

ecolab



Ecolab

Vol. 9

No. 1

Hlm. 01 - 46

Tangerang
Januari 2015

ISSN
1978-5860

Diterbitkan oleh :

Pusat Penelitian dan Pengembangan Kualitas dan Laboratorium Lingkungan
Kawasan Puspiptek, Gedung 210, Jl. Raya Puspiptek Serpong, Tangerang 15310 Banten - Indonesia
Telp. +62-21-7563114, Fax. +62-21-7563115 Email: jurnal_ecolab@yahoo.com

KATA PENGANTAR

Pembaca yang terhormat,

Dengan mengucapkan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, Jurnal Ecolab Volume 9 No. 1 Tahun 2015 dapat hadir kembali dihadapan para pembaca.

Udara yang sehat merupakan kebutuhan primer bagi mahluk hidup, tetapi masuknya zat pencemar ke udara dapat mengakibatkan menurunnya kualitas udara dan akhirnya berdampak pada kesehatan. Berdasarkan data dari World Bank tahun 2012, Jakarta menjadi salah satu kota dengan kadar polutan/partikulat tertinggi setelah Beijing, New Delhi dan Mexico City. Polutan berbahaya yang masuk ke udara diantaranya karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), chlorofluorocarbon (CFC), Hidrokarbon (HC), debu/partikulat, dan Timah (Pb),

Dampak yang ditimbulkan dari polutan udara tersebut mempengaruhi kesehatan, terutama kesehatan anak-anak. Misalnya kandungan timbal yang berlebih dapat menghambat produksi sel-sel darah merah sehingga terjadi anemia dan mengurangi kemampuan berfikir anak, tingkat IQ rendah dan pertumbuhan fisik yang terganggu.

Jurnal Ecolab edisi kali ini 3 (tiga) dari 5 (lima) tulisan berisi informasi dan data hasil penelitian mengenai pencemaran udara, dengan judul-judul sebagai berikut:

1. Peringatan Dini Status Kualitas Udara Melalui Karakterisasi Kandungan Timbal dan PM_{2.5} di Beberapa Kota di Indonesia
2. Emisi Gas Rumah Kaca dan Hasil Gabah dari Beberapa Varietas Padi Unggul Tipe Baru di Lahan Sawah Tadah Hujan di Jawa Tengah
3. Perbandingan Pengukuran Konsentrasi Partikulat di Udara Ambien Menggunakan Alat *High Volume Air Sampler* dan *Gent Stacked Filter Unit Sampler*
4. Residu Insektisida Klorpirifos dalam Tanah dan Produk Bawang Merah *Allium Ascalonicum* L, di Sentra Produksi Bawang Merah di Kabupaten Bantul, Yogyakarta
5. Penentuan Batas Linearitas Metode Pengujian Air Raksa dalam Air Secara Spektrofotometri Serapan Atom Uap Dingin Sesuai SNI 6989.78 : 2011

Kritik dan saran demi peningkatan dan pemyempurnaan kualitas Jurnal Ecolab di edisi-edisi selanjutnya sangat kami harapkan. Sebagai bagian dari penyebaran hasil penelitian bidang lingkungan hidup, semoga Jurnal Ecolab dapat menambah wawasan para pembaca dan dapat menjadi referensi bagi para pemerhati lingkungan.

Salam,
Redaksi.



Jurnal Kualitas Lingkungan Hidup
Volume 9, Nomor 1, Januari 2015

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| Kata Pengantar | i |
| Daftar Isi | iii |
| Peringatan Dini Status Kualitas Udara Melalui Karakterisasi Kandungan Timbal dan PM _{2.5} di Beberapa Kota di Indonesia | 1 |
| <i>Muhayatun Santoso, Diah Dwiana Lestiani, Syukria Kurniawati, Indah Kusmartini, Djoko Prakoso, Rita Mukhtar, Esrom Hamonangan, Hari Wahyudi, Susy Lahtiani, Rully Fatwani, Tamrin, Tuti Ernawati, Sukadi, Tri Rusmanto, Slamet Widodo, Vanda Nurul, Triyambodo</i> | |
| Emisi Gas Rumah Kaca dan Hasil Gabah dari Beberapa Varietas Padi Unggul Tipe Baru di Lahan Sawah Tadah Hujan di Jawa Tengah | 9 |
| <i>A. Wihardjaka dan Sarwoto</i> | |
| Perbandingan Pengukuran Konsentrasi Partikulat di Udara Ambien Menggunakan Alat <i>High Volume Air Sampler</i> dan <i>Gent Stacked Filter Unit Sampler</i> | 17 |
| <i>Rita Mukhtar, Isa Ansyori, Esrom Hamonangan, Muhayatun Santoso, Diah Dwiana Lestiani</i> | |
| Residu Insektisida Klorpirifos dalam Tanah dan Produk Bawang Merah <i>Allium Ascalonicum L</i> , di Sentra Produksi Bawang Merah di Kabupaten Bantul, Yogyakarta | 26 |
| <i>E. Srihayu Harsanti, Edhi Martono, H.A. Sudibyakto dan Eko Sugiharto</i> | |
| Penentuan Batas Linearitas Metode Pengujian Air Raksa dalam Air Secara Spektrofotometri Serapan Atom Uap Dingin Sesuai SNI 6989.78 : 2011 | 37 |
| <i>Anwar Hadi dan Asiah</i> | |

PERINGATAN DINI STATUS KUALITAS UDARA MELALUI KARAKTERISASI KANDUNGAN TIMBAL PADA $pm_{2.5}$ DI BEBERAPA KOTA DI INDONESIA

EARLY WARNING OF AIR QUALITY STATUS THROUGH CHARACTERIZATION OF $pm_{2.5}$ LEAD CONCENTRATION AT SEVERAL CITIES IN INDONESIA

Muhayaton Santoso¹, Diah Dwiana Lestiani¹, Syukria Kurniawati¹, Indah Kusmartini¹, Djoko Prakoso¹, Rita Mukhtar², Esrom Hamonangan², Hari Wahyudi², Susy Lahtiani², Rully Fatwani³, Tamrin⁴, Tuti Ernawati⁴, Sukadi⁵, Tri Rusmanto⁵, Slamet Widodo⁵, Vanda Nurul⁶, Triyambodo⁷

(Diterima tanggal 08-08-2014; Disetujui tanggal 17-12-2014)

ABSTRAK

Logam berat timbal (Pb) merupakan logam berbahaya dan berdampak signifikan pada tumbuh kembang anak, kecerdasan dan risiko kesehatan yang lebih besar. Pencemaran Pb pada udara akan sangat mempengaruhi kualitas udara dan menyebabkan paparan pada masyarakat yang berada pada lingkungan tersebut. Bahaya timbal telah teridentifikasi terjadi di beberapa lokasi di Indonesia, sehingga sangat dibutuhkan suatu penelitian yang dapat digunakan sebagai peringatan dini agar dampak lingkungan dan kerugian finansial yang lebih besar dapat dihindari. Karakterisasi Pb perlu dilakukan secara komprehensif agar didapatkan sebuah rekomendasi yang berbasis *scientific research* yang *valid* dan akurat. Badan Tenaga Nuklir Nasional BATAN bekerjasama dengan Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan (PUSARPEDAL) dan badan pengelolaan lingkungan hidup daerah, pada tahun 2012 melakukan kajian berupa pemantauan dan karakterisasi $PM_{2.5}$ di 6 (enam) titik lokasi sampling di daerah Jakarta, Serpong, Bandung, Yogyakarta, Semarang, dan Surabaya. Pengambilan sampel partikulat udara dilakukan seminggu sekali selama 24 jam menggunakan alat pencuplik *Gent stacked filter unit*. Analisis sampel dilakukan menggunakan teknik analisis nuklir yang *advance* dan sangat sesuai untuk karakterisasi $PM_{2.5}$ dengan bobot sangat kecil $\sim 200 \mu g$. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa konsentrasi Pb di daerah Surabaya memiliki kadar puluhan hingga ribuan kali dan secara signifikan berbeda jika dibandingkan dengan daerah lainnya. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai kunci utama dalam melakukan identifikasi dan estimasi lokasi sumber pencemar agar kebijakan yang tepat dan terarah dapat dicapai.

Kata kunci: karakterisasi, teknik analisis nuklir, timbal, $PM_{2.5}$, Gent stacked filter unit.

ABSTRACT

Lead heavy metal (Pb) is hazardous and has significantly impaired children's growth development, intelligence and other serious health impacts. Lead air pollution will affect the air quality and expose to surroundings population. Lead pollution has been identified in several locations in Indonesia. Therefore comprehensive research which can be used as an early warning is needed, in order to avoid the environmental impact and greater financial disadvantage. Characterization of lead has to be done comprehensively to obtain valid and accurate scientific based research data for recommendation to design correction and preventive actions. In 2012, Center of Nuclear Technology for Materials and Radiometry (BATAN) in agreement with Environmental Management Centre (EMC) and local environmental protection agencies, have started the monitoring and evaluation of $PM_{2.5}$ covering 6 (six) sampling locations in Jakarta, Serpong, Bandung, Yogyakarta, Semarang, and Surabaya. Sampling of $PM_{2.5}$ was conducted once a week for 24 hours using Gent stacked filter unit sampler. Samples were analyzed using advanced nuclear analytical technique and suitable for characterization of $PM_{2.5}$ which has a small mass $\sim 200 \mu g$. The results showed

¹ PTNBR BATAN, Jl. Tamansari 71, Bandung, 40132,

² PUSARPEDAL KLH, Puspiptek, Serpong,

³ BPLHD Provinsi Jawa Barat, Bandung,

⁴ BPLHD Provinsi DKI Jakarta,

⁵ PTAPB BATAN, Babakansari, Yogyakarta,

⁶ BLH Provinsi Jawa Tengah,

⁷ BLH Provinsi Jawa Timur, email: hayat@batan.go.id

that Pb concentrations in Surabaya were tens to thousand times higher than other cities. These results could be used as a key in identification and estimation of pollutant sources to design the appropriate and right policies.

Keywords: *characterization, nuclear analytical technique, lead, PM_{2.5}, Gent stacked filter unit.*

PENDAHULUAN

Parameter utama pencemaran udara yang memiliki dampak signifikan pada kesehatan adalah partikulat udara. Partikulat udara yang berukuran kurang dari 2,5 μm (PM_{2.5}) disebut dengan partikulat halus. Peneliti epidemiologi berpendapat bahwa partikulat halus ini sangat berbahaya karena dapat berpenetrasi menembus bagian terdalam dari paru-paru dan sistem jantung. Partikulat halus diperkirakan memberi kontribusi besar pada angka kematian yang diakibatkan oleh gangguan kesehatan terkait pencemaran udara [1,2].

Salah satu pencemaran udara yang disebabkan oleh Pb telah terdeteksi terjadi di daerah Serpong dan sekitarnya sejak tahun 1996 [3]. Hasil penelitian tahun 2003-2004 menunjukkan konsentrasi Pb baik di udara ambien maupun di dalam darah anak sekolah berbeda secara signifikan jika dibandingkan dengan daerah lain seperti Jakarta [4]. Untuk melakukan identifikasi sumber pencemar, serangkaian penelitian telah dilakukan oleh Pusarpedal-Kementerian Lingkungan Hidup bekerjasama dengan Pusat Tenaga Nuklir Bahan dan Radiometri PTNBR-BATAN [5].

Pencemaran yang ditimbulkan oleh logam berat Pb perlu mendapat perhatian yang lebih karena dampak yang diakibatkan sangat berpengaruh pada kesehatan manusia bahkan dapat menyebabkan kematian. Apabila Pb yang terdapat di udara terhisap dan telah terakumulasi hingga 10 $\mu\text{g/dL}$ pada seorang anak, 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. Kadar timbal di atas 40 $\mu\text{g/dL}$ pada darah pria berdampak pada menurunnya jumlah sperma, volume sperma, kepekatan sperma dan gerakan sperma yang berarti pula gejala kemandulan. Pada ibu hamil, dampak serius terjadi baik pada sang ibu maupun janinnya mengingat timbal dapat menembus plasenta, sementara perkembangan otak janin sangat peka terhadap logam timbal dan terancam mengalami keguguran [6,7].

Kenaikan konsentrasi Pb setiap 1 $\mu\text{g/dL}$ pada darah akan menurunkan point *Intelligence Quotient* (IQ) sebesar tiga point, yang secara umum pergeseran ini akan menaikkan sekitar 57% anak berkebutuhan khusus dan penurunan sekitar 60% jumlah anak jenius [8]. Anak-anak balita dan usia sekolah merupakan usia yang rentan terhadap paparan timbal, sehingga dampak pencemaran ini akan sangat mempengaruhi kualitas generasi bangsa, baik dari sisi kesehatan maupun sisi kecerdasan. Oleh karena itu, sangat dibutuhkan suatu penelitian yang dapat digunakan sebagai *early warning* agar dampak lingkungan dan kerugian finansial yang lebih besar dapat dihindari.

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi Pb pada PM_{2.5} di enam kota (Jakarta, Serpong, Bandung, Yogyakarta, Semarang, Surabaya). Hasil yang diperoleh diharapkan dapat

digunakan sebagai data awal serta rekomendasi yang berbasis *scientific research* sebagai dasar dalam melakukan identifikasi dan estimasi lokasi sumber pencemar agar kebijakan yang tepat dan terarah dapat dicapai.

