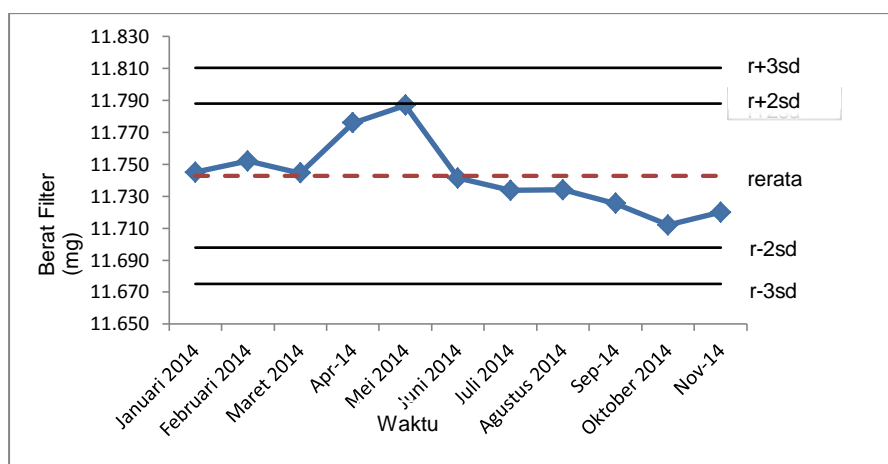
*Gent Stacked Filter Unit Sampler*. Dalam setiap kali pengambilan cuplikan digunakan dua jenis filter *Nucleopore* polikarbonat yaitu filter halus (berpori-pori 0,4  $\mu\text{m}$ ) dan filter kasar (berpori-pori 0,8  $\mu\text{m}$ ). *Gent sampler* diatur pada laju alir sekitar 16–18 L/min, karena karakteristik laju alir *Gent Sampler* berada pada 16-18 L/min. Ketika alat *Gent* dinyalakan, maka pompa vakum pada alat akan bekerja yang membuat udara masuk ke dalam kontainer melalui tahapan *impactor*. Pada tahapan *impactor* yang berukuran 10  $\mu\text{m}$ , partikel debu diseleksi mulai ukuran 10  $\mu\text{m}$ . Karena bentuknya yang aerodinamik, filter kasar dengan ukuran pori-pori 8  $\mu\text{m}$  yang seharusnya menyaring partikel berukuran 8-10  $\mu\text{m}$ , dengan laju alir 16-18 L/min maka filter kasar berubah fungsi sehingga menangkap partikel dengan ukuran 2,5-10  $\mu\text{m}$ . Filter halus dengan pori-pori 0,4  $\mu\text{m}$  yang seharusnya menangkap partikel dengan ukuran 0,5-2,5  $\mu\text{m}$ , dengan laju alir 16-18 L/min dapat menangkap partikel debu dengan ukuran 0-2,5  $\mu\text{m}$  karena karakteristik diameter yang aerodinamik [3]. Filter halus dan filter kasar setelah sampling dikondisikan dalam ruang bersih kemudian dilakukan penimbangan.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada kegiatan ini dilakukan estimasi ketidakpastian pengukuran konsentrasi partikulat udara  $\text{PM}_{2,5}$  dan  $\text{PM}_{10}$  secara gravimetri. Penimbangan filter halus (*fine*) dengan pori-pori berukuran 0,4  $\mu\text{m}$  dan filter kasar (*coarse*) dengan pori-pori berukuran 8  $\mu\text{m}$  menggunakan neraca mikro. Metode gravimetri tersebut merupakan pengukuran yang sederhana, namun memiliki komponen ketidakpastian yang luas dalam penentuan konsentrasi cuplikan [8]. Untuk menjamin mutu hasil pengujian maka dilakukan kalibrasi internal terhadap neraca mikro secara berkala setiap 3 bulan sekali dan penimbangan filter kontrol setiap akan dilakukan penimbangan. Kontrol kendali unjuk kerja penimbangan filter kontrol *fine* dan *coarse* dari bulan Januari hingga bulan November 2014 ditampilkan pada Gambar 2. dan Gambar 3.



