

KARAKTERISTIK PARTIKULAT UDARA AMBIEN DAN TERESPIRASI DI SEKITAR KAWASAN INDUSTRI NON FORMAL

Muhayatun Santoso¹, Mariana Marselina², Diah Dwiana Lestiani¹, Rita Mukhtar³

¹Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan, Badan Tenaga Nuklir Nasional,
Jl. Tamansari 71, Bandung 40132

²Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung

³Pusat Penelitian dan Pengembangan Kualitas dan Laboratorium Lingkungan, Kementerian
Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kawasan Puspiptek Serpong
Email: hayat@batan.go.id

Diterima: 15-01-2016

Diterima dalam bentuk revisi: 01-03-2016

Disetujui: 07-03-2016

ABSTRAK

KARAKTERISTIK PARTIKULAT UDARA AMBIEN DAN TERESPIRASI DI SEKITAR KAWASAN INDUSTRI NON FORMAL. Penelitian karakterisasi partikulat udara ambien dan paparan partikulat terespirasi di sekitar kawasan industri aki bekas non formal Parung Panjang dilakukan sebagai tindak lanjut hasil penelitian sebelumnya tentang pencemaran Pb di kawasan Serpong. Pengambilan sampel partikulat udara ambien di Parung Panjang dilakukan menggunakan *Gent sampler*, sedang partikulat terespirasi di kawasan industri non formal parung panjang dan Sukarasa tangerang (kontrol) dikumpulkan menggunakan personal dust sampler, pada periode 2011 hingga 2012. Penentuan konsentrasi massa partikulat dilakukan secara gravimetri, sedang konsentrasi unsur menggunakan metode berbasis sinar-X. Hasil rerata konsentrasi massa udara ambien PM_{2,5} dan PM₁₀ Parung Panjang masing-masing sebesar 27,3 ± 13,7 dan 77,5 ± 17,1 µg.m⁻³, sedang rerata konsentrasi partikulat terespirasi di kawasan industri non formal dan kontrol masing-masing sebesar 260 ± 233 dan 82 ± 38 µg.m⁻³. Rerata konsentrasi Pb pada PM_{2,5} dan PM_{2,5-10} masing-masing mencapai 45 dan 10 %. Prosentase konsentrasi maksimum unsur Pb pada partikulat terespirasi kawasan Industri non formal dan kontrol, masing-masing mencapai 12,11 dan 0,27 %. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Pb pada partikulat tersespirasi di wilayah industri non formal secara signifikan mencapai puluhan kali dibandingkan di wilayah kontrol. Tingginya konsentrasi Pb di Parung panjang merupakan penanda utama yang berasal dari kegiatan pengolahan aki bekas serta merupakan salah satu sumber yang berkontribusi pada pencemaran Pb di wilayah Serpong.

Kata kunci: PM_{2,5}, PM₁₀, partikulat terespirasi, Pb, aki bekas, Serpong.

ABSTRACT

CHARACTERISTIC OF AMBIENT AIRBORNE AND RESPIRABLE PARTICULATE AROUND A NON FORMAL INDUSTRIAL AREA. Characterization of airborne particulate matter and respirable particulate in Parung Panjang district especially on surrounding non formal used batteries industrial area has been carried out to follow up the previous results with respect to high concentrations of lead detected in Serpong area. Sampling of airborne particulate matter in Parung Panjang was conducted using Gent stacked filter unit sampler, while the respirable particulate matter samples collected using personal dust sampler in Parung Panjang as a non formal Industrial area and Sukarasa village as a control, during 2011-2012. The concentration of masses were determined gravimetrically, while for elemental concentrations by X-Ray based methods. The average of mass concentration of air ambient PM_{2,5} and PM₁₀ in Parung Panjang were 27.3 ± 13.7 and 77.5 ± 17.1 µg.m⁻³, respectively. While the average concentration of respirable particulate in non formal industrial and control areas were 260 ± 233 and 82 ± 38 µg.m⁻³, respectively. The percentage of average Pb concentration in PM_{2,5} and PM_{2,5-10} were contribute up to 45 and 10 % of the mass concentration, respectively. The maximum percentage concentration of Pb in respirable particulate in industrial and control area were 12.11 and 0.27 %, respectively. These results showed that the Pb concentrations in respirable particulate in

industrial area were significantly tens times higher than in the control area. The high concentration of Pb in Parung panjang was the main key element came from the used lead battery industry and one of pollutant source that contributed to the Pb pollution in Serpong area.