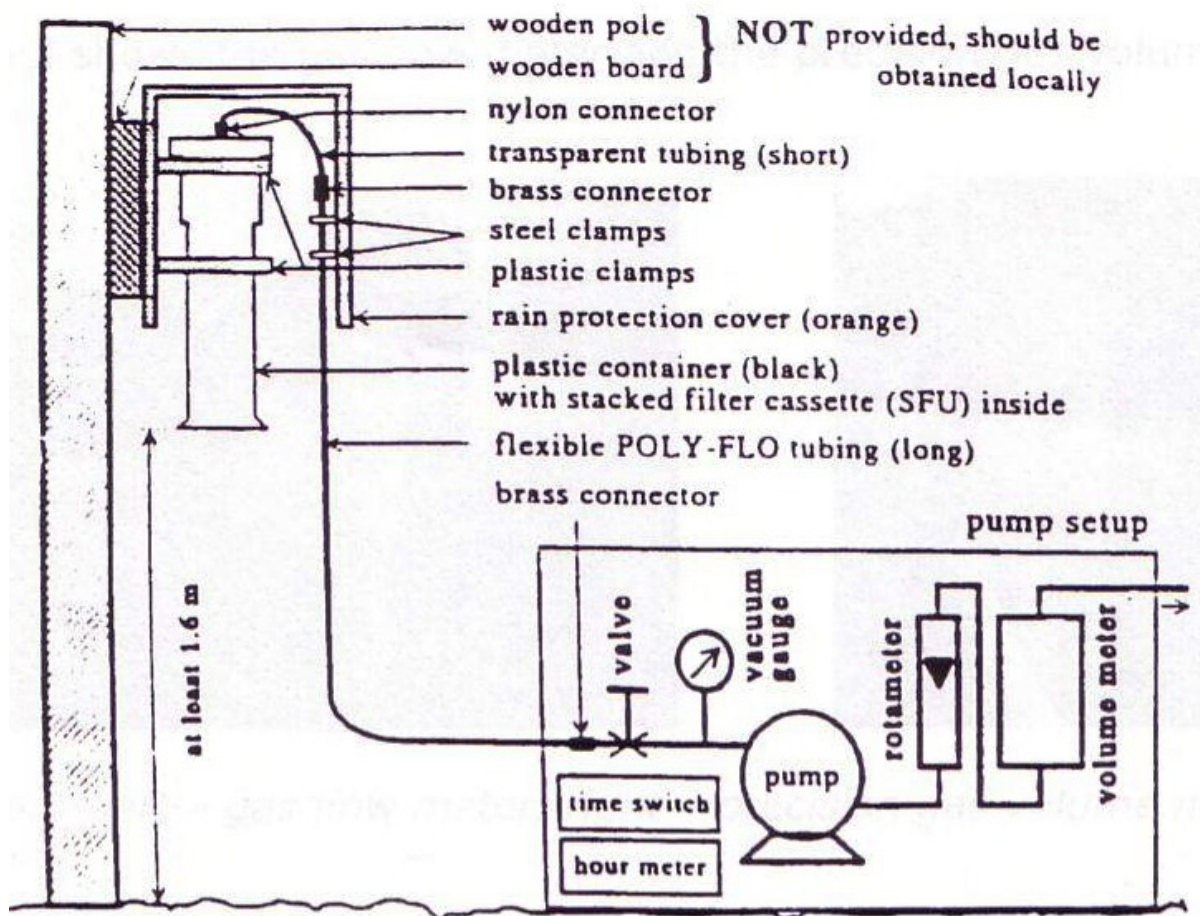
METODOLOGI

Sampling

Sampling $PM_{2,5}$ dan PM_{10} dilakukan selama 24 jam menggunakan GENT *Stacked Filter Unit sampler* yang merupakan *dichotomous sampler* dengan dua filter polikarbonat Nuclepore halus dan kasar yang berpori-pori masing-masing 0,4 dan 8 μm . Sampling menghasilkan partikulat dengan ukuran 0-2,5 μm (filter halus) dan 2,5-10 μm (filter kasar)

[9,10]. Bagan *Stacked Filter Unit* ditunjukkan pada Gambar 1.

Pengambilan sampel pada tahun 2012 telah dilakukan bekerjasama dengan Badan Lingkungan Hidup Daerah (BLHD) di Jakarta, Serpong, Bandung, Semarang, Yogyakarta dan Surabaya. Pelaksanaan sampling dilakukan seminggu sekali di BPLHD Provinsi DKI Jakarta, Jl. Casablanca, Kuningan; PUSARPEDAL di Kawasan PUSPIPTEK, Serpong; BLHD Provinsi Jawa Barat, di Jalan Naripan, Bandung; PTAPB BATAN Yogyakarta, Jl. Babarsari Yogyakarta; BLH Provinsi Jawa Tengah, Jalan Setiabudi, Srandol, Semarang; dan BLH Provinsi Jawa Timur, Jl. Wisata Menanggal no. 38 Surabaya (Gambar 2).



Gambar 1. Skema Bagan Gent Sampler [10]



Gambar 2. Lokasi sampling

Analisis Sampel

Konsentrasi massa partikulat udara ditentukan menggunakan metode gravimetri. $PM_{2.5}$ diperoleh dari hasil penimbangan berat sampel pada filter halus. Sebelum penimbangan sampel distabilisasi dalam ruang preparasi laboratorium PTNBR pada kelembaban sekitar 45-55% dan suhu 18-21°C.

Analisis unsur pada sampel dilakukan dengan teknik analisis nuklir *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang merupakan teknik analisis multi unsur yang 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 suatu unsur melalui perbandingan standar yang telah diketahui. Teknik ini mampu mendeteksi unsur dari deret Natrium (Na) hingga Uranium (U). Pemilihan metode didasarkan pada teknik analisis unsur yang sangat selektif dengan kepekaan tinggi, simultan dan memiliki batas deteksi mencapai orde submikrogram bahkan nanogram, dengan jumlah sampel yang relatif banyak terkadang mencapai ratusan buah filter dan berat sampel per filter yang hanya

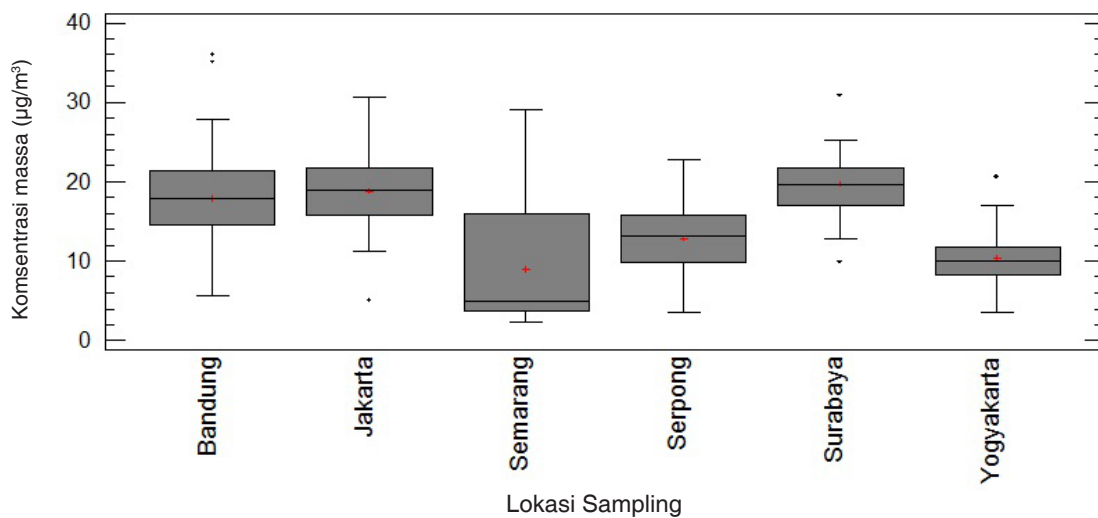
sedikit 100 – 600 μg , maka teknik nuklir merupakan salah satu teknik analisis yang sangat dipertimbangkan untuk analisis sampel partikulat udara karena memiliki berbagai kelebihan jika dibandingkan dengan teknik analisis konvensional lainnya. Hampir 90% sampel filter partikulat udara di Amerika Utara dianalisis menggunakan teknik nuklir. Bahkan di Australia dalam 4 tahun terakhir telah dilakukan analisis lebih dari 9000 buah sampel filter menggunakan teknik nuklir [11].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemantauan konsentrasi $PM_{2.5}$ tahun 2012 disajikan pada Tabel 1. nilai rerata tahunan $PM_{2.5}$ untuk lokasi sampling Jakarta, Serpong, Bandung, Yogyakarta, Semarang dan Surabaya masing-masing sebesar 18,83; 12,85; 17,84; 10,33; 8,91 dan 19,66 $\mu g/m^3$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rerata $PM_{2.5}$ di Jakarta, Bandung dan Surabaya telah melebihi baku mutu tahunan udara ambien (15 $\mu g/m^3$) [12]. Hal tersebut disebabkan Jakarta, Bandung dan Surabaya memiliki aktivitas yang sangat padat seperti transportasi dan industri sehingga menghasilkan polutan yang lebih banyak. Adapun distribusi $PM_{2.5}$ ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 1. Konsentrasi $PM_{2,5}$ di Berbagai Kota di Indonesia ($\mu g/m^3$)

| | n | Rentang | | Rerata |
|------------|----|---------|---------|------------------|
| Jakarta | 32 | 5,04 | - 30,67 | $18,83 \pm 8,26$ |
| Serpong | 45 | 3,58 | - 22,80 | $12,85 \pm 5,73$ |
| Bandung | 55 | 5,54 | - 35,93 | $17,84 \pm 7,34$ |
| Yogyakarta | 51 | 3,45 | - 20,58 | $10,33 \pm 3,14$ |
| Semarang | 29 | 2,29 | - 29,07 | $8,91 \pm 8,10$ |
| Surabaya | 13 | 9,89 | - 30,85 | $19,66 \pm 4,77$ |


Gambar 3. Box and whisker plot konsentrasi $PM_{2,5}$

Pada Gambar 3. dapat ditunjukkan bahwa distribusi $PM_{2,5}$ Semarang memiliki rentang yang sangat lebar. Hal tersebut dapat disebabkan oleh berbagai hal diantaranya adalah terdapatnya sumber cemaran sesaat di sekitar lokasi tersebut. Disamping itu, penempatan alat sampling di lokasi kantor BLH Provinsi Jawa Tengah, terletak di dataran tinggi Semarang yang dapat dikategorikan merupakan daerah *sub urban*, sehingga dapat dipahami bila rerata tahunan $PM_{2,5}$ yang diperoleh relatif kecil dibandingkan dengan daerah *urban* lainnya seperti Jakarta, Surabaya dan Bandung. Adapun rerata tahunan konsentrasi $PM_{2,5}$ Surabaya lebih tinggi dibandingkan dengan daerah urban lainnya dikarenakan Surabaya memiliki berbagai

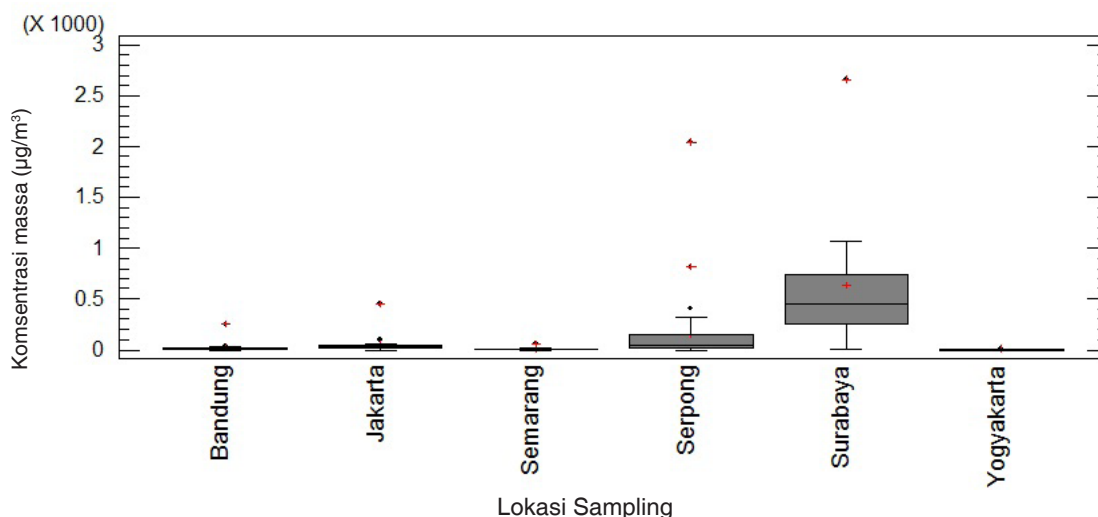
aktivitas industri dan lokasi pengambilan sampel yang terletak di kantor BLH Provinsi Jawa Timur terletak di sekitar area industri.

Beberapa negara seperti Bangladesh, Thailand dan Vietnam memiliki konsentrasi $PM_{2,5}$ lebih tinggi dibandingkan beberapa daerah urban di Indonesia [13]. Meskipun demikian, konsentrasi $PM_{2,5}$ di beberapa kota tersebut tersebut perlu mendapatkan perhatian serius karena terdapat kecenderungan terjadinya peningkatan konsentrasi tersebut dari tahun ke tahun.

Hasil karakterisasi Pb pada $PM_{2,5}$ dan distribusinya disajikan pada Tabel 2. dan Gambar 4. Konsentrasi Pb untuk Jakarta, Serpong, Bandung, Yogyakarta, Semarang

Tabel 2. Konsentrasi Pb di Berbagai Kota di Indonesia (ng/m^3)

| | Rentang | | | Rerata |
|------------|---------|---|---------|--------------------|
| Jakarta | 2,71 | - | 456,93 | $55,62 \pm 84,63$ |
| Serpong | 2,67 | - | 2045,01 | $158,24 \pm 333,5$ |
| Bandung | 1,86 | - | 254,39 | $17,29 \pm 44,99$ |
| Yogyakarta | 1,26 | - | 12,23 | $3,89 \pm 2,61$ |
| Semarang | 2,24 | - | 61,95 | $8,89 \pm 11,07$ |
| Surabaya | 10,3 | - | 2664,17 | $632,06 \pm 610,0$ |

**Gambar 4.** Box and Whisker Plot Konsentrasi P

dan Surabaya masing-masing memiliki rerata sebesar 55,62; 158,24; 17,29; 3,89; 8,89 dan 632,06 ng/m^3 . Adapun konsentrasi Pb maksimum masing-masing sebesar 456,93; 2045,01; 254,39; 12,23; 61,95 dan 2664,17 ng/m^3 .

Pada Gambar 4. ditunjukkan bahwa konsentrasi Pb pada $\text{PM}_{2,5}$ di Surabaya berbeda signifikan dibandingkan dengan lokasi lainnya. Meskipun rerata konsentrasi Pb di Surabaya masih di bawah baku mutu udara ambien untuk *total suspended particulate* (TSP) yang ditetapkan sebesar 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, namun ditemukan konsentrasi sebesar 2,66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang telah melebihi baku mutu harian sebesar (2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) [12]. Bila dibandingkan dengan baku mutu Pb di Amerika (0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) [14], maka rerata konsentrasi Pb di Surabaya (0,63 $\mu\text{g}/$

m^3) telah empat kali lebih tinggi dibandingkan standar baku mutu tersebut. Selain Surabaya, nilai rerata konsentrasi Pb Serpong sebesar 0,158 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ juga telah melebihi baku mutu tersebut dan konsentrasi Pb sebesar 2,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang terdeteksi juga telah melebihi baku mutu harian. Hasil kajian pencemaran Pb di Serpong yang telah dilakukan menunjukkan bahwa lebih dari 80% konsentrasi Pb di $\text{PM}_{2,5}$ udara ambien Serpong dan sekitarnya, berasal dari proses peleburan logam [15]. Hasil karakterisasi Pb dalam $\text{PM}_{2,5}$ pada penelitian ini menunjukkan bahwa pencemaran Pb di Serpong yang terdeteksi sejak tahun 1996, masih berlangsung.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat ditunjukkan bahwa Surabaya telah terdeteksi mengalami pencemaran Pb yang melebihi

baku mutu. Hal tersebut diperkirakan di sekitar lokasi sampling terdapat berbagai aktivitas industri di antaranya industri peleburan logam. Identifikasi pencemaran yang terjadi ini, menunjukkan pentingnya dilakukan monitoring dan kajian secara berkala dan berkelanjutan agar dapat mendeteksi lebih dini terjadinya sebuah pencemaran. Hasil riset ini diharapkan dapat digunakan sebagai landasan awal dalam melakukan riset yang lebih komprehensif terkait sumber pencemar Pb di daerah Surabaya dan sekitarnya, agar dampak lingkungan dan kerugian finansial yang lebih besar dapat dihindarkan.