Gambar 2. Kontrol kendali unjuk kerja penimbangan filter fine kontrol



Gambar 3. Kontrol kendali unjuk kerja penimbangan filter coarse kontrol

Pada Gambar 2. Kontrol kendali unjuk kerja filter *fine* menunjukkan bahwa berat filter kontrol selama bulan Januari hingga November 2014 cenderung naik atau turun namun pada bulan Februari berat filter mengalami kenaikan berada pada nilai batas peringatan atas ( $\text{rata-rata}+2\text{sd}$ ) dan pada bulan November mengalami penurunan mendekati nilai batas peringatan bawah ( $\text{rata-rata}-2\text{sd}$ ). Sedangkan pada Gambar 3. Kontrol kendali filter *coarse* pada bulan Mei 2014 juga mengalami kenaikan nilai yang berada pada nilai batas peringatan atas ( $\text{rata-rata}+2\text{sd}$ ). Berat filter kontrol yang mengalami kenaikan dan penurunan tersebut masih berada pada nilai batas peringatan atas dan batas peringatan bawah yang secara statistik dapat dikatakan unjuk kerja filter *fine* dan *coarse* masih berada dalam kondisi berat filter yang stabil. Pada kegiatan ini, sebelum dilakukan penimbangan, filter *fine* dan *coarse* dikondisikan dalam ruangan yang telah terkondisikan pada suhu 21–23 °C dan kelembaban

relatifnya 45-55% minimal 24 jam. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi sifat elektrostatik pada filter yang berbahan polikarbonat sehingga mempengaruhi pada ketidakstabilan penimbangan filter [9]. Setelah filter terkondisikan kemudian ditimbang dengan pengulangan sebanyak 3 kali dan dihitung rata-rata nilai penimbangannya. Estimasi ketidakpastian penentuan  $\text{PM}_{2.5}$  dan  $\text{PM}_{10}$  dilakukan secara sistematis sesuai dengan langkah yang tertera pada teori.

#### 4.1 Penetapan/pernyataan mengenai apa yang diukur.

Pengukuran yang dilakukan yaitu menentukan konsentrasi  $\text{PM}_{2.5}$  dan  $\text{PM}_{10}$  secara gravimetri. Pada Tabel 1. Menunjukkan bobot cuplikan pada  $\text{PM}_{2.5}$  dan  $\text{PM}_{10}$  masing-masing 544 dan 872  $\mu\text{g}$ . nilai tersebut diperoleh dari hasil pengurangan bobot filter cuplikan dikurangi bobot filter kosong

Sedangkan konsentrasi  $PM_{2,5}$  dan  $PM_{10}$  masing-masing 20,94 dan 33,53  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nilai konsentrasi partikulat udara tersebut diperoleh dari persamaan 9. Bobot cuplikan partikulat udara terhadap total volum udara selama sampling.

#### 4.2 Identifikasi sumber – sumber ketidakpastian

Sumber – sumber ketidakpastian yang dapat memberikan kontribusi yaitu pada penimbangan

filter dan sampling partikulat udara. Komponen ketidakpastian pada penimbangan meliputi: kalibrasi neraca dan daya ulang penimbangan filter. Sedangkan komponen pada sampling meliputi: volum udara, waktu dan laju alir pada alat *gent stack*.

**Tabel 1. Bobot Cuplikan dan konsentrasi Partikulat Udara**

Partikulat Udara	Bobot Cuplikan ( $\mu\text{g}$ )	Volum udara ( $\text{m}^3$ )	Konsentrasi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
$PM_{2,5}$	544	26	20,94
$PM_{10}$	872	26	33,53

**Tabel 2. Sumber ketidakpastian penimbangan massa partikulat udara  $PM_{2,5}$  dan  $PM_{10}$**

Partikulat udara	Sumber ketidakpastian	s ( $\mu\text{g}$ )	Faktor koreksi	Ketidakpastian ( $\mu\text{g}$ )
$PM_{2,5}$	Kalibrasi neraca	3,7	2	0,00694
	Presisi	0,00122	1	0,00244
$PM_{10}$	Kalibrasi neraca	3,7	2	0,00433
	Presisi	0,00178	1	0,00355