Keywords: PM_{2.5}, PM₁₀, respirable particulate, Pb, used batteries, Serpong.

1. PENDAHULUAN

Salah satu dampak negatif dari peningkatan kegiatan industri adalah meningkatnya pencemaran udara yang dapat membahayakan kesehatan masyarakat. Pencemaran udara khususnya pencemaran Pb di kawasan Industri daerah Serpong dan sekitarnya, telah mulai terdeteksi sejak tahun 1996 (1). Serangkaian kegiatan riset telah dilakukan untuk memperoleh solusi penanggulangan yang tepat. Untuk mendapatkan sebuah rekomendasi yang berbasis *scientific research* yang valid dan akurat, maka studi komprehensif tentang kontributor pencemar Pb tersebut sangat diperlukan. Sehubungan dengan hal tersebut, pada tahun 2009 – 2011, Badan Tenaga Nuklir Nasional dan Kementerian Lingkungan Hidup telah melakukan kerjasama penelitian berupa pemantauan di 26 titik lokasi sampling di daerah kawasan industri dan perumahan yang tersebar pada radius 5, 10 hingga 20 km dari titik sentral kawasan industri di daerah Cikupa. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa konsentrasi Pb pada PM_{2.5} di daerah Tangerang dan sekitarnya berada pada level ratusan bahkan ribuan ng.m⁻³ serta berbeda secara signifikan dibandingkan dengan daerah Lembang, Bandung dan Jakarta yang berada pada level puluhan hingga ratusan ng.m⁻³ (1-5). Hasil yang diperoleh hingga kegiatan 2011 telah

memberikan titik terang dan gambaran lebih jelas terkait sumber pencemar Pb yang berasal dari kegiatan peleburan (1).

Industri peleburan pengolahan aki bekas dapat menghasilkan produk timah hitam (Pb) yang akan digunakan kembali sebagai bahan baku berbagai industri. Proses peleburan aki bekas berpotensi menghasilkan partikulat berbahaya yang mengandung berbagai logam berat dan memiliki resiko terjadinya paparan partikulat yang berpotensi mengganggu kesehatan masyarakat. Beberapa hasil riset telah menunjukkan bahwa konsentrasi partikulat udara ambien dan terespirasi di kawasan sekitar dilakukannya proses pengolahan aki bekas, memiliki konsentrasi Pb yang tinggi dan berbeda signifikan dengan daerah lainnya (1,6-8). Karakteristik komposisi kimia pada partikulat dapat digunakan sebagai indikator dalam penentuan sumber yang mengemisikan partikulat tersebut (9).

Partikulat udara halus dan partikulat terespirasi merupakan partikulat yang berbahaya karena dapat secara efektif masuk ke saluran pernafasan. Partikulat yang berukuran kurang dari 2,5 um (PM_{2.5}) dapat berpenetrasi menembus bagian terdalam dari paru-paru dan sistem jantung, menyebabkan infeksi saluran pernafasan akut, kanker paru-paru, penyakit kardiovaskular dan bahkan kematian (6-11).

Pada makalah ini akan disajikan hasil

kegiatan penelitian yang dilakukan pada periode tahun 2011 - 2012 sebagai tindak lanjut hasil penelitian sebelumnya khususnya tentang karakterisasi partikulat udara ambien di kawasan Serpong dan sekitarnya. Selain itu, pada makalah ini juga dibahas tentang konsentrasi partikulat terespirasi, khususnya di kawasan industri peleburan timbal *non formal*. Hasil kegiatan ini diharapkan dapat melengkapi hasil yang diperoleh sebelumnya serta dijadikan *research based scientific evidence* yang dapat digunakan oleh pembuat kebijakan, pemerintah setempat dan pihak industri dalam menyelesaikan permasalahan pencemaran Pb agar masyarakat dapat lebih terlindungi dan kerugian yang lebih besar dapat dihindari.