SIMPULAN

Karakterisasi Pb pada $PM_{2,5}$ udara ambien di Jakarta, Serpong, Bandung, Yogyakarta, Semarang dan Surabaya pada tahun 2012 menunjukkan bahwa konsentrasi Pb di Surabaya berbeda secara signifikan, puluhan hingga ribuan kali, dibandingkan dengan lokasi lainnya. Hasil ini juga menunjukkan bahwa pencemaran Pb yang telah terdeteksi di Serpong sejak 1996, masih berlangsung hingga tahun 2012. Berdasarkan hasil tersebut dapat ditunjukkan bahwa riset terkait kajian kualitas udara sangat penting dilakukan secara berkesinambungan sebagai *early warning* dan sebagai rekomendasi yang berbasis *scientific research* agar kebijakan yang tepat dan terarah dapat dicapai.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada seluruh personil kelompok Teknik Analisis Radiometri PTNBR dan BLHD Provinsi DKI Jakarta, BLHD Provinsi Jawa Barat, BLHD Provinsi Jawa Tengah dan BPLHD Provinsi

Jawa Timur serta PTAPB BATAN Yogyakarta atas semua bantuan dan kerjasamanya.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Dockery, D.W, Pope, C.A, Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H, Fay, M.E., Ferris, B.G., Speizer, F.E. An Association Between Air Pollution and Mortality in Six US Cities, New England, Journal of Medicine 329 (1993) 1753-1759
- (2) Katouyanni K. Long term effect of air pollution in Europe, Occupational and Environmental Medicine 62 (2005) 432-433.
- (3) Cohen, Dd., Gras, J., Garton, D., Firestone, T., Johnson, G., Bailey, G., Ayers, G. Study of Fine Atmospheric Particles and Gases in The Jakarta Region. Final Report, Project Report No.3 (1997).
- (4) Halimah Syafrul. 2008. Proceeding Seminar Nasional AAN, Bandung (2008)
- (5) Muhayatun Santoso, Diah Dwiana, Rita, Esrom, Halimah And Philip K Hopke. Preliminary Study of the Sources of Ambient Air Pollution in Serpong, Indonesia, Atmospheric Pollution Research Journal 2 (2011) 2011
- (6) Kementrian Negara Lingkungan Hidup Dan Bappenas. Buku Strategi dan Rencana Aksi Nasional, Jakarta (2006).
- (7) Hei International Scientific Oversight Committee Of Hei Public Health And Air Pollution In Asia Program. Health Effects on Outdoor Air Pollution in Developing Countries of Asia: A Literature Review", Special Report 15, Health Effect Institute (2004).

- (8) Gilbert Sg, Weiss B. A rationale for lowering the blood lead action level from 10 to 2 µg/dL. *Neuro Tox* (2006) 27 (5) (2006) 693-701
- (9) Maenhaut, W., Francois, .F, 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. IAEA report no. NAHRES-19 (1993) pp.249-263
- (10) Hopke, P.K., Xie, Y., Raunemaa, T., Biegalski, S., Landsberger, S., Maenhaut, W., Artoso, P., Cohen, D. Characterization of Gent stacked filter unit PM₁₀ sampler. *Aerosol Science and Technology* 27 (1997) 726-735
- (11) Cohen, D.D., Bailey, G.M., Kondepudi R. Elemental Analysis by PIXE and other IBA technique and their application to source fingerprinting of atmospheric fine particle pollution. *Nucl. Instr. Meth in Phys. Res B* 109/110 (1996) 218-226.
- (12) Anonim, Lampiran Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang baku mutu udara ambien [www.hukumonline.com/ pusatdata/download/.../368](http://www.hukumonline.com/pusatdata/download/.../368) diunduh 31 Mei 2013
- (13) Hopke, P.K., Cohen, D.D., Begum, B.A., Biswas, S.K., Ni, B.F., Pandit, G.G., Santoso, M., Chung, Y.S., Davy, P., Markwitz, A., Waheed, S., Siddique, N., Santos, F.L., Pabroa, P.C.B., Seneviratne, .M.C.S., Wimolwattanapun, W., Bunprapob, S., Vuong, T.B., Hien, P.D., Markowicz, A Urban air quality in the Asian region. *Sci. Total Environ.* 404 (2008) 103–112.
- (14) USEPA, National Ambient Air Quality Standart (NAAQS) <http://www.epa.gov/air/criteria.html> diunduh pada 31 Mei 2013
- (15) Santoso, M., Lestiani, D.D., Mukhtar, R., Hamonangan, E., Syafrul, H., Markwitz, A., Hopke, Pk. Preliminary Study of The Sources of Ambient Air Pollution in Serpong, Indonesia. *Atmospheric Pollution Research* 2 (2011) 190-196.

EMISI GAS RUMAH KACA DAN HASIL GABAH DARI BEBERAPA VARIETAS PADI UNGGUL TIPE BARU DI LAHAN SAWAH TADAH HUJAN DI JAWA TENGAH

GREENHOUSE GASES EMISSION AND GRAIN YIELD FROM SEVERAL SUPERIOR RICE VARIETIES UNDER RAINFED LOWLAND FIELD IN CENTRAL JAVA

A. Wihardjaka dan Sarwoto¹⁾

(Diterima tanggal 04-08-2014; Disetujui tanggal 04-12-2014)

ABSTRAK

Pelepasan varietas unggul tipe baru sebagai jawaban akan peningkatan kebutuhan pangan nasional. Beberapa varietas padi telah rentan terhadap serangan organisme pengganggu tanaman, sehingga potensial menurunkan hasil gabah. Di sisi lain, budidaya padi sawah berkontribusi terhadap pelepasan gas rumah kaca terutama metana ke atmosfer yang dapat menyebabkan pemanasan global. Informasi emisi metana dari beberapa varietas in hibrida masih terbatas. Penelitian dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya emisi metana dari beberapa varietas in hibrida yang dibudidayakan di lahan sawah tadah hujan. Percobaan disusun menggunakan rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan dan perlakuan varietas padi yang meliputi Inpari 14, Inpari 15, Inpari 17, Inpari 18, Inpari 20, Ciherang, Situ Bagendit, IR64. Inpari 17 dan 18 merupakan kultivar padi yang menghasilkan emisi metana lebih rendah daripada IR64, Ciherang, dan Situ Bagendit. Emisi metana terendah dari kultivar yang diuji adalah Inpari 18 < Inpari 17 < IR64 < Situ Bagendit < Ciherang < Inpari 20 < Inpari 14 < Inpari 15. Hasil gabah kering giling tertinggi dari kultivar yang diuji di lahan sawah tadah hujan adalah Inpari 17 < Inpari 18 < Situ Bagendit < Inpari 15 < Inpari 20 < Inpari 14 < IR64 < Ciherang. Inpari 17 dan 18 merupakan kultivar padi yang berdaya hasil tinggi dan rendah emisi metana dengan indeks emisi metana masing-masing 0,01 kg CH₄ kg⁻¹ gabah.

Kata kunci: emisi metana, varietas inbrida, sawah tadah hujan, gabah, jawa tengah

ABSTRACT

The release of a new type of high yielding variety is to respond the increase of national food consumption. Several rice varieties have been vulnerable to major rice pests' attacks that potentially reduce grain yield. On the other hand, rice cultivation contributes to the release of greenhouse gases, especially methane, into the atmosphere that can cause global warming. Information of methane emissions from several non hybrid varieties is still limited. The field experiment was conducted in order to determine the magnitude of methane emissions from several non hybrid varieties cultivated in the rainfed areas. The eight treatments of rice variety were arranged using a randomized block design with three replications. The rice varieties tested were Inpari 14, Inpari 15, Inpari 17, Inpari 18, Inpari 20, Ciherang, Situ Bagendit, IR64. Variables observed were methane flux, grain yield, and biomass weight. Inpari 17 and 18 rice cultivars emitted lower methane emission than IR64, Ciherang, Situ Bagendit, and other Inpari varieties tested. Lowest methane emissions from rice varieties tested was Inpari 18 < Inpari 17 < IR64 < Situ Bagendit < Ciherang < Inpari 20 < Inpari 14 < Inpari 15. The highest grain yield of rice varieties tested in rainfed areas was Inpari 17 < Inpari 18 < Situ Bagendit < Inpari 15 < Inpari 20 < Inpari 14 < IR64 < Ciherang. Rice variety of Inpari 17 and 18 rice was variety with high yielding and low methane emissions with methane emission index as much as 0.01 kg CH₄ kg⁻¹ grains, respectively.

Keywords: methane emission, non hybrid variety, rainfed lowland rice, grain, central java

PENDAHULUAN

Sawah tadah hujan mempunyai andil dalam memenuhi kebutuhan pangan nasional. Sebagai lahan sub-optimal, sawah tadah hujan dihadapkan pada berbagai kendala yang berpengaruh terhadap rendahnya produksi padi tadah hujan, antara lain kesuburan tanah rendah, curah hujan tidak menentu, cekaman kekeringan, dan pertumbuhan gulma yang pesat. Pemenuhan kebutuhan pangan terutama beras dari sawah tadah hujan dapat dicapai dengan penggunaan varietas padi unggul tipe baru untuk menggantikan varietas lama yang rentan terhadap serangan organisme pengganggu tanaman (OPT), antara lain varietas inbrida baru yang telah dilepas pemerintah.

Budidaya padi sawah dipandang sebagai salah satu sumber utama emisi gas rumah kaca di sektor pertanian. Gas metana (CH_4) merupakan salah satu gas rumah kaca (GRK) utama yang dilepaskan dari *interface* tanah-tanaman padi sawah, antara lain melalui difusi, ebulisi, media tanaman padi[1]. Besarnya emisi metana yang dilepaskan dalam budidaya padi sawah tergantung pada jenis tanah, kondisi kelengasan tanah, sifat fisikokimia tanah[2], suhu tanah, dan faktor pengelolaan tanaman termasuk varietas yang digunakan[3]. Potensi pemanasan global CH_4 adalah 25 kali lebih besar daripada massa setara CO_2 di atmosfer[4]. Metana memberikan sumbangan 14% dari emisi GRK global akibat tingginya laju difusi CH_4 ke dalam tanah dan oksidasi CH_4 oleh mikroba metanotropik. Pada sistem sawah tadah hujan, kondisi tanah aerob – anaerobik terjadi silih berganti sehingga berpengaruh terhadap dinamika gas CO_2 dan CH_4 dari tanah.

Tanaman padi berperan penting dalam melepaskan metana ke atmosfer. Lebih dari 80% metana dilepaskan dari tanah ke atmosfer melalui tanaman padi yang bertindak sebagai cerobong (*chimney*). Oksigen dipasok dari atmosfer ke perakaran tanaman padi melalui jaringan aerenkhima. Jaringan aerenkhima tanaman padi berfungsi sebagai media respirasi dan pertukaran gas di dalam tanah seperti difusi metana dari tanah tereduksi[5]. Selain itu, pelepasan metana dalam jumlah lebih sedikit dari tanah sawah ke atmosfer dapat berupa gelembung-gelembung pada permukaan air atau berdifusi secara lambat dari tanah melalui air[6]. Perbedaan konsentrasi air antara rhizofe dan ruang intrasel akar menyebabkan difusi metana terlarut dan perubahan gas ke dalam dinding korteks yang didistribusikan ke batang tanaman melalui jaringan aerenkhima. Gas metana dilepaskan ke atmosfer melalui pori-pori mikro tanaman[7].

Pemilihan varietas padi umumnya berdasar atas potensinya terhadap hasil tinggi dan sifat-sifat lainnya seperti ketahanannya terhadap hama dan penyakit tanaman tertentu. Terkait dengan teknik budidaya ramah lingkungan, pemilihan varietas padi seharusnya juga mempertimbangkan kemampuannya dalam melepaskan metana ke atmosfer yang tergantung pada karakteristik varietas dan kondisi tanah [8]. Perbedaan karakteristik varietas menyebabkan keragaman di antara varietas dalam mengoksidasi dan melepaskan metana ke atmosfer[9].

Pelepasan GRK dari tanah sawah dipengaruhi oleh sifat fisiologi dan morfologi tanaman padi dan eksudat akar yang merupakan

sumber karbon dan energi bagi aktivitas mikroorganisme yang hidup di rhizosfer termasuk bakteri metanogen [1, 10]. Keragaman emisi CH_4 antar kultivar padi ditentukan oleh keragaman ketersediaan eksudat akar dan pembusukan jaringan akar dan daun-daun yang jatuh di dalam tanah, dan keragaman kapasitas pengangkutan CH_4 antar varietas padi [2]. Eksudat akar dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan termasuk spesies tanaman atau varietas, umur tanaman, suhu, radiasi, unsur hara, lengas tanah, kerusakan akar, dan aplikasi bahan agrokimia melalui permukaan daun [10]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya emisi metana dari beberapa varietas padi unggul tipe baru yang dibudidayakan di lahan sawah tadah hujan.

METODOLOGI

Percobaan dilaksanakan di lahan sawah tadah hujan di Jakenan, Pati, Jawa Tengah pada musim penghujan 2013. Lokasi percobaan terletak pada ketinggian 15 m di atas permukaan laut dengan koordinat $111^{\circ}10'$ BT dan $6^{\circ}45'$ LS. Tanah di lokasi percobaan adalah *Inceptisol* yang mengandung C organik rendah ($< 2\%$), N total rendah, P total rendah, kapasitas tukar kation rendah

$[<16 \text{ cmol (+) kg}^{-1}]$ dan kation dapat ditukar rendah (Tabel 1). Kondisi kandungan hara rendah mencerminkan bahwa status kesuburan kimiawi tanah sawah tadah hujan termasuk kategori rendah.

Percobaan disusun menggunakan rancangan acak kelompok diulang tiga kali dengan perlakuan varietas padi meliputi Inpari 14, Inpari 15, Inpari 17, Inpari 18, Inpari 20, Situ Bagendit, dan varietas kontrol (IR64 dan Ciherang).

Varietas padi ditanam dengan sistem tanam pindah pada tanggal 5 Januari 2013. Tanah diolah dengan bajak, diratakan, dan dibuat petakan-petakan dengan ukuran 6 m X 10 m. Bibit varietas padi ditanam pindah dari persemaian setelah umur 15 hari dengan jarak tanam 20 cm X 20 cm masing-masing satu bibit per lubang. Panen padi dilakukan tanggal 16 April 2013.

Masing-masing petakan diberi pupuk N P K dengan takaran 120 kg N, 36 kg P_2O_5 , dan 60 kg K_2O setiap hektarnya. Pupuk N dalam bentuk urea diberikan tiga tahap, masing-masing $1/3\text{N}$ ketika 7, 40, dan 55 hari setelah tanam pindah. Pupuk P diberikan sekaligus dan pupuk K diberikan secara dua tahap yaitu $1/2\text{K}$ pada 7 hst dan $1/2\text{K}$ saat 40 hst.