#### 4.3 Kuantifikasi ketidakpastian masing-masing komponen.

##### a. Penentuan estimasi ketidakpastian penimbangan

Ketidakpastian penimbangan massa partikulat udara pada Tabel 1. meliputi: kalibrasi yang diperoleh dari sertifikat kalibrasi eksternal neraca dengan nilai simpangan 3,7  $\mu\text{g}$ . Hasil kalibrasi mencantumkan tingkat kepercayaan 95% sehingga ketidakpastian yang tercantum dalam sertifikat harus dibagi 2 terlebih dahulu dan dikalikan kembali dengan faktor 2 karena penimbangan dilakukan dengan selisih berat. Sedangkan presisi yang tertera pada Tabel 2. diperoleh dari bobot cuplikan untuk  $PM_{2,5}$  dan  $PM_{10}$  masing-masing 544 dan 872 yang tertera pada Tabel 1. dengan 3 kali pengulangan dan data yang dihasilkan pada ketidakpastian presisi memiliki distribusi normal, dengan demikian faktor koreksi 1 digunakan, namun dikalikan kembali dengan faktor 2 karena penimbangan dilakukan dengan selisih berat [2]. Nilai ketidakpastian yang diperoleh dapat terlihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2. Terlihat ketidakpastian kalibrasi neraca pada  $PM_{2,5}$  dan  $PM_{10}$  masing-

masing 0,00694 dan 0,00433  $\mu\text{g}$  sedangkan ketidakpastian presisi  $PM_{2,5}$  dan  $PM_{10}$  masing-masing 0,00244 dan 0,00355  $\mu\text{g}$ .

##### b. Penentuan estimasi ketidakpastian sampling

Ketidakpastian sampling ditunjukkan pada Tabel yang meliputi: nilai ketidakpastian alat *flowrate* yang tertera pada sertifikat kalibrasi dengan nilai 0,00102  $\text{m}^3/\text{menit}$ . Hasil kalibrasi mencantumkan tingkat kepercayaan 95% sehingga ketidakpastian yang tercantum dalam sertifikat harus dibagi dengan faktor 2. Selain itu yang mempengaruhi ketidakpastian sampling yaitu waktu pengambilan sampel partikulat udara selama 1416 menit dengan volume udara sebesar 26  $\text{m}^3$  pada pengambilan sampel partikulat udara. Data-data tersebut memiliki distribusi normal dengan demikian faktor koreksi 1 digunakan.

**Tabel 3. Ketidakpastian sampling udara**

Komponen ketidakpastian sampling udara	S	Faktor koreksi	Ketidakpastian
Flowrate (m <sup>3</sup> /menit)	0,00102	2	0,0278
Volume (m <sup>3</sup> )	26	1	
Waktu (menit)	1416	1	

**4.4 Perhitungan ketidakpastian gabungan baku**

Nilai ketidakpastian yang diperoleh dari komponen-komponen yang memberikan kontribusi nyata terhadap ketidakpastian kemudian digabungkan dengan menggunakan metode relatif (aturan 2 teori pada persamaan 7). Dari nilai aturan teori tersebut diperoleh ketidakpastian gabungan baku dengan persamaan 10. Pada Tabel 4. Terlihat sumber-sumber ketidakpastian dalam menentukan ketidakpastian gabungan. Sumber ketidakpastian pada PM<sub>2,5</sub> dan PM<sub>10</sub> yaitu kalibrasi neraca, presisi, sampling volume udara dan konsentrasi PM dengan nilai masing-masing 0,00694 µg ;0,00244 µg ;0,02778 m<sup>3</sup>/menit ;20,94 µg/m<sup>3</sup> serta 0,00433 µg ;0,00355 µg ;0,02778 m<sup>3</sup>/menit ;33,53 µg/m<sup>3</sup>. Sumber-sumber ketidakpastian tersebut digunakan untuk menghitung nilai ketidakpastian gabungan menggunakan persamaan 10.