2. TATA KERJA

2.1 Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan berupa filter nucleopore polikarbonat yang berpori-pori diameter berukuran 0,4 μm dan 8 μm serta filter *mixed cellulose ester* (MCE) berdiameter 25 mm dengan pori-pori 8 μm . Peralatan yang digunakan untuk pengambilan sampel partikulat udara adalah GENT *Stacked Filter Unit sampler* dan *personal sampler*. Peralatan lain yang digunakan adalah neraca mikro, *smoke stain reflectometer*, ED XRF Epsilon 5 dan fasilitas *Particle Induced X-Ray Emission* (PIXE) di Geological Nuclear Science (GNS), New Zealand.

2.2 Sampling Partikulat Udara Ambien

Pengambilan sampel partikulat udara ambient $\text{PM}_{2,5}$ dan $\text{PM}_{2,5-10}$ dilakukan menggunakan GENT *Stacked Filter Unit*

sampler (Gent SFU Sampler). Gent SFU Sampler merupakan sebuah alat pencuplik udara yang terdiri dari dua bagian utama yaitu kontainer hitam dan pompa vakum. Gent SFU sampler, dilengkapi dengan pengatur waktu, rotameter, penunjuk volume udara dan unit stacked filter, merupakan *dichotomous sampler*. Dalam setiap kali sampling digunakan 2 jenis filter *Nucleopore* polikarbonat yaitu filter halus ($\text{PM}_{2,5}$) dan filter kasar ($\text{PM}_{2,5-10}$) yang masing-masing berpori-pori 0,4 dan 8 μm . Pelaksanaan sampling dilakukan di Parung Panjang pada ketinggian sekitar 6 meter diatas tanah, laju alir 16-18 $\text{L}\cdot\text{menit}^{-1}$ dan dilakukan dua hingga tiga kali dalam seminggu selama 24 jam pada bulan Mei 2011. Sampel partikulat udara dengan ukuran hingga 2,5 μm akan terkumpul pada filter halus dan antara 2,5-10 μm pada filter kasar (2).

2.3 Sampling Partikulat Terespirasi

Pengambilan sampel partikulat terespirasi dilakukan menggunakan *personal sampling* yang dipasang selama 4 jam pada setiap responden. Adapun jenis filter yang digunakan adalah *mixed cellulose ester* (MCE) dari Millipore dengan diameter 25 mm dan berpori - pori 8 μm . Alat ini akan menghisap debu, ditempelkan pada pakaian responden dengan ujungnya terletak pada breathing zone. Lokasi pengambilan sampel dilakukan pada Mei 2012 di sekitar industri non formal di kecamatan Parung Panjang, kabupaten Bogor didasarkan pada kawasan tersebut dekat dengan Serpong, yang telah terindikasi terjadi pencemaran Pb di udara ambien, serta terdapatnya aktivitas pengolahan aki bekas di daerah tersebut.

Adapun responden untuk kawasan Industri non formal ini dipilih sekelompok anak-anak yang berusia 10 - 14 tahun yang tinggal di sekitar lokasi tersebut. Pemilihan dan kriteria responden mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan di wilayah pemukiman dekat pengolahan aki bekas New Jersey, Amerika, yang menunjukkan bahwa anak-anak lebih mudah terkena paparan timbal partikulat, baik melalui pernafasan, makanan, serta berbagai aktivitas lainnya dari tangan ke mulut setelah terpapar debu / terkontaminasi timbal (12). Pada makalah ini akan difokuskan membahas hasil dari 19 responden yang sampelnya telah dikarakterisasi secara lengkap baik untuk konsentrasi massa partikulat ataupun konsentrasi logam berat Pb. Disamping itu, untuk kawasan kontrol dipilih 5 responden dari Desa Sukarasa kecamatan Tangerang. Adapun rerata kondisi fisika lingkungan yang meliputi kecepatan angin, temperatur udara, kelembaban untuk lokasi Parung Panjang dan Sukarasa masing-masing sebesar $3,0 \pm 0,73 \text{ m.s}^{-1}$; $30,3 \pm 1,7 \text{ }^\circ\text{C}$; $61,6 \pm 7,2 \%$ dan $3,2 \pm 0,8 \text{ m.s}^{-1}$; $29,9 \pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$; $58 \pm 4,8 \%$. Adapun tata cara pemilihan responden, berbagai informasi spesifik lainnya serta jumlah total responden secara lengkap dibahas oleh Marselina (8).