Tabel 1. Karakteristik tanah sawah Inceptisol di KP Jakenan Pati, Jawa Tengah, 2013

| Karakteristik tanah | Harkat ¹⁾ |
|------------------------------------|----------------------|
| C organik (%) | 1,89±0,16 |
| N total (%) | 0,17±0,04 |
| P total (%) | 0,04±0,03 |
| K total (%) | 5,05±1,59 |
| K T K [cmol (+) kg ⁻¹] | 4,24±1,40 |
| Kation dapat ditukar : | |
| K [cmol (+) kg ⁻¹] | 0,02±0,01 |
| Na [cmol (+) kg ⁻¹] | 1,19±0,67 |
| Ca [cmol (+) kg ⁻¹] | 7,12±2,75 |
| Mg [cmol (+) kg ⁻¹] | 1,51±0,74 |

¹⁾ Rerata dari 12 contoh tanah

Data yang diamati meliputi emisi metana (CH_4) yang dihitung dari fluks CH_4 pada fase pertumbuhan anakan aktif, anakan maksimum, primordia bunga, dan pengisian bulir padi; hasil gabah dan biomassa padi dari ubinan 3 m X 5 m. Contoh gas diambil dengan menggunakan sungkup tertutup pada interval waktu 5, 10, 15, 20 menit. Sungkup yang digunakan berukuran 40 cm X 40 cm X 100 cm. Contoh gas diambil menggunakan *syringe* volume 10 ml. Contoh gas diinjeksikan ke alat kromatografi gas yang dilengkapi dengan detektor FID untuk penetapan fluks CH_4 . Penetapan fluks CH_4 menggunakan formula dari *International Atomic Energy Agency – IAEA* tahun 1995[12]. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji DMRT taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Emisi Metana

Varietas padi yang dibudidayakan di ekosistem sawah tadah hujan menentukan besarnya emisi metana ($p < 0,0001$). Perbedaan emisi antar varietas dipengaruhi oleh keragaman sifat morfologi dan fisiologi tanaman, serta eksudasi di perakaran tanaman. Pelepasan metana dari varietas padi Inpari 17 dan Inpari 18 adalah lebih rendah daripada Inpari 14, 15,

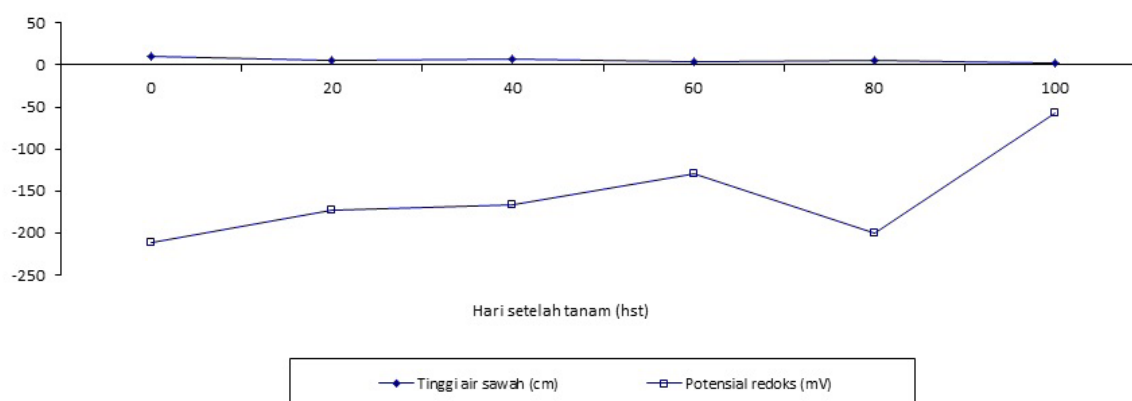
dan 20. Inpari 15 mengemisi metana tertinggi diikuti Inpari 14 dan Inpari 20 yang lebih tinggi daripada varietas Situ Bagendit, Ciherang, dan IR64 (Tabel 2). Selama pertumbuhan tanaman, kondisi lahan tergenang dengan ketinggian air dipermukaan sawah lebih daripada 4 cm kecuali pada fase pemasakan dengan tinggi air sawah 2 cm. Kondisi reduktif tersebut menguntungkan terjadi pembentukan metana yang berlangsung dengan baik seperti ditunjukkan oleh redoks potensial lebih rendah daripada -100 mV (Gambar 1). Produksi CH_4 meningkat secara eksponensial dengan penurunan Eh tanah dengan kisaran -150 hingga -200 mV [13]. Pada nilai kisaran Eh tersebut, aktivitas mikroba methanogen dalam kondisi optimum, apalagi didukung oleh suhu tanah dalam kisaran 30-40 °C.

Angka dalam lajur sama diikuti huruf sama berarti tidak berbeda nyata pada taraf 0,05 menurut uji beda nyata terkecil

Varietas Situ Bagendit potensial mengemisi metana rendah meskipun emisinya relatif lebih tinggi dibandingkan Ciherang dan IR64. Situ Bagendit adalah varietas padi gogo yang mampu tumbuh baik di lahan sawah tadah hujan, sehingga konversi media tanam dari sistem padi sawah ke sistem padi *aerobic* (gogo

Tabel 2. Emisi metana dari varietas padi unggul tipe baru di sawah tadah hujan, MH 2013

| Varietas padi | Emisi metana (kg CH_4 ha ⁻¹ musim ⁻¹) | Nisbah metana/gabah (kg CH_4 kg ⁻¹ gabah) |
|-------------------------|--|--|
| Inpari 14 | 295 b | 0,0052 a |
| Inpari 15 | 310 a | 0,042 b |
| Inpari 17 | 86 g | 0,010 g |
| Inpari 18 | 82 g | 0,010 g |
| Inpari 20 | 180 c | 0,026 d |
| Situ Bagendit | 123 e | 0,016 f |
| Ciherang | 150 d | 0,030 c |
| IR64 | 108 f | 0,020 e |
| Koefisien keragaman (%) | 2,85 | 3,18 |



Gambar 1. Tinggi air sawah dan potensial redoks pada beberapa fase pertumbuhan tanaman padi

atau gogorancah) akan menurunkan emisi metana [14]. Keragaman sifat morfologi dan fisiologi antar varietas menentukan besarnya metana yang dilepaskan ke atmosfer. Sekitar 70% metana dilepaskan ke atmosfer melalui jaringan aerenkhima tanaman padi. Awal pertumbuhan, metana terperangkap tanah dilepaskan ke atmosfer melalui ebulisi yang disebabkan oleh praktek budidaya seperti olah tanah, pelumpuran, perataan tanah, tanam, pemupukan, dan penyiangan. Selama fase pertumbuhan reproduktif, lebih dari 90% emisi berasal dari tanaman padi [1, 2]. Laju emisi metana meningkat mulai dari fase *vegetative* hingga fase reproduktif dan puncaknya terjadi pada periode pemasakan dari padi sawah di ekosistem irigasi [3].

Tiap-tiap varietas padi mempunyai sifat dan aktivitas akar berbeda, seperti eksudat akar dan laju perubahan gas yang berkaitan dengan volume emisi CH_4 [15]. Varietas Inpari 17, Inpari 18, dan IR64 diduga menghasilkan eksudat akar lebih rendah daripada Inpari 14 dan Inpari 15. Bakteri metanogen menggunakan eksudat akar dan massa akar tanaman padi sebagai sumber karbon dalam menghasilkan CH_4 [16]. Produksi eksudat akar tanaman

padi lebih aktif terjadi saat fase pertumbuhan reproduktif terutama pada saat keluarnya daun bendera. Pada fase pertumbuhan tersebut, kondisi lingkungan menguntungkan karena ketersediaan air hujan mencukupi bagi pertumbuhan tanaman yang lebih baik [9]. Eksudat akar dibutuhkan bakteri metanogen dalam metabolismenya untuk membentuk gas metana. Eksudat akar merupakan bahan organik seperti karbohidrat yang merupakan penyusun utama, asam-asam organik, asam-asam amino yang difermentasikan menjadi asetat atau CO_2 dan H^+ , yang akan diubah menjadi metana oleh bakteri metanogen [6].

Besarnya fluks metana antar varietas padi dipengaruhi oleh bobot biomassa tanaman. Besarnya biomassa akar dapat meningkatkan produksi metana, dimana biomassa akar mempunyai korelasi positif dengan produksi metana [5, 8]. Tingginya biomassa akar tanaman padi meningkatkan jumlah karbohidrat dari perakaran, eksudat akar, dan akar yang membusuk merupakan sumber karbon yang penting untuk produksi metana di lahan sawah sesuai dengan perkembangan tanaman. Eksudasi senyawa karbon pada kondisi tanah reduktif tersebut dapat digunakan baik secara

langsung maupun tidak langsung oleh bakteri metanogen dalam menghasilkan gas metana [13].

Nisbah antara emisi metana dan hasil gabah sebagai indeks emisi untuk memprediksi varietas padi yang potensial menghasilkan gabah tertinggi dan memberikan kontribusi emisi metana terendah [17]. Tabel 2 memperlihatkan keragaman nyata nisbah metana dan hasil gabah antar varietas yang diuji ($p < 0,0001$). Nilai nisbah metana dan hasil gabah makin rendah berarti daya hasil varietas yang diuji makin tinggi dan emisi metana makin rendah. Nisbah metana dan hasil gabah dari varietas Inpari 17 dan Inpari 18 adalah terendah ($0,01 \text{ kg CH}_4 \text{ kg}^{-1}$ gabah) diikuti varietas Situ Bagendit ($0,016 \text{ kg CH}_4 \text{ kg}^{-1}$ gabah) dan varietas IR64 ($0,02 \text{ kg CH}_4 \text{ kg}^{-1}$ gabah), sedangkan nilai nisbah tertinggi ditunjukkan oleh varietas Inpari 14 yang diikuti Inpari 15 (Tabel 2).

Hasil Gabah dan Biomassa

Varietas padi sawah yang dibudidayakan di ekosistem sawah tadah hujan nyata menghasilkan gabah dan biomassa yang beragam ($P < 0,0001$). Hasil gabah dari

varietas padi yang diuji secara berurutan: Inpari 17 < Inpari 18 < Situ Bagendit < Inpari 15 < Inpari 20 < Inpari 14 < IR64 < Ciherang (Tabel 3). Varietas padi unggul tipe baru Inpari umumnya menghasilkan gabah lebih tinggi daripada varietas padi unggul yang lama seperti IR64 dan Ciherang. Tingginya hasil gabah varietas Inpari 17 dan 18 ditentukan pula oleh tingginya indeks panen yang masing-masing nilainya 0,74 dan 0,77 (Tabel 3). Indeks panen dari varietas IR64 dan Ciherang masing-masing adalah 0,46 dan 0,43. Tingginya hasil gabah varietas padi tersebut dipengaruhi oleh jumlah daun dari anakan yang aktif berfotosintesis terutama pada fase pengisian bulir [18]. Laju fotosintesis tinggi meningkatkan produktivitas tanaman yang tergantung pada indeks luas daun, bentuk kanopi, dan produktivitas biomassa kering dari masing-masing varietas yang diuji. Varietas unggul tipe baru yang diuji umumnya mempunyai batang kuat, daun tegak, dan berwarna hijau tua dengan system perakaran baik sehingga mampu berkembang di tanah sawah tadah hujan dan menghasilkan gabah nyata.

Varietas padi nyata menghasilkan biomassa yang beragam. Bobot biomassa saat panen

Tabel 3. Hasil gabah dan bobot biomassa dari varietas inbrida padi di sawah tadah hujan, MH 2013

| Varietas padi | Hasil padi (kg ha^{-1}) | | Indeks panen |
|-------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|
| | Gabah kadar air 14% | Biomassa kering | |
| Inpari 14 | 5,652 e | 11,077 de | 0,51 d |
| Inpari 15 | 7,361 c | 12,601 a | 0,58 c |
| Inpari 17 | 8,487 a | 11,382 cd | 0,74 a |
| Inpari 18 | 7,923 b | 10,264 f | 0,77 a |
| Inpari 20 | 6,917 d | 10,670 ef | 0,64 b |
| Situ Bagendit | 7,733 b | 12,296 ab | 0,63 bc |
| Ciherang | 5,001 f | 11,687 bcd | 0,43 e |
| IR64 | 5,402 e | 11,788 bc | 0,46 de |
| Koefisien keragaman (%) | 2,05 | 2,49 | 3,79 |

Angka dalam lajur sama diikuti huruf sama berarti tidak berbeda nyata pada taraf 0,05 menurut uji beda nyata terkecil

tertinggi dihasilkan oleh varietas Inpari 15 diikuti Situ bagendit. Bobot biomassa terendah dihasilkan oleh Inpari 18 dan Inpari 20 (Tabel 3). Varietas Situ bagendit tampak mampu menyesuaikan dengan sistem sawah tadah hujan.

SIMPULAN

Varietas padi unggul tipe baru Inpari 17 dan Inpari 18 yang dibudidayakan di ekosistem sawah tadah hujan menghasilkan gabah dan indeks panen tertinggi. Inpari 17 dan 18 merupakan kultivar padi dengan potensi hasil tinggi dan tingkat emisi metana paling rendah daripada varietas inbrida lain yang diuji. Nisbah antara emisi metana dan hasil gabah untuk Inpari 17 dan 18 adalah 0,01 kg CH₄ kg⁻¹ gabah. Varietas padi Inpari 14 dan 15 menghasilkan metana lebih tinggi dibandingkan varietas Ciherang, IR64, dan Situ Bagendit

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Wasidin, Jumari, dan Suyoto yang telah membantu dalam pengambilan contoh gas di lapangan, dan kepada Titi Soepiawati atas bantuannya dalam analisis fluks metana di laboratorium GRK Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Neue, H.U. 1993. Methane emission from rice fields : Wetland rice fields may make a major contribution to global warming. *Bioscience* 43(7): 466-473.
- (2) Dubey, S.K. 2005. Microbial ecology of methane emission in rice agroecosystems : A review. *Applied Ecology and Environmental Research* 3(2): 1-27.
- (3) Wassmann, R., G.C. Nelson, S.B. Peng, K. Sumfleth, S.V.K. Jagadish, Y. Hosen, & M.W. Rosegrant. 2010. Rice and global climate change. In: Pandey et al. editors. *Rice in The Global Economy: Strategic Research and Policy Issues for Good Security*. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines. p. 411-432.
- (4) van Zwielen, L., B. Singh, S. Joseph, S. Kimber, A. Cowie, & K.Y. Chan. 2009. Biochar and emissions on non-CO₂ greenhouse gases from soil. p. 227.
- (5) Neue, H.U., & R.L. Sass. 1994. Trace gas emission from rice fields. *Environ. Sci. Research* 48: 119 – 147.
- (6) Holzapfel-Pschron, A., R. Conrad, & W. Seiler. 1986. Effect of vegetation on the emission of methane from submerged paddy soil. *Plant Soil* 92: 223 – 233.
- (7) Nouchi, I. 1992. Mechanism of methane transport through rice plants. In *Proceeding of CH₄ and N₂O Workshop : CH₄ and N₂O emissions from natural and antropogenic sources and their reduction research plant*. National Research of Agro-Environmental Sciences. Tsukuba. Japan.
- (8) Neue, H.U., & P.A. Roger. 1993. Rice Agriculture : Factors controlling emission. Pages XXX in M.A.K. Khalil, & M. Shearer (Eds.). *Global Atmospheric Methane*. NATO ASI/ ARW Series.