$$\mu PM = PMx \sqrt{2\left(\frac{SA}{1,96W}\right)^2 + \left(\frac{SB}{\sqrt{n}.W}\right)^2 + \left(\frac{\left(\frac{\mu R}{2}\right)t}{V}\right)^2} \quad (10)$$

Dengan :

- µPM: Ketidakpastian gabungan konsentrasi partikulat udara( µg/m<sup>3</sup>)
- SA : Nilai ketidakpastian neraca yang tertera pada sertifikat (µg)
- SB: Standar deviasi (µg)
- n: Jumlah pengulangan
- W: Bobot cuplikan (µg)
- µR: Nilai ketidakpastian alat flowrate (m<sup>3</sup>/menit)
- t : Waktu pengambilan sampling udara (menit)
- V: Volum udara pada pengambilan cuplikan udara (m<sup>3</sup>)

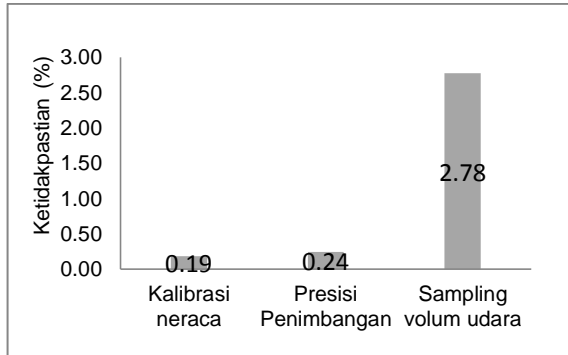
**Tabel 4. Sumber ketidakpastian, ketidakpastian gabungan dan ketidakpastian yang diperluas**

Sumber Ketidakpastian	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
Kalibrasi neraca (µg)	0,00694	0,00433
Presisi (µg)	0,00244	0,00355
Sampling volume udara (m <sup>3</sup> /menit)	0,02778	0,02778
Konsentrasi PM (µg/m <sup>3</sup> )	20,94	33,53
Ketidakpastian Gabungan (µg/m <sup>3</sup> )	0,602	0,950
Ketidakpastian yang diperluas (µg/m <sup>3</sup> )	1,20	1,90

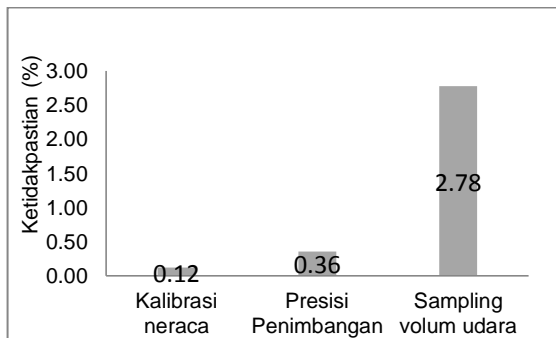
Pada Tabel 4. diperoleh nilai ketidakpastian gabungan untuk PM<sub>2,5</sub> dan PM<sub>10</sub> masing-masing 0,602 dan 0,950 µg/m<sup>3</sup>.

**4.5 Perhitungan ketidakpastian yang diperluas.**

Tahap terakhir dari perhitungan ketidakpastian adalah mengalikan ketidakpastian gabungan dengan suatu faktor pencakupan (k) ketidakpastian untuk mendapatkan nilai ketidakpastian diperluas (U) dengan tingkat kepercayaan tertentu. Pada kegiatan ini menggunakan nilai k=2 (atau tepatnya 1,96) yang akan memberikan tingkat kepercayaan 95% dengan nilai PM<sub>2,5</sub> dan PM<sub>10</sub> masing-masing 1,2 dan 1,9 µg/m<sup>3</sup> yang terlihat pada Tabel 4.