2.4 Konsentrasi massa PM dan partikulat terespirasi

Penentuan konsentrasi massa dilakukan dengan metode gravimetri menggunakan neraca mikro. Konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ diperoleh dari penimbangan massa partikulat udara pada filter halus, $\text{PM}_{2,5-10}$ diperoleh

dari massa filter kasar, dan paparan partikulat terespirasi diperoleh dari selisih hasil penimbangan filter setelah dan sebelum terpapar. Sebelum dilakukan penimbangan filter dikondisikan di ruang preparasi pada temperatur $18 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$ dan kelembaban dibawah 60% (13).

2.5 Analisis Unsur

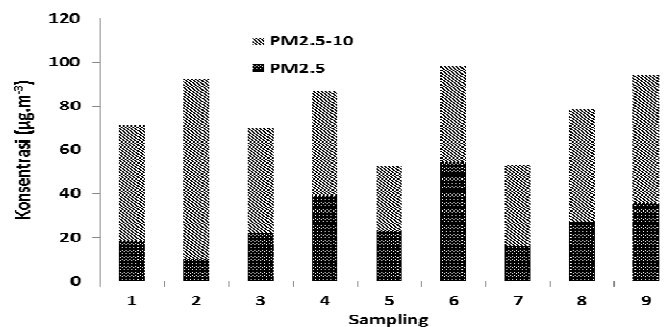
Penentuan kadar unsur pada sampel dilakukan menggunakan metode yang berbasis sinar-X, *particle induced X-ray emission* (PIXE) dan *X-ray Fluorescence* (XRF). Analisis kualitatif dan kuantitatif metode PIXE dan XRF didasarkan pada pancaran sinar-X karakteristik yang dihasilkan dari proses eksitasi atom. Energi yang diemisikan adalah karakteristik untuk masing - masing unsur dan luas area yang dihasilkan proporsional dengan jumlah atom yang terdapat pada sampel. Hal ini digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur melalui perbandingan standar yang telah diketahui. PIXE memanfaatkan proton berenergi tinggi yang diakselerasi oleh akselerator Van de Graff untuk mengeksitasi elektron suatu atom. Sinar-X yang dihasilkan akan dideteksi oleh detektor dan akan diolah lebih lanjut oleh amplifier dan *channel analyzer*. XRF menggunakan prinsip yang sama, dimana sinar-X yang dihasilkan dideteksi oleh detektor HpGe. Kalibrasi sistem dilakukan menggunakan standar dan validasi dilakukan menggunakan *reference materials* (13). Analisis PIXE dilakukan di fasilitas GNS New Zealand, sedang analisis XRF dilakukan menggunakan epsilon 5 di laboratorium BATAN Bandung.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