- (9) Wihardjaka, A., & A.K. Makarim. 2001. Emisi gas metan melalui beberapa varietas padi pada tanah Inceptisol yang disawahkan. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 20(1): 10-16.
- (10) Murphy, J.A., S.L. Murphy, & H. Samaranayake. 2006. Soil physical constraints and plant growth interaction. p. 387-406 in Wilkinson, R.E. (Ed.). *Plant-Environment Interactions*. 2nd Edition. Marcel Dekker, Inc. Madison Avenue, New York.
- (11) Suprihatno, B., A.A. Daradjat, Satoto, Baehaki, S.E., Suprihanto, A. Setyono, S.D. Indrasari, P. Wardhana, & H. Sembiring. 2010. *Deskripsi Varietas Padi*. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Subang.
- (12) Iqbal, J., R. Hu, S. Lin, R. Hatano, M. Feng, L. Lu, B. Ahamadou, & L. Du. 2009. CO₂ emission in a subtropical red paddy soil (Ultisols) as affected by straw and N-fertilizer applications : A case study in Southern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131: 292-302.
- (13) Wassman, R., H. Papen, & H. Rennenberg. 1993. Methane emission from rice paddies and possible mitigation strategies. *Chemosphere* 26: 201-217.
- (14) Wassmann, R., H.U. Neue, J.K. Ladha, & M.S. Aulakh. 2004. Mitigating greenhouse gas emission from rice-wheat cropping systems in Asia. *Environment, Development and Sustainability* 6: 65-90.
- (15) Wagatsuma, T., T. Nakashima, T. Tawaraya, S. Watanabe, A. Kamio, & A. Ueki. 1990. Role of plant aerenchyma in wet tolerance and methane emission from plants. p. 455-461 in M.L. van Beusichem (Ed.). *Plant Nutrition, Plant Physiology and Application*. Kluwer Acad. Publ.
- (16) Shalini-Singh, S. Kumar, & M.C. Jain. 1997. Methane emission from two Indian soils planted with different rice cultivars. *Biol. Fertil. Soils* 25: 285-289.
- (17) Subadiyasa, Netera, Nyoman Arya, & Makoto Kimina. 1997. Methane emissions from paddy field in Bali Island, Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.* 43: 387-394.
- (18) Abdullah, B., S. Tjokrowidjojo, & Sularjo. 2008. Status, perkembangan, dan prospek pembentukan padi tipe baru di Indonesia. *Prosiding Simposium V Tanaman Pangan, Inovasi Teknologi Tanaman Pangan*. Buku 2. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor. Hlm. 269-287.

PERBANDINGAN PENGUKURAN KONSENTRASI PARTIKULAT DI UDARA AMBIEN MENGGUNAKAN ALAT *HIGH VOLUME AIR SAMPLER* DAN *GENT STACKED FILTER UNIT SAMPLER*

MEASUREMENT COMPARISON OF PARTICULATE CONCENTRATION IN AMBIEN AIR USING HVAS AND GENT STACKED FILTER UNIT SAMPLER

Rita Mukhtar¹⁾, Isa Ansyori¹⁾, Esrom Hamonangan¹⁾, Muhayaton Santoso²⁾, Diah Dwiana Lestiani²⁾

(Diterima tanggal 12-10-2014; Disetujui tanggal 09-12-2014)

ABSTRAK

Pengambilan contoh uji partikulat di udara ambien dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan yang berbeda yaitu *High Volume Air Sampler (HVAS)* dan *Gent Stacked Filter Unit Sampler*. Untuk mengetahui hasil dari kedua metode sampling tersebut, Pusarpedal melakukan pengambilan contoh uji menggunakan kedua alat tersebut dan mengukur parameter logam berat timbal (Pb) sesuai yang tercantum di dalam Lampiran Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan rasio atau perbandingan konsentrasi Pb yang didapat dari alat *HVAS* dan *Gent stacked filter unit sampler*. Contoh uji *Total Suspended Particulate (TSP)* yang didapat dari alat *HVAS* merupakan partikel yang berada pada ukuran 0-100 μm , dan analisis kandungan logam timbal (Pb) dalam sampel ini dilakukan menggunakan *Atomic Absorption Spectrometry (AAS)*. Sedangkan pada alat *Gent Stacked Filter Unit Sampler* ukuran partikel yang diperoleh adalah dua jenis partikel yang berukuran 0-2,5 μm atau $\text{PM}_{2.5}$ dan ukuran partikel 2,5-10 μm atau $\text{PM}_{2.5-10}$. Analisis Pb pada sampel ini dilakukan menggunakan *Particle Induced X-ray Emission (PIXE)*. Hasil pengukuran yang dilakukan pada rentang waktu 25 Agustus sampai 25 September 2008 menunjukkan konsentrasi Pb pada $\text{PM}_{2.5-10}$ memiliki korelasi yang cukup kuat atau mempunyai pola kecenderungan yang sama terhadap konsentrasi Pb di TSP dengan nilai R^2 sekitar 0,7.

Kata Kunci: logam berat timbal (Pb), *Gent Staked Filter Unit sampler*, *High Volume Air sampler (HVAS)*, TSP, $\text{PM}_{2.5}$, $\text{PM}_{2.5-10}$

ABSTRACT

Particulate matters from ambient air samples have been collected using two techniques with different equipment: High Volume Air Sampler (volume air samplers) and Gent Stacked Filter Unit Sampler at the similar location and period. As a comparison from both sampling techniques, heavy metal concentration, Lead (Pb) has been compared in accordance with the parameters of heavy metals in the appendix to Government Regulation No. 41 of 1999 on Air Pollution Control. Total Suspended Particulate (TSP) which collected using a high volume air sampler were particulates with diameter size 0-100 μm , and the lead (Pb) concentration in these samples was analyzed using Atomic Absorption Spectrometry (AAS). Gent Stacked Filter Unit Sampler collected two size fractions of particulates with diameter size 0-2,5 μm or $\text{PM}_{2.5}$ and particle size 2,5-10 μm or $\text{PM}_{2.5-10}$, the lead concentration in these samples were analyzed using Particles Induced X ray Emission (PIXE). The objective of the study is to obtain the ratio of the results from the measurement using the High Volume Air Samplers and Gent stacked filter units sampler. The results of the measurement during 25th August to 25th September 2008 showed a strong correlation between concentration of Pb in $\text{PM}_{2.5-10}$ compare to Pb in TSP have with R^2 values of about 0.7. Hopefully, this data can be used as a reference by other laboratories .

Keywords: heavy metals lead (Pb), *Gent Staked Filter Unit sampler*, *High Volume Air sampler (HVAS)*, TSP, $\text{PM}_{2.5}$, $\text{PM}_{2.5-10}$

¹ PUSARPEDAL – Kementerian Lingkungan Hidup Gd. 210 Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang Selatan-Banten 15310, ritaiim@yahoo.com

² PSTNT – Pusat Sain Teknologi Nuklir dan Terapan - BATAN Badan Tenaga Nuklir Nasional

PENDAHULUAN

Pencemaran udara merupakan salah satu penyebab menurunnya kualitas lingkungan dan akan mengakibatkan gangguan kesehatan pada manusia, sedangkan data kualitas udara ambien sangat minim ditemukan. Untuk mengetahui zat pencemar yang terkandung di udara ambien, perlu dilakukan pengambilan contoh uji. Metode dan alat pengambilan contoh uji udara ambien tergantung pada parameter yang akan diuji. Pada lampiran Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara terdapat beberapa parameter baku mutu udara ambien diantaranya adalah debu atau *Total Suspended Particulate* (TSP), *Particulate matter* $PM_{2.5}$ dan PM_{10} , serta parameter logam berat timah hitam atau timbal (Pb). Peralatan yang digunakan untuk mengambil contoh uji partikel di udara ambien yang tercantum di dalam PP tersebut adalah *High Volume Air Sampler* (HVAS) dengan metode analisis untuk penentuan partikel adalah gravimetri dan untuk logam Pb menggunakan *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) [1].

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, Pusat Sain dan Teknologi Terapan (PSTNT)-Badan Tenaga Atom Nasional (Batan) memanfaatkan tenaga nuklir dalam analisis contoh uji lingkungan, khususnya udara ambien. Alat yang digunakan untuk mengambil contoh uji udara ambien adalah *Gent stacked filter unit sampler*, dan analisis menggunakan Teknik Analisis Nuklir (TAN) dalam hal ini menggunakan alat uji *Particle Induced E-Ray Emission* (PIXE); dimana TAN memiliki beberapa keunggulan dibandingkan cara konvensional diantaranya: TAN dapat langsung menganalisis banyak

unsur (*multielement*), tanpa ada perlakuan (*non destruktif*), *selective*, *sensitive*, bobot contoh uji kecil serta waktu analisisnya cepat [2].

Penelitian ini bertujuan untuk melihat rasio atau perbandingan hasil yang didapat dari HVAS dan *Gent stacked filter unit sampler*, sehingga dapat dijadikan sebagai referensi kepada laboratorium yang melakukan pengambilan contoh uji udara ambien.

METODOLOGI

Pengambilan contoh uji udara ambien menggunakan alat HVAS dan *Gent stacked filter unit sampler* dilakukan 5 (lima) kali dalam seminggu secara bersamaan pada rentang waktu 25 Agustus sampai 25 September 2008. Lokasi pengambilan contoh uji terdiri dari 4 (empat) lokasi yaitu Perumahan Komplek Batan Indah Serpong, Komplek BSD sektor VIII, sekolahan SDN Setu Muncul Serpong, dan di kantor Pusarpedal-Kementerian Lingkungan Hidup Kawasan Puspipstek Serpong. Pengambilan contoh uji dilakukan pada beberapa variasi waktu untuk masing-masing lokasi.

Parameter yang diuji meliputi kandungan partikel dalam TSP, $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$, PM_{10} , serta logam berat timbal (Pb) yang terkandung didalamnya. Alat HVAS digunakan untuk sampling partikulat berupa *Total Suspended Particulate* (TSP) dengan ukuran dibawah 100 μm sedangkan *Gent sampler* digunakan untuk sampling partikel dengan ukuran di bawah 10 μm (PM_{10}) dan di bawah 2,5 μm ($PM_{2.5}$). Hasil sampling dari kedua alat tersebut dianalisa gravimetri untuk mengetahui

konsentrasi masing-masing parameter TSP, PM₁₀, PM_{2.5}. Analisa lebih lanjut terhadap kandungan logam Pb juga dilakukan untuk masing-masing parameter tersebut dengan menggunakan metode *Particle Induced X-ray Emission (PIXE)* di *GNS Science, National Isotop Centre, New Zealand*. PIXE merupakan teknik analisis yang sangat selektif dengan kepekaan tinggi, simultan dan memiliki batas deteksi mencapai orde submikrogram bahkan nanogram dan hanya memerlukan sampel dalam jumlah kecil. Bila dibandingkan dengan teknik analisis konvensional yang membutuhkan massa yang cukup banyak, perlu preparasi, tidak multielemen, ada interferensi matriks, serta bobot contoh uji yang besar, maka analisis menggunakan teknik nuklir menjadi alternatif baru di bidang analisis parameter udara. Di Amerika Utara hampir 90% sampel filter dari partikulat di udara diukur menggunakan teknik nuklir. Bahkan Australia dalam 4 tahun terakhir telah menganalisis lebih dari 9000 buah sampel filter menggunakan teknik nuklir, khususnya PIXE. Adapun studi ini hanya mengukur kandungan logam Pb saja.

Teknik Pengambilan Contoh Uji Menggunakan Alat *HVAS*

Teknik pengambilan contoh uji mengacu kepada SNI 19-7119.3-2005 tentang cara uji partikel tersuspensi total menggunakan peralatan *HVAS* dengan metoda gravimetri. Filter yang digunakan adalah *Whatman Glass Microfibre Filters* dengan ukuran 20.3 x 25.4 cm (8 x 10 in) EPM 2000.

Prinsip kerja alat *HVAS* yaitu udara dihisap melalui filter di dalam *shelter* menggunakan pompa vakum dengan laju alir tinggi sehingga

partikel terkumpul di permukaan filter. Jumlah partikel yang terakumulasi dalam filter selama periode waktu tertentu dianalisa secara gravimetri. Laju alir dipantau saat periode pengujian 1200 L/min, selama 24 jam [3].

Penimbangan dilakukan pada ruangan dengan suhu 15 - 27 °C, dengan kelembaban relatif antara 0 - 50%. Konsentrasi partikel tersuspensi total dalam contoh uji dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{(W_2 - W_1) \times 10^6}{V} \quad (1)$$

dengan pengertian:

| | |
|-----------------|---|
| C | adalah konsentrasi massa partikel tersuspensi (µg/Nm ³) |
| W ₁ | adalah berat filter awal (g) |
| W ₂ | adalah berat filter akhir (g) |
| V | adalah volum contoh uji udara (m ³) |
| 10 ⁶ | adalah konversi g ke µg |

Hasilnya ditampilkan dalam bentuk satuan massa partikulat yang terkumpul per satuan volum contoh uji udara yang diambil sebagai µg/m³ [3]. Penentuan logam berat menggunakan *Atomic Absorbtion Spectrofotometry (AAS)*[4].