**Gambar 4. Ketidakpastian relatif masing-masing  $PM_{2,5}$**



**Gambar 5. Ketidakpastian relatif masing-masing  $PM_{10}$**

Dari Gambar 4 dan Gambar 5 terlihat bahwa kontribusi ketidakpastian terbesar berasal dari sampling udara. Ketidakpastian yang diperluas (U) relatif terhadap konsentrasi  $PM_{2,5}$  dan  $PM_{10}$  dalam sampel yang diperoleh sebesar 5,7%. Nilai ini masih berada di bawah nilai simpangan baku relatif maksimum (29,42%). Nilai simpangan baku relatif tersebut diperoleh dari nilai Horwitz yang merupakan presisi dari suatu pengukuran [10]. Estimasi ketidakpastian ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas hasil penentuan konsentrasi  $PM_{2,5}$  dan  $PM_{10}$  dalam cuplikan partikulat udara.

## 5. KESIMPULAN

Pada tingkat kepercayaan 95% (faktor cakupan=2) diperoleh ketidakpastian baku yang diperluas untuk  $PM_{2,5}$  dan  $PM_{10}$  masing-masing sebesar 1,20 dan 1,90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dengan konsentrasi masing-masing 20,94 dan 33,53  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ketidakpastian pengukuran yang diperoleh diharapkan dapat meningkatkan kualitas hasil penentuan kuantifikasi partikulat udara.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. ANONYMOUS, ketidakpastian-pengukuran-pada-analisis-udara-ambient.html <http://www.trainingiso17025.asia/estimasi-> , diakses tanggal 6 Juli 2014.
2. DAMASTUTI, E., MUHAYATUN., DWIANA, L (2009), Evaluasi Ketidakpastian Analisis Aktivasi Neutron Pada Penentuan Unsur Zn Dalam Sampel Makanan. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir. PTNBR – BATAN Bandung, 3 Juni 2009.
3. PRAKOSO, D., SUHERMAN, N., KURNIAWATI, S (2011), Sampling Partikulat Udara pada Lingkungan udara Terbuka (Ambien). Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir. PTNBR – BATAN Bandung, 22 Juni 2011.
4. KURNIAWATI, S., DWIANA D., PRAKOSO, D., KUSMARTINI, I. (2011) Evaluasi Unjuk Kerja neraca Mikro Sebagai Implementasi Sistem Mutu Laboratorium Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir. PTNBR – BATAN Bandung, 22 Juni 2011.
5. KAN, DP.01.23. Pedoman Evaluasi dan Pelaporan Ketidakpastian Pengukuran. Juni 2005.
6. SUSANTO, Y. Estimasi Ketidakpastian Dalam Pengukuran/Pengujian dalam Pengukuran/Pengujian Kimia. LIPI. 2010
7. KANTASUBRATA, J., Dasar Ketidakpastian Pengukuran, Pelatihan Laboratorium Terpadu FMIPA UI (2004).
8. PRICE, JE., LACEY, RE., SHAW, BW., PARNELL CB., “Uncertainty Associated With Particulate Matter Concentration Measurement From Agricultural Operations” (Center for Agricultural Air Quality Engineering and Science), Texas A&M University, College Station, TX.
9. MAENHAUT, W., FRANCOIS, F., AND CAFMEYER, J. The “Gent” Stacked Filter Unit (SFU) Sampler for the Collection of Atmospheric Aerosols in Two Size Fractions: Description and Instructions for Installation and Use, Report No. NAHRES-19, International Atomic Energy Agency, Vienna (1993) 249-263.
10. AOAC, “Guidelines for Singel laboratory Validation of Chemical Methods for Dietary Supplements and Botanicals”. 19 Desember 2002.
11. RTI, “Standar Operating procedure for particulate Matter (PM) Gravimetric Analysis” (Revision 9), 8 Juli 2008.
12. TUOMISTO, JT., WILSON, A., EVANS, JS., TAINIO M, “Uncertain in Mortality



Response to airborne Fine Particulate Matter:  
Combining European Air Pollution Axperts”,  
Centre for Environmental health Risk  
Analysis, USA, (2006).