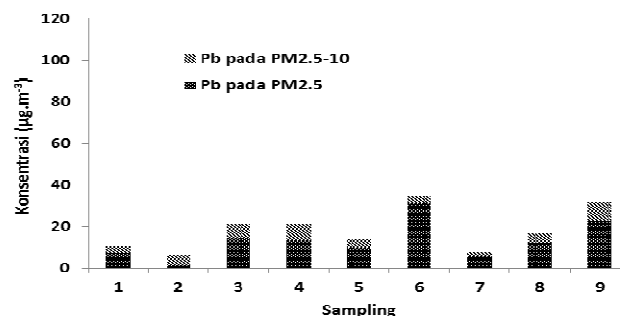
Karakterisasi kualitas udara ambien di Parung panjang dilakukan sebanyak sembilan kali dengan menggunakan alat pencuplik *Gent Sampler*. Hasil analisis konsentrasi massa partikulat $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ serta konsentrasi logam berat Pb pada kedua partikulat tersebut disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Berdasarkan hasil tersebut dapat ditunjukkan bahwa konsentrasi $PM_{2,5}$ yang diperoleh berada pada rentang 10,16 - 54,37 $\mu g.m^{-3}$, dengan rerata sebesar $27,3 \pm 13,7 \mu g.m^{-3}$. Adapun konsentrasi partikulat kasar $PM_{2,5-10}$ berada pada rentang 29,9 - 82,4 $\mu g.m^{-3}$ dengan rerata $50,2 \pm 14,7 \mu g.m^{-3}$. Konsentrasi PM_{10} diperoleh dari penjumlahan $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ memiliki rerata sebesar $77,5 \pm 17,1 \mu g.m^{-3}$ dengan rentang 52,5 - 98,1 $\mu g.m^{-3}$. Rerata konsentrasi $PM_{2,5}$ yang diperoleh relatif tinggi dibandingkan dengan rerata $PM_{2,5}$

beberapa kota lain seperti Jakarta (5) dan Bandung (14). Dibandingkan dengan rerata $PM_{2,5}$ Serpong (1), hasil yang diperoleh di Parung Panjang juga lebih tinggi, hal ini dikarenakan masih banyaknya aktivitas pembangunan beberapa proyek perumahan yang harganya relatif masih terjangkau bagi masyarakat menengah ke bawah. Tingginya konsentrasi $PM_{2,5}$ dapat pula menjadi salah satu penyebab tingginya kasus ISPA di daerah ini. Berdasarkan data yang dimiliki Puskesmas kecamatan Parung Panjang, kasus penyakit ISPA selama 2010 mencapai 26 % (8).

Konsentrasi logam berat Pb yang terdapat pada partikulat halus dan kasar memiliki rerata masing-masing sebesar $13,2 \pm 9,0$ dan $5,0 \pm 2,3 \mu g.m^{-3}$ atau setara 45 dan 10 %, dengan konsentrasi maksimum sebesar 30,9 dan 9,1 $\mu g.m^{-3}$.



Gambar 1. Konsentrasi Massa $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ Parung Panjang.

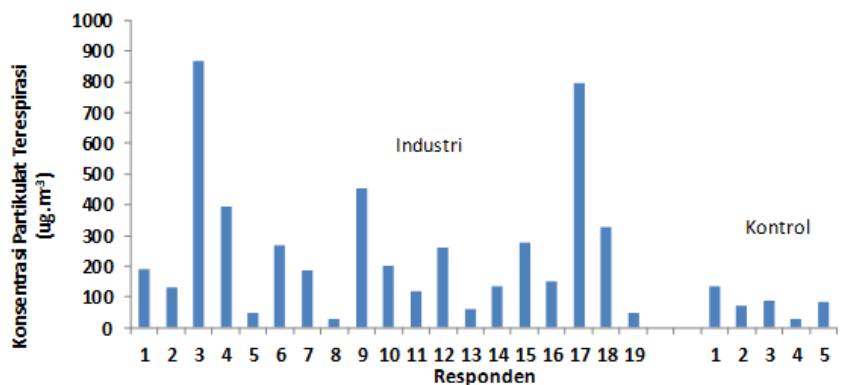


Gambar 2. Konsentrasi logam berat Pb pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ Parung Panjang.