Teknik Pengambilan Contoh Uji menggunakan Alat *Gent Staked Filter Unit Sampler*

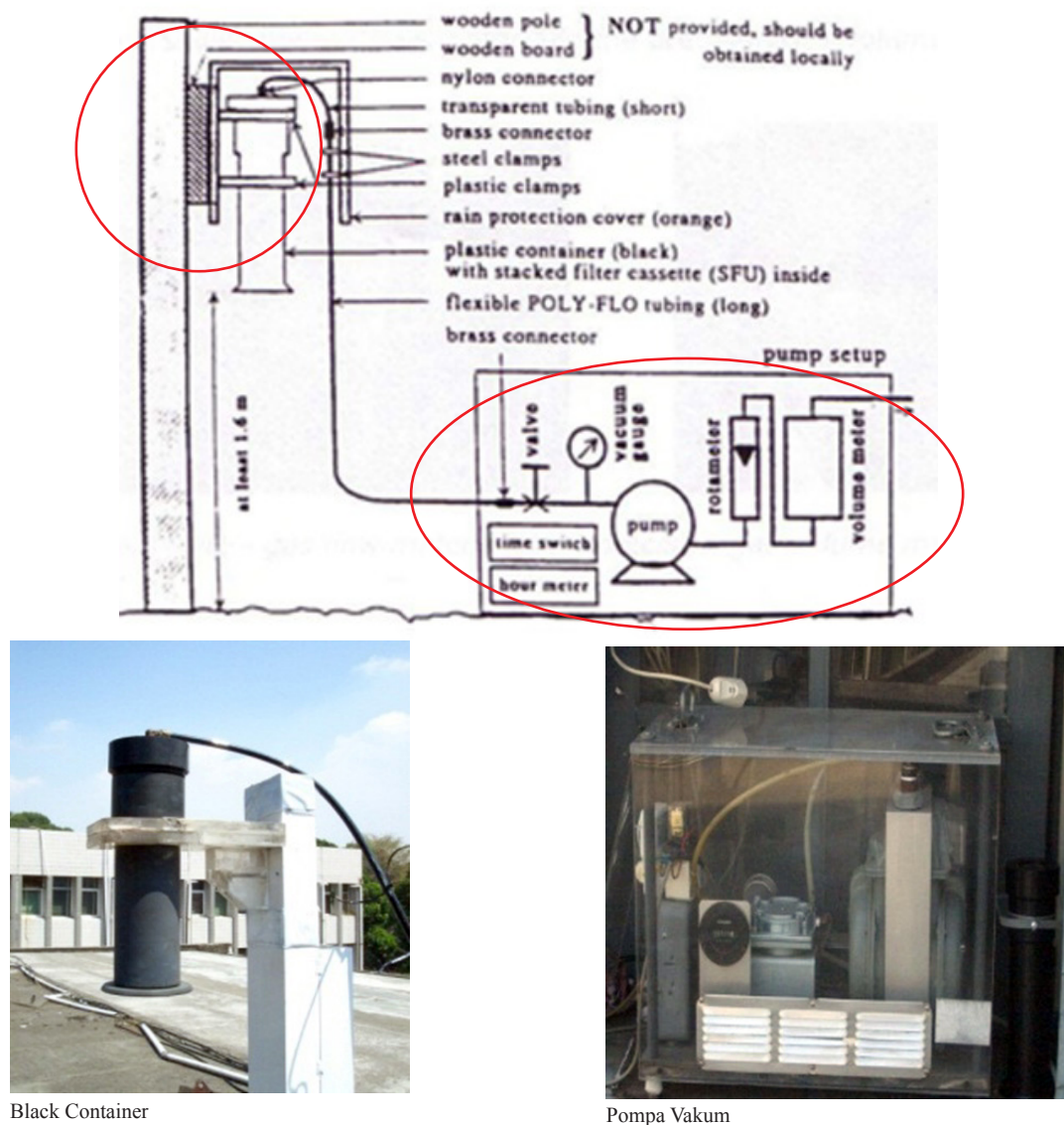
Teknik pengambilan sampel partikulat udara mengacu pada *Sampling and Analytical Methodologies for Instrumental Nuetron Activation Analysis of Airborne Particulate Matter, Training Course Series No.4, International Atomic Energy Agency, Vienna (1992)* serta *Operating Manual for Gent Sampler (RAS/7/013), International Atomic Energy Agency (2004)* [2]. Filter yang digunakan adalah filter jenis *Nuclepore polikarbonat* dengan diameter 47 mm filter

tersebut terdiri dari dua jenis yaitu ukuran pori $0.4\mu\text{m}$ yang digunakan untuk penentuan partikel kecil dari $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$), dan filter berukuran pori $8\mu\text{m}$ yang digunakan untuk penentuan partikel ukuran $2.5\text{--}10\mu\text{m}$. PM_{10} adalah partikulat udara yang berukuran lebih kecil dari $10\mu\text{m}$ yang dapat diperoleh dari penjumlahan $\text{PM}_{2.5}$ dengan $\text{PM}_{2.5\text{--}10}$ [5].

Gent sampler terdiri dari sistem pompa vakum dikontrol dengan *timer*, dan *black container* (*stack filter unit*, kaset filter), selang, pompa vakum, volume meter, dan *flow meter*. Alat *Gent* direkomendasikan ditempatkan pada

ketinggian 6 – 20 meter di atas tanah. Pompa vakum yang digunakan kuat beroperasi selama 24 jam, karena pengambilan contoh uji dilakukan selama 24 jam. Laju alir udara diatur pada 18 L/menit [5].

Penimbangan filter/sampel partikulat udara menggunakan neraca mikro *Mettler Toledo* Tipe AG 245² dan tipe MX5. Sebelum dilakukan penimbangan, filter dikondisikan pada suhu ruang dengan temperatur 18-25°C dan kelembaban maksimum kurang dari 55%. Penentuan logam berat dilakukan di Laboratorium PSTNT – Batan Bandung [2].



Gambar 1. Skema Bagan Alat *Gent Sampler*

$PM_{2.5}$ dan PM_{10} diperoleh berdasarkan perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$PM_{2.5} = \frac{m_1}{v_1} \left(\frac{\mu g}{m^3} \right) \quad (2)$$

$$PM_{2.5-10 \text{ (kasar)}} = \frac{m_2}{v_2} \left(\frac{\mu g}{m^3} \right) \quad (3)$$

$$PM_{10} = (PM_{2.5} + PM_{kasar}) \quad (4)$$

dengan keterangan sebagai berikut:

- m_1 = massa sampler partikulat halus pada filter halus (μg)
- v_1 = volume sampler partikulat halus pada filter halus (m^3)
- m_2 = massa sampler partikulat kasar pada filter kasar (μg)
- v_2 = volume sampler partikulat kasar pada filter kasar (m^3)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Konsentrasi Partikulat Di Udara Ambien Menggunakan *HVAS* Dan *Gent Stacked Filter Unit Sampler*

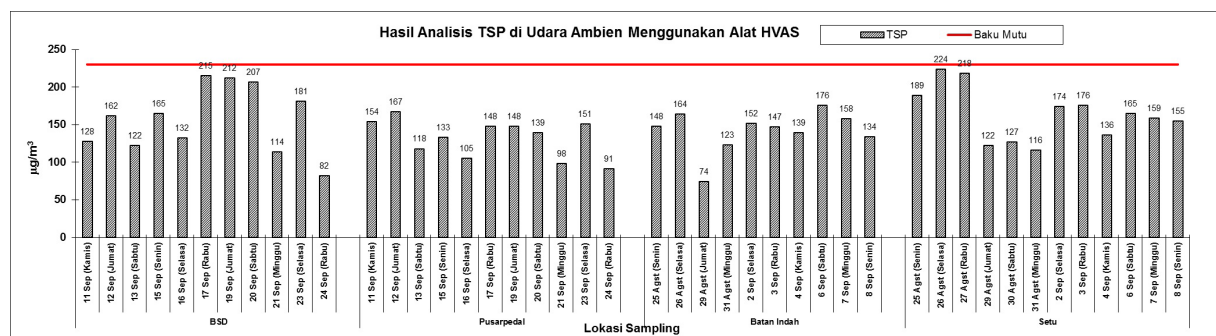
Hasil analisis TSP di semua lokasi yang dipantau pada periode pengukuran 25 Agustus sampai 25 September 2008 berada dibawah

baku mutu udara ambien menurut PP 41/1999 yaitu $230 \mu g/Nm^3$. Kisaran nilai TSP di Setu 116-224 $\mu g/Nm^3$, Batan Indah 74-176 $\mu g/Nm^3$, BSD 82-215 $\mu g/Nm^3$, dan di Pusarpedal 91-167 $\mu g/Nm^3$. Hasil Analisis TSP di Udara Ambien Menggunakan Alat *HVAS* disajikan pada Grafik 1.

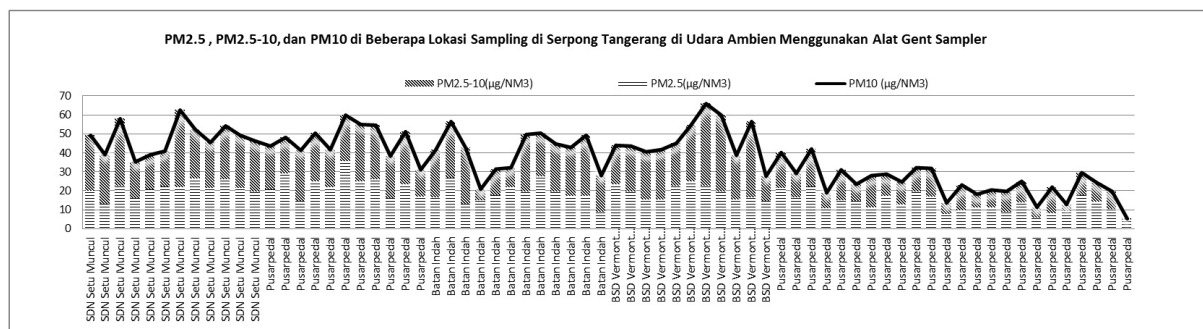
Kadar $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$, dan PM_{10} pada periode pengukuran 25 Agustus sampai 25 September 2008 di beberapa lokasi sampling di Serpong Tangerang di udara ambien menggunakan alat *Gent Sampler* disajikan pada Grafik 2, dan rerata $PM_{2.5}$ dan PM_{10} di setiap lokasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Rata-rata $PM_{2.5}$ dan PM_{10}

| Lokasi | Nilai rerata ($\mu g/m^3$) | |
|-------------|------------------------------|-----------|
| | $PM_{2.5}$ | PM_{10} |
| Setu | 21.01 | 47.73 |
| Pusarpedal | 20.24 | 39.88 |
| Batan Indah | 18.47 | 40.93 |
| BSD | 19.16 | 47.18 |



Grafik 1. Hasil Analisis TSP di Udara Ambien Menggunakan Alat *HVAS*



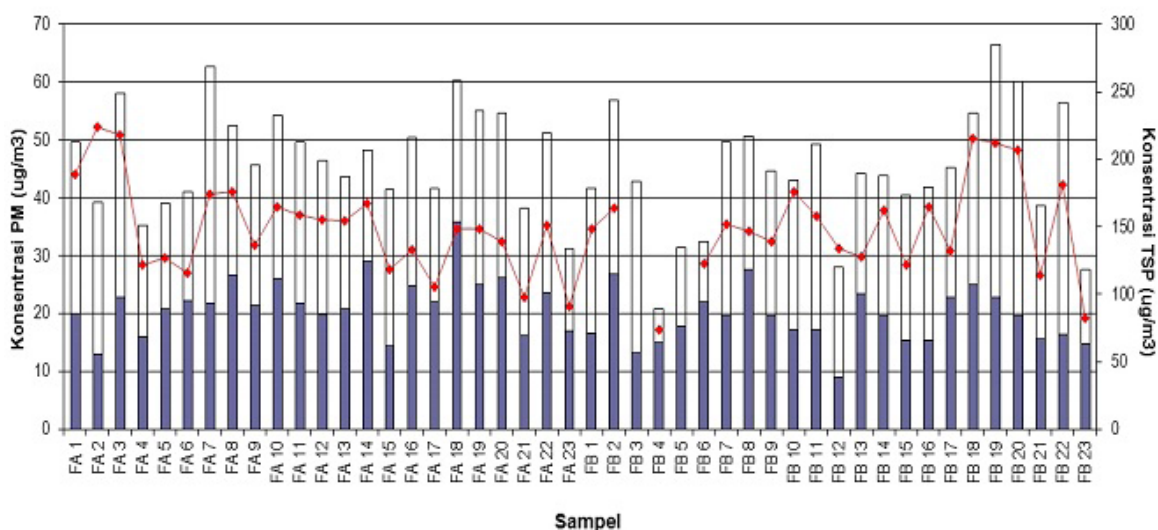
Grafik 2. Kadar $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$, dan PM_{10} Menggunakan Alat *Gent Sampler*

Jika dibandingkan hasil pengukuran TSP, $PM_{2,5}$, $PM_{2,5-10}$ menggunakan alat yang berbeda maka diperoleh kecenderungan pola yang sama antara $PM_{2,5}$, $PM_{2,5-10}$ dengan TSP, seperti yang disajikan pada Grafik 3. Grafik batang bagian bawah yang berwarna merupakan konsentrasi $PM_{2,5}$, grafik batang bagian atas yang tidak berwarna merupakan konsentrasi $PM_{2,5-10}$ dengan skala yang digunakan pada sisi kiri (skala kecil), dan puncak grafik batang merupakan konsentrasi PM_{10} untuk TSP ditunjukkan dengan grafik garis dengan penunjuk skala pada bagian kanan (skala besar).

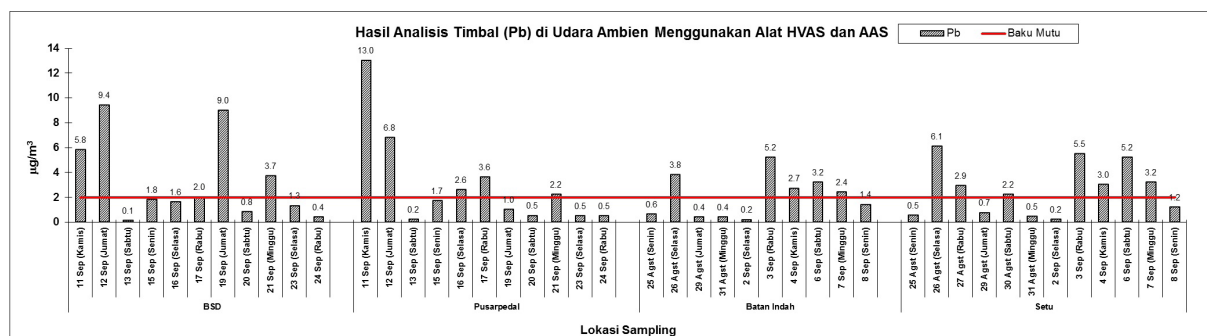
Hasil analisis Pb di beberapa lokasi telah melebihi baku mutu udara ambien menurut PP41/1999 yaitu $2\mu g/m^3$. Kisaran kadar Pb

di Setu $0.21-6.1\mu g/m^3$, Batan Indah $0.4-5.2\mu g/m^3$, BSD $0.1-9.4\mu g/m^3$, Pusarpedal $0.2-13\mu g/m^3$. Kadar timbal (Pb) di udara ambien menggunakan alat sampling *HVAS* dan analisis AAS disajikan pada Grafik 4.

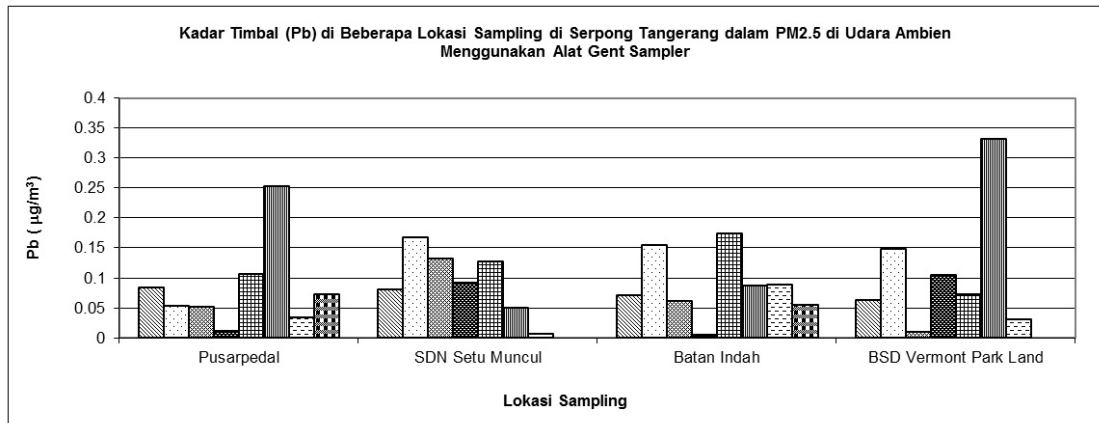
Rerata konsentrasi Pb pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ untuk lokasi Setu, Pusarpedal, Batan Indah dan BSD disajikan pada Grafik 4 dan Grafik 5, nilai rerata Pb disajikan pada Tabel 2. Secara umum diperoleh nilai konsentrasi Pb pada $PM_{2,5-10}$ lebih besar dibandingkan dengan kadar Pb yang terdapat di $PM_{2,5}$. Berdasarkan hasil yang diperoleh tersebut, dapat dinyatakan bahwa kontribusi konsentrasi Pb terbesar berasal dari partikulat udara yang berdiameter lebih besar.



Grafik 3. Perbandingan Kadar TSP, $PM_{2,5}$, dan $PM_{2,5-10}$ di Udara Ambien

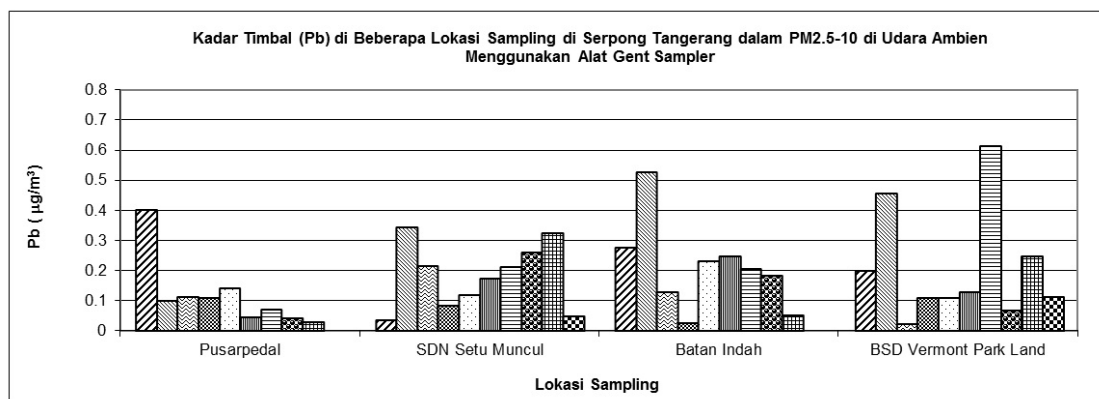


Grafik 4. Kadar Timbal (Pb) di Udara Ambien Menggunakan Alat *HVAS*



Keterangan: Perbedaan grafik batang menunjukkan perbedaan waktu sampling

Grafik 4. Kadar Timbal (Pb) di Beberapa Lokasi Sampling di Serpong Tangerang Pada PM_{2.5} di Udara Ambien Menggunakan Alat Gent Sampler



Keterangan: Perbedaan grafik batang menunjukkan perbedaan waktu sampling

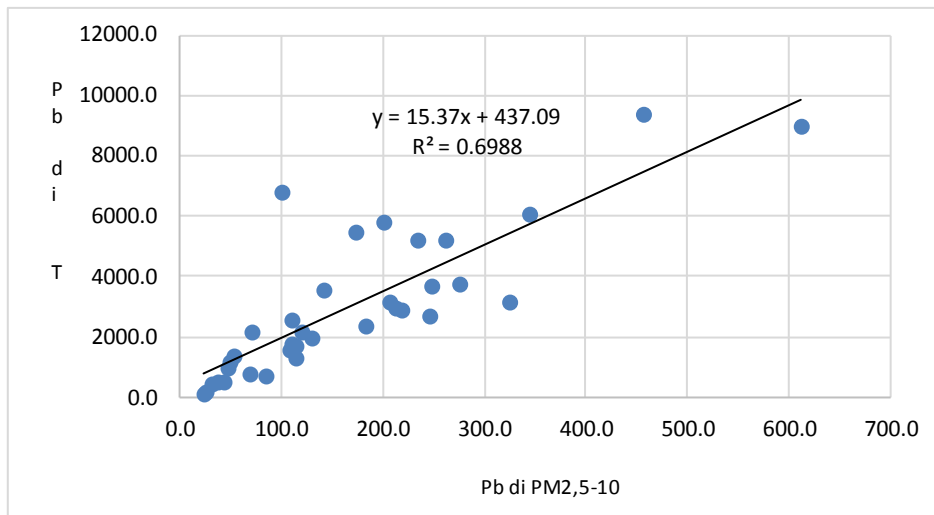
Grafik 5. Kadar Timbal (Pb) di Beberapa Lokasi Sampling di Serpong Tangerang Pada PM_{2.5-10} di Udara Ambien Menggunakan Alat *Gent Sampler*

Tabel 2. Nilai Rata-rata Timbal (Pb)

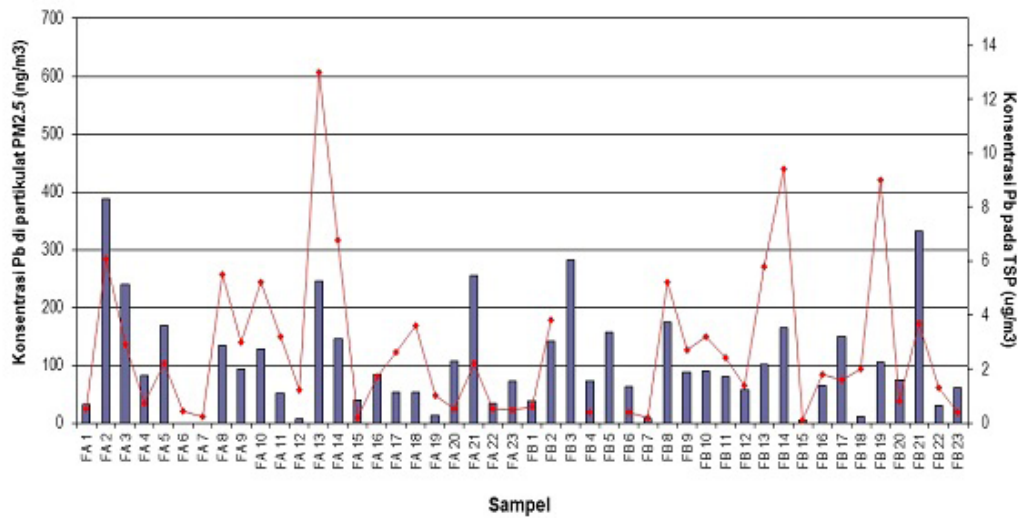
| Lokasi | Nilai rerata Pb (µg/m ³) | |
|-------------|--------------------------------------|----------------------|
| | PM _{2,5} | PM _{2,5-10} |
| Setu | 0.13 | 0.18 |
| Pusarpedal | 0.10 | 0.12 |
| Batan Indah | 0.10 | 0.21 |
| BSD | 0.10 | 0.21 |

Korelasi antara hasil konsentrasi Pb pada TSP yang disampling menggunakan HVAS

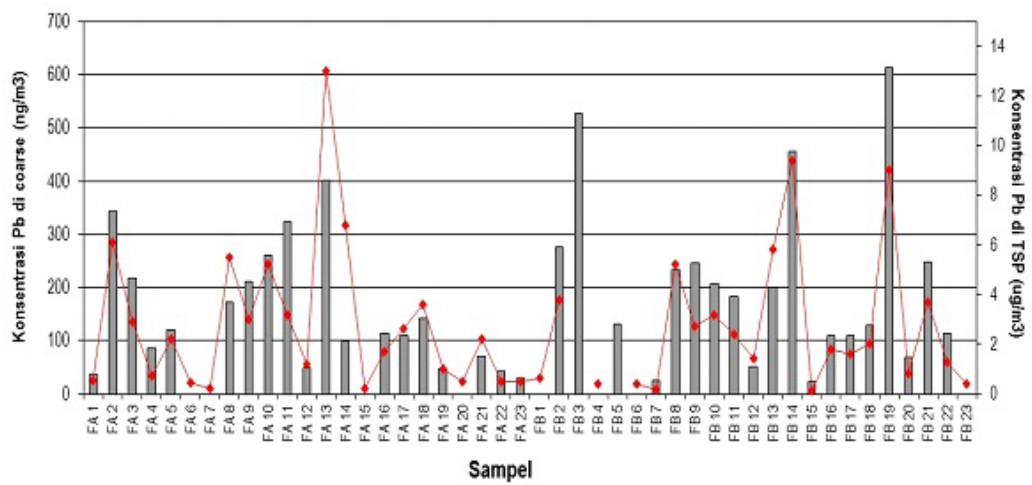
dengan Pb pada PM_{2,5-10} yang disampling menggunakan *Gent sampler* di udara ambien di empat lokasi yaitu Setu, Batan Indah, Pusarpedal dan BSD pada waktu yang bersamaan, diperoleh korelasi yang cukup baik dengan nilai korelasi R² mendekati 0,7. Adapun korelasi hasil konsentrasi Pb yang diperoleh dengan menggunakan alat HVAS (dalam TSP) dengan *Gent sampler* (PM_{2,5-10}) disajikan pada Grafik 6.



Grafik 6. Korelasi Pb di PM_{2,5}, PM_{2,5-10}, dan TSP



Grafik 7. Konsentrasi Pb di PM_{2,5} dan TSP



Grafik 8. Konsentrasi Pb di PM_{2,5-10} dan TSP

SIMPULAN

Hasil pengukuran TSP, $PM_{2,5}$, $PM_{2,5-10}$ menggunakan alat yang berbeda diperoleh kecenderungan pola yang sama. Demikian juga dengan konsentrasi Pb pada $PM_{2,5-10}$ (*Gent sampler*) dan konsentrasi Pb di TSP (*HVAS*) juga mempunyai kecenderungan yang sama. Perbandingan hasil analisis yang diperoleh menunjukkan konsentrasi Pb pada $PM_{2,5-10}$ memiliki korelasi yang cukup kuat terhadap konsentrasi Pb di TSP dengan nilai R^2 sekitar 0,7. Hasil yang diperoleh ini dapat digunakan sebagai data dasar bagi laboratorium yang melakukan pengambilan contoh uji udara ambien. Selain itu, informasi konsentrasi dari salah satu fraksi bisa digunakan untuk memprediksi konsentrasi di fraksi lainnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini terlaksana atas kerjasama Pusarpedal PSTNT - BATAN Bandung. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh personil bidang pemantauan serta Bidang Laboratorium Rujukan dan Pengujian khususnya laboratorium udara – Pusarpedal, dan kelompok Teknik Analisis Radiometri Batan yang terlibat dalam sampling dan analisis pada kajian logam berat ini, serta semua pihak yang membantu terlaksananya kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Peraturan Pemerintah RI No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Kementerian Lingkungan Hidup RI. Jakarta.
- (2) Muhayatun, Achmad Hidayat, Diah. Ambien Air Concentration of $PM_{2,5}$ and PM_{10} in Bandung and Lembang in 2000-2006. Indonesian Journal of Science and Nuclear Technology 2008; X(1): 53-9
- (3) SNI 19-7119.3-2005 tentang cara uji partikel tersuspensi total menggunakan peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan metoda gravimetri.
- (4) SNI 19-7119.4-2005 tentang Cara uji kadar timbal (Pb) dengan Metoda Dekstruksi Basah menggunakan Spektrofotometer serapan atom
- (5) Sampling and Analytical Methodologies for Instrumental Neutron Activation Analysis of Airborne Particulate Matter, Training Course Series No. 4, International Atomic Energy, Vienna (1992).
- (6) Atmospheric Environment Vol. 20, No. 5, pp. 845-850, 1986, "The Use Of Br/Pb Ratios in Atmospheric Particles to Discriminate Between Vehicular and Industrial lead aerosol sources in the Vicinity of a Lead Works-II., Ellesmere port, Cheshire, W.T. Sturges and Roy M. Harrison, Department of Environmental Sciences, University of Lancaster, Lancaster LA1 4YQ, England.
- (7) Cohen, D, Gras, J, Garton, D, Firestone, T, Johnson, G, Bailey G, Ayers, G, 1997, Study of Fine Atmospheric Particles and Gases in The Jakarta Region. Final Report for Bapedal and East Java Pollution Control Implementation Project. Jakarta.

**RESIDU INSEKTISIDA Klorpirifos DALAM TANAH DAN
PRODUK BAWANG MERAH *Allium ascalonicum* L,
DI SENTRA PRODUKSI BAWANG MERAH DI
KABUPATEN BANTUL, YOGYAKARTA**

***RESIDUE OF CHLORPYRIFOS INSECTICIDE IN SOIL AND SHALLOT
PRODUCTS *Allium ascalonicum* L,
IN SHALLOTS PRODUCTION CENTER OF
BANTUL DISTRICT, YOGYAKARTA***

E. Srihayu Harsanti¹, Edhi Martono², H.A. Sudibyakto² dan Eko Sugiharto²

(Diterima tanggal 15-11-2014; Disetujui tanggal 09-12-2014)

ABSTRAK

Klorpirifos merupakan salah satu insektisida organofosfat yang banyak digunakan petani sayuran, termasuk bawang merah. Penggunaan insektisida tersebut pada tanaman sayuran umumnya lebih intensif daripada tanaman pangan lainnya, sehingga dampak negatif terhadap lingkungan biotik dan abiotik menjadi lebih besar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan residu insektisida klorpirifos dalam tanah dan produk bawang merah di sentra produksi bawang merah Kabupaten Bantul. Kegiatan penelitian dilaksanakan di Desa Srigading, Kecamatan Sanden Kabupaataan Bantul Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta pada bulan Mei sampai dengan bulan November 2010. Penelitian dilaksanakan dengan cara pengambilan contoh uji tanah, air dan produk tanaman bawang merah secara komposit di lahan intensif bawang merah. Pengambilan contoh uji juga dilakukan terhadap tanaman non bawang, yaitu padi sawah sebagai pembanding. Residu insektisida klorpirifos dalam contoh dianalisis menggunakan alat kromatografi gas dengan detektor ECD sesuai dengan metode standar. Residu klorpirifos dalam produk dari pertanaman bawang merah intensif mendekati kadar batas maksimum residu yang ditetapkan berdasarkan Keputusan Bersama Menteri Kesehatan dan Menteri Pertanian: Batas Maksimum Residu (BMR) Pestisida Pada Hasil Pertanian. Ditjen Tanaman Pangan dan Hortikultura, Direktorat Bina Perlindungan Tanaman. Daerah yang kadar residunya melebihi BMR terdapat di Srabahan dengan kadar residu 0,0573 ppm (kadar Baku Mutu Residu 0,05 ppm). Residu klorpirifos dalam produk bawang merah nyata berkorelasi positif dengan residu klorpirifos dalam tanah, tetapi tidak berkorelasi dengan residu klorpirifos dalam air.