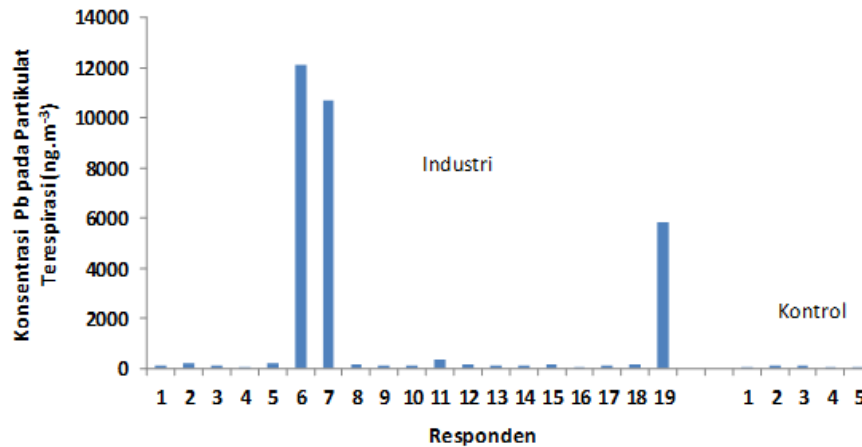
Konsentrasi Pb ini telah jauh melebihi baku mutu udara ambient yang ter-tuang dalam peraturan pemerintah PP 41/1999 ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rata-rata 24 jam) (15). Tingginya konsentrasi Pb yang terdapat pada partikulat halus sangat berbahaya untuk masyarakat sekitarnya karena dampak yang diakibatkan sangat berpengaruh pada ke-sehatan manusia bahkan dapat menyebabkan kematian. Apabila Pb yang terdapat di udara terhisap dan telah terakumulasi lebih dari $10 \mu\text{g}/\text{dL}^{-1}$ pada seorang anak misalnya, maka dapat mengakibatkan menurunnya tingkat intelegensia, *learning disability*, mengalami gejala anemia, hambatan dalam pertumbuhan, perkembangan kognitif buruk, sistem kekebalan tubuh yang lemah dan gejala autisme, bahkan kematian dini (7,16). Tingginya konsentrasi Pb pada partikulat halus juga dapat menjadi indikator terdapatnya sumber yang memiliki aktivitas mengemisikan Pb di sekitar lokasi tersebut. Hal ini sesuai dengan hasil survey yang menunjukkan terdapatnya aktivitas pengolahan aki bekas sejak beberapa tahun terakhir. Kegiatan pengolahan tersebut didominasi oleh kegiatan pembakaran aki

bekas untuk memperoleh kembali logam timbalnya. Kegiatan pengolahan ini dilakukan dengan membuka lahan hutan yang tidak terlalu jauh dari perumahan penduduk. Kegiatan ini umumnya dilakukan pada malam hingga dini hari dan tidak memiliki sarana pengendalian pencemaran udara seperti sarana pengendalian partikulat yang dihasilkan dari sisa pembakaran aki bekas (8).

Berdasarkan hasil yang diperoleh tersebut, dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui konsentrasi partikulat ter-espikasi di kawasan tersebut. Responden yang dipilih adalah anak-anak, 11 laki-laki dan 8 perempuan, di sekitar kawasan tersebut yang memiliki jenjang pendidikan Sekolah Dasar. Pemilihan responden anak-anak dikarenakan mereka lebih mudah terkena paparan timbal partikulat baik melalui pernafasan ataupun makanan. Selain itu tingkat mobilitas anak-anak tersebut sangat kecil, sehingga dapat digunakan untuk mewakili kondisi kawasan tersebut. Hasil konsentrasi partikulat terespikasi dari 19 responden disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Konsentrasi partikulat terespikasi di kawasan industri non formal Parung Panjang dan kontrol.



Gambar 4. Konsentrasi Pb pada partikulat terespirasi di daerah Industri non formal Parung Panjang dan kontrol.

Pada Gambar 3 dan Gambar 4 dapat ditunjukkan bahwa untuk daerah industri non formal, rerata konsentrasi partikulat terespirasi sebesar $260 \mu\text{g.m}^{-3}$ dengan maksimum sebesar $865 \mu\text{g.m}^{-3}$. Adapun konsentrasi logam berat Pb pada partikulat terespirasi maksimum mencapai $12,13 \mu\text{g.m}^{-3}$ atau setara dengan 12,11 %. Tingginya konsentrasi Pb tersebut harus mendapat perhatian karena dampak yang dihasilkannya sangat berbahaya bagi masyarakat sekitar. Pelaksanaan pengambilan sampel partikulat terespirasi sebagian besar dilakukan pada pagi hingga sore hari, sedang aktivitas pembakaran aki bekas umumnya dilakukan malam hari, sehingga dapat diperkirakan konsentrasi partikulat terespirasi yang diperoleh pada malam hari akan jauh lebih besar dibandingkan dengan hasil tersebut. Konsentrasi partikulat terespirasi yang diperoleh di daerah industri non formal Parung Panjang tersebut secara signifikan berbeda dengan hasil dari 4 lokasi di Bandung dengan konsentrasi partikulat terespirasi tertinggi sebesar $157 \mu\text{g.m}^{-3}$ (17).

Penentuan konsentrasi partikulat terespirasi untuk daerah kontrol dilakukan di kelurahan Sukarasa, kecamatan Tangerang, sekitar 25 km dari Parung panjang. Pemilihan wilayah ini karena lokasinya memiliki kesamaan topografi serta memiliki konsentrasi partikulat dan logam berat Pb di udara ambien yang lebih rendah dibandingkan dengan wilayah Parung Panjang. Adapun responden yang dipilih sebanyak 5 anak menggunakan kriteria yang sama dengan pemilihan responden di wilayah Parung Panjang. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4

Pada Gambar 3 dan Gambar 4 dapat ditunjukkan bahwa konsentrasi partikulat terespirasi di wilayah kontrol memiliki rerata sebesar $82 \mu\text{g.m}^{-3}$ dengan maksimum konsentrasi mencapai $135 \mu\text{g.m}^{-3}$. Hasil ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan wilayah industri non formal, dengan konsentrasi maksimum mencapai $865 \mu\text{g.m}^{-3}$, setara dengan enam kali lebih tinggi dibandingkan wilayah kontrol. Adapun konsentrasi maksimum Pb pada partikulat

terespirasi daerah kontrol hanya sebesar $0,14 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Hasil tersebut dapat menunjukkan bahwa aktivitas pembakaran aki bekas di wilayah industri non formal Parung Panjang telah secara signifikan menyebabkan tingginya konsentrasi Pb di partikulat udara halus, partikulat kasar dan partikulat terespirasi. Selain berkontribusi pada tingginya konsentrasi Pb di udara ambien Parung Panjang, aktivitas pembakaran tersebut juga berkontribusi sebagai salah satu sumber yang menyebabkan tingginya konsentrasi Pb di udara ambien Serpong Tangerang. Hal tersebut berdasarkan hasil identifikasi sumber pencemar yang menunjukkan bahwa kontributor utama pencemaran Pb berasal dari aktivitas industri Pb di wilayah Serpong dan sekitarnya (1).

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini mampu menunjukkan kontribusi teknik nuklir yang mampu berperan secara signifikan dalam memberikan *research scientific based evidence* untuk pengambil kebijakan agar tepat dan terarah dalam penanggulangan pencemaran khususnya pencemaran logam berat Pb di wilayah Parung Panjang dan sekitarnya. Hasil ini diharapkan dapat mengakselerasi terwujudnya masyarakat yang hidup dengan lingkungan udara sehat dan generasi muda yang lebih berkualitas untuk masa depan bangsa yang lebih baik.

4. KESIMPULAN

Hasil karakterisasi partikulat udara ambien di lokasi Parung Panjang menunjukkan rerata konsentrasi Pb pada $\text{PM}_{2,5}$ telah melebihi baku mutu harian. Hasil tersebut

sejalan dengan tingginya hasil konsentrasi logam berat Pb pada partikulat terespirasi. Konsentrasi maksimum Pb pada partikulat terespirasi di wilayah Parung Panjang mencapai 6 kali lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah kontrol. Hal tersebut menunjukkan bahwa aktivitas pengolahan aki bekas di Parung Panjang telah secara signifikan berkontribusi terhadap tingginya konsentrasi logam berat Pb pada partikulat udara di daerah tersebut. Hasil yang diperoleh ini diharapkan dapat mendukung dan mendorong pemerintah setempat untuk membuat kebijakan yang tepat dan terarah agar gangguan kesehatan dan kerugian finansial yang lebih besar dapat dihindari.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Badan Tenaga Nuklir Nasional, kelompok Teknik Analisis Radiometri di Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan, serta rekan-rekan P3K2L Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan atas semua kontribusi dan kerjasama yang sangat baik sehingga kegiatan riset ini dapat terlaksana.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Muhayatun S, Diah Dwiana L, Rita M, Esrom H, Halimah S, Philip KH. Preliminary study of the sources of ambient air pollution in Serpong, Indonesia. *Air Pollution Research Journal*. 2011;2:190-196
2. Muhayatun S, Diah Dwiana L, Philip KH, Andreas M. Nuclear analytical techniques INAA and PIXE application for characterization of airborne

- particulate matter in Indonesia. *Journal of Applied Science in Environmental Sanitation*. 2010; 5(2):213-222
3. Muhayatun S, Diah Dwiana L, Philip KH, Andreas M. Lead In the ambient air at urban and suburban sites in Indonesia. *Journal of Applied Science in Environmental Sanitation*. 2013;8(1):39-46
 4. Lestiani D, Santoso M, Trompetter W, Barry B, Davy P, Markwitz A. Determination of chemical elements in airborne particulate matter collected at Lembang, Indonesia by particle induced X-ray emission. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2012;297(2):177-182.
 5. Muhayatun S, Diah Dwiana L, Andreas M. Characterization of airborne particulate matter collected at Jakarta roadside of an arterial road. *J. Radioanal Nucl. Chem*. 2013; 297(2):165-169
 6. Muhayatun S, Philip KH, Achmad H, Diah Dwiana L. Sources identification of the atmospheric aerosol at urban and suburban sites in Indonesia by positive matrix factorization. *Science of The Total Environment*. 2008;397:229-237
 7. Muhayatun S, Diah Dwiana L, Rita M, Esrom H. Peringatan dini status kualitas udara melalui karakterisasi kandungan timbal dan PM2.5 di beberapa kota di Indonesia. *Ecolab, Jurnal Kualitas Lingkungan Hidup*, 2015;9(1):1-8.
 8. Mariana M. Analisis paparan partikulat terespirasi serta pengaruhnya terhadap kesehatan masyarakat di sekitar industri aki bekas non formal [master's thesis]. Institut teknologi Bandung; 2012
 9. Philip KH, David DC, Bilkis AB, Swapan KB, Bangfa N, Gauri GP at al. Urban air quality in the Asian region, *Science of The Total Environment*. 2008; 404(1):103-112
 10. Anindrya N, Diana Y. Pramudyastuti, Katharina O, Muhayatun S. Determination of informal sector as urban pollution source: fume characterization of small-scale manual metal arc welding using factor analysis in Bandung city. *Atom Indonesia Journal*. 2012;38(1):35-42
 11. Anindrya N, Muhayatun S, Katharina O. Manganese exposure on welders in small scale mild steel manual metal arc welding industry. *Journal of Applied Science in Environmental Sanitation*. 2010;5(3):227-238
 12. Eugene YW. The relationship between the dust lead concentration and the particle sizes of household dust collected. *Journal of Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 1996;11(3):199-206
 13. Diah Dwiana L, Muhayatun S. Analytical methods INAA and PIXE applied to characterization of airborne particulate matter in Bandung, Indonesia. *Atom Indonesia Journal*. 2011;37(2):52-56
 14. Muhayatun S, Diah Dwiana L, Syukria K, Andreas M, Trompetter WJ, Barry B at al. Long term airborne lead pollution monitoring in Bandung, Indonesia, *International Journal of PIXE*.

- 2015;24(3):157-165
15. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, PP No 41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara; 1999.
16. Budi H, Bambang S, I Made D. Effect of calcium supplementation on school children's blood lead levels in Indonesia, *International Journal of Science and Research*. 2015;4(5):1620-1625
17. Noneng DZ, Dwina R, Muhayatun S. Karakteristik kimia paparan partikulat terespirasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*. 2009;X(1):37-50