Kata kunci : residu klorpirifos, tanah, produk, bawang merah, bantul

ABSTRACT

Chlorpyrifos is one of organophosphate insecticides mostly used by farmers, including shallot farmers. Insecticides used in vegetable farming system generally are more intensive than other food crops farming system, so that their negative impact on biotic and abiotic environment is more significant. The study was conducted in shallot production center of Bantul District, namely in Srigading Village of Sanden Subdistrict during May – November 2010. The objective was to identify residue of chlorpyrifos insecticide in soil and shallot product in shallot production center. The study was carried out using survey method by taking samples of soil, water, and shallot products compositely in both intensive and non intensive of shallot culture. Residue of chlorpyrifos insecticide in samples was analyzed using gas chromatography with ECD detector. Residue of chlorpyrifos in shallot products from intensive shallot culture was more severe and its concentration almost reaches the maximum concentration of residue limit (RML). The highest residue concentration was found in Srabahan with residue concentration of 0.0573 ppm which was higher than RML of 0.05 ppm. Chlorpyrifos residue in shallot product correlated positively and significantly with chlorpyrifos residue in soil but did not correlate significantly with chlorpyrifos residue in ponded water.

Keywords : chlorpyrifos residue, soil, product, shallot, bantul

¹ Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jl. Jakenan-Jaken Km 5 Jakenan Pati 59182, Jawa Tengah, e-mail : eharsanti@yahoo.com

² Universitas Gadjah Mada, Kampus Bulaksumur Yogyakarta

PENDAHULUAN

Bawang merah merupakan salah satu komoditas hortikultura yang pengembangannya ditujukan untuk mencukupi kebutuhan akan jenis hortikultura ini disamping aman untuk dikonsumsi dan berdaya saing tinggi. Daerah Istimewa Yogyakarta sebagai salah satu produsen bawang merah di Indonesia memberikan kontribusi sekitar 2,55% dari produksi bawang merah secara nasional dengan tingkat pertumbuhan produksi sebesar 120,63% [1].

Petani sayuran umumnya menggunakan insektisida dalam mengendalikan hama, misalnya petani sayuran di Badung Denpasar yang menggunakan 60-65% insektisida klorpirifos[2]. Di sentra sayuran Daerah Istimewa Yogyakarta, insektisida berbahan aktif klorpirifos juga banyak digunakan secara intensif terutama dalam usaha tani bawang merah. Pestisida (insektisida, fungisida, dan herbisida) diberikan petani sejak persiapan tanam, dan selanjutnya secara rutin setiap 1-4 hari sekali sejak umur 10-15 hari setelah tanam dengan melihat kondisi serangan hama dan penyakit tanaman.

Berdasarkan beberapa penelitian, penggunaan bahan agrokimia cenderung telah berlebihan di sentra produksi sayuran, dan ada indikasi bahwa di beberapa lokasi sentra produksi pertanian kandungan residu pestisida dalam sayuran telah melebihi batas maksimum residu (BMR) [3]. Sayuran kubis dan kacang panjang di pasar Badung Denpasar mengandung residu klorpirifos sebesar 0,525 ppm sedangkan kadar BMR sayuran adalah 0,5 ppm [2]. Selain berdampak pada kesehatan, penggunaan pestisida dengan dosis dan frekuensi tinggi

akan berpengaruh terhadap meningkatnya alokasi biaya pengendalian hama dalam usahatani bawang merah sehingga akan berpengaruh terhadap pendapatan usahatani bawang merah.

Pemakaian pestisida yang intensif dalam kurun waktu lama dapat mempengaruhi kondisi lingkungan fisik di ekosistem pertanian bawang merah sehingga dapat mempengaruhi kualitas produk. Negara di Asia yang banyak menggunakan pestisida adalah Cina, India dan Indonesia [3]. Untuk wilayah Indonesia, pengguna pestisida terbesar adalah petani bawang merah di Kabupaten Brebes Jawa Tengah dan lebih dari 30% petani bawang merah di Kabupaten Brebes Jawa Tengah telah tercemar pestisida akibat pemakaian pestisida yang tidak tepat [4]. Kandungan klorpirifos (golongan organofosfat) dalam tanah di sentra bawang merah Brebes juga telah melampaui batas maksimum residu terutama di Kecamatan Banjarharjo dan Kecamatan Larangan dengan konsentrasi masing-masing 0,15 ppm dan 0,44 ppm (BMR = 0,10 ppm) [5].

Peningkatan penggunaan insektisida sebagai pengendali hama tanaman pertanian akan mempengaruhi kualitas tanah, air dan kualitas tanaman. Penelitian dilakukan bertujuan untuk mengetahui residu insektisida klorpirifos dalam tanah dan dalam produk bawang merah di sentra produksi bawang merah. Identifikasi kandungan residu insektisida dalam tanah dan produk dilakukan sebagai informasi awal untukantisipasi pengelolaan produk di sentra produksi bawang merah serta mengetahui korelasi antara kandungan residu insektisida dalam tanah, air dan bawang merah.

METODOLOGI

Lokasi dan Waktu

Pengambilan contoh uji dilakukan di kawasan sentra pertanaman bawang merah di Kecamatan Sanden, Kabupaten Bantul, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta pada bulan Mei 2010 – November 2010. Lokasi pengambilan contoh uji merupakan hamparan tanaman bawang merah intensif yang menerapkan pola tanam padi-bawang merah-cabe-bawang merah (tanam bawang merah 2 kali per tahun). Penelitian juga dilakukan pada areal tanah sawah (non lahan bawang merah) dengan pertimbangan keseragaman jenis tanah dan budidayanya.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain : bahan standar insektisida klorpirifos, peta RBI Kec. Sanden skala 1: 25.000, bahan-bahan kimia (air aquades, n heksana, aseton, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, asetonitril, natrium sulfat anhidrat, florisil, dan sebagainya).

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain : neraca kasar, neraca analitik, ayakan, oven, GPS, alat gelas kimia (gelas piala, pipet, tabung reaksi, dan sebagainya), peralatan laboratorium (mesin penggojog, *soxhlet*, *rotary evaporator*, kromatografi gas, pH meter, UV spektrofotometer, AAS, *flamefotometer*, dan sebagainya), alat-alat tulis, dan alat bantu lainnya.

Pelaksanaan Penelitian

Sebagai salah satu sentra produksi bawang merah di Kabupaten Bantul, Desa Srigading, Kec. Sanden ditetapkan sebagai lokasi penelitian berdasarkan kajian penelitian sebelumnya dan hasil survei pendahuluan melalui wawancara dengan petani, petugas lapangan pertanian, penjual pestisida. Lokasi

yang diambil contoh tanah, air, dan tanaman atau produk bawang merah terdiri atas lahan bawang merah intensif meliputi Srabahan, Cetan, Sangkeh, Sogesanden, Ngemplak dan lahan non bawang merah intensif atau lahan padi sawah sebagai kontrol yaitu di Malangan.

Pengambilan contoh dilakukan dengan sistem *grid*, dimana setiap contoh tanah, air dan tanaman mewakili luasan lahan $\pm 6,25$ ha. Jumlah pengambilan contoh tanah dan tanaman didasarkan atas luasan hamparan pertanaman bawang merah. Contoh tanah diambil secara komposit pada kedalaman 0-20 cm. Satu contoh tanah komposit terdiri atas 10 anak contoh yang diambil pada radius 50-100 m. Contoh tanah komposit sebanyak 0,5 kg dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label. Contoh tanah tersebut dikeringanginkan, dihaluskan dan diayak dengan saringan 2 mm. Contoh tanah dianalisis di Laboratorium Terpadu Balai Penelitian Lingkungan Pertanian meliputi residu klorpirifos, tekstur (metode pipet), pH tanah (metode ekstraksi), KTK (metode kolorimeter), kation dapat ditukar Ca, Mg, K, Na (metode ekstraksi NH_4OAc 1N pH 7), dan C-organik (metode *Walkey-Black*).

Analisis residu klorpirifos dalam contoh tanah dilakukan dengan metode yang ditetapkan oleh Ditjen Tanaman Pangan dan Komisi Pestisida. Eluat atau larutan yang diperoleh dari ekstraksi contoh tanah ditetapkan kandungan residu organofosfat dengan alat GC yang dilengkapi detektor ECD (*Electron Capture Detector*).

Contoh bawang merah dari lapangan dibersihkan, dicuci, dan dikering anginkan terlebih dahulu. Sebanyak 25 g contoh bawang merah diiris halus dan siap diekstrak dengan menggunakan metode atau prosedur analisis dari Ditjen Tanaman Pangan [6].

Residu klorpirifos dalam contoh tanah, air, dan tanaman/produk bawang merah ditetapkan dengan menggunakan alat *Gas Chromatography* (GC) Shimadzu/GC-2014, dengan detektor ECD, kolom GC RTX 1. Sebelum analisis, suhu diatur meliputi suhu kolom 200°C-220°C, suhu injektor dan suhu detektor 250°C, serta laju alir gas N₂ diatur sebesar 90 kPa. Kandungan residu yang terdapat di dalam contoh tanah, air dan tanaman/produk dihitung berdasarkan rumus :

$$\text{Residu} = \frac{Ac \times Vis \times Ks \times Vfc}{As \times Vic \times B \times R}$$

Keterangan:

- Ac = area contoh
- As = area standar
- Vic = volume injeksi contoh (μL)
- Vis = volume injeksi standar (μL)
- Ks = Konsentrasi standar (ppm)
- B = Bobot awal/volume awal (mg atau ml)
- R = *recovery* (%)

Recovery dihitung menggunakan formula dari Komisi Pestisida [6] sebagai berikut :

$$R = \frac{W_1 C_1 - W_0 C_0}{G} \times 100\%$$

Keterangan :

- R = *Recovery* (%)
- W₀ = berat contoh biasa yang digunakan (g)
- W₁ = berat contoh diperkaya yang digunakan (g)
- C₀ = pestisida dalam contoh biasa (μg/g)
- C₁ = pestisida dalam contoh diperkaya (μg/g)
- G = pestisida yang ditambahkan (μg/g)

Analisis Data

Data yang terkumpul dianalisis secara statistik untuk menguji hipotesis menggunakan uji t dengan tingkat signifikan 5%. Hubungan antara kadar residu klorpirifos dalam produk bawang merah dengan kadar residu klorpirifos dalam tanah dianalisis dengan uji korelasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah *Inceptisol* Srigading

Jenis tanah di Desa Srigading adalah *Inceptisol* dengan warna tanah kelabu hingga kecoklatan. Sifat fisik dan kimia tanah *Inceptisol* di Srigading disajikan dalam Tabel 1, yaitu tanah bertekstur lempung (*loam*) dengan kandungan pasir, debu, liat masing-masing berkisar 23-50%, 31-51%, dan 19-26%, kemasaman tanah mendekati netral (pH 6,29 – 7,09), kapasitas tukar kation tinggi (KTK > 25 cmol/kg), kation-kation dapat ditukar (K, Na, Mg, Ca) termasuk kategori tinggi, dan kandungan C-organik sangat rendah (C-org < 1 %). Contoh tanah dari Malangan (non bawang merah) mempunyai kandungan C-organik dan nilai pH-H₂O relatif lebih tinggi daripada contoh tanah dari lahan bawang merah intensif, yaitu kadar C-organik 1,07 % dan pH 7,09.

Residu Klorpirifos dalam Tanah

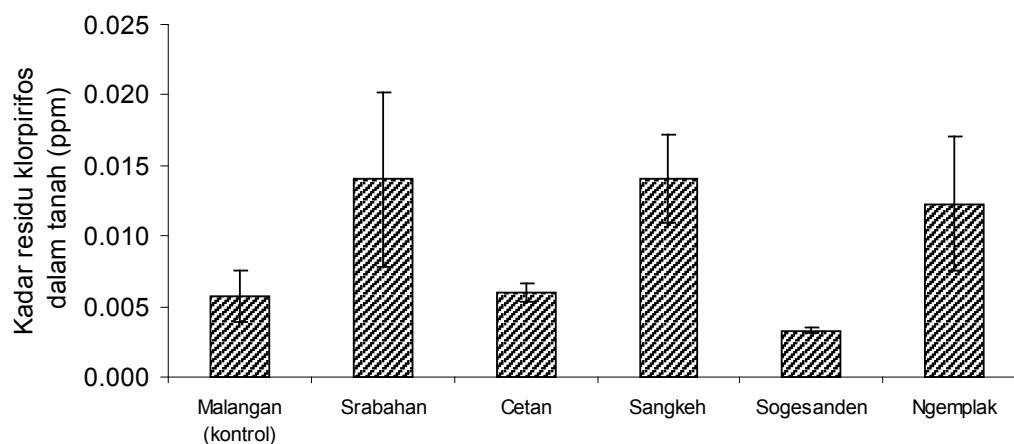
Observasi awal menunjukkan dalam tanah ditemukan residu pestisida klorpirifos metil dengan konsentrasi 0,0022 ppm saat tanaman berumur 10-20 hari (aplikasi pestisida sekitar 1-2 kali), dan residu pestisida klorpirifos metil dengan konsentrasi 0,0014 ppm ditemukan dalam air sumur penduduk dekat hamparan. Berdasarkan hasil uji kolinesterase oleh Dinas Kesehatan Kabupaten Bantul (2007), terdapat 13 petani dari 3 dusun di Desa Srigading, Kec. Sanden, Kab. Bantul mengalami penghambatan aktivitas kolinesterase 50% (kriteria keracunan sedang).

Hasil uji statistika uji t dengan tingkat signifikansi 5% menunjukkan bahwa residu insektisida klorpirifos dalam tanah dari lahan non bawang tidak berbeda nyata dengan

Tabel 1. Hasil analisis fisika dan kimia tanah pada pertanaman bawang merah dan padi Desa Srigading, Kec. Sanden, Kab. Bantul

| Lokasi | Tekstur (%) | | | C-organik (%) | pH | KTK | K-dd | Na-dd | Mg-dd | Ca-dd |
|--------------|-------------|------|------|---------------|------|-------------------|------|-------|-------|-------|
| | Pasir | Debu | Liat | | |cmol/kg..... | | | | |
| Non Bawang : | | | | | | | | | | |
| Malangan | 40 | 37 | 23 | 1,07 | 7,09 | 31,96 | 1,53 | 1,55 | 5,88 | 12,42 |
| Bawang : | | | | | | | | | | |
| Srabahan | 29 | 50 | 21 | 0,26 | 6,89 | 37,20 | 2,04 | 1,72 | 5,95 | 12,98 |
| Cetan | 31 | 45 | 24 | 0,15 | 6,29 | 30,84 | 1,55 | 1,72 | 5,88 | 11,92 |
| Sangkeh | 29 | 46 | 25 | 0,19 | 6,86 | 31,43 | 1,32 | 1,34 | 5,90 | 12,23 |
| Sogesanden | 23 | 51 | 26 | 0,94 | 6,40 | 29,10 | 1,15 | 2,16 | 5,93 | 12,32 |
| Ngemplak | 50 | 31 | 19 | 0,16 | 6,65 | 34,99 | 1,23 | 1,26 | 5,86 | 11,44 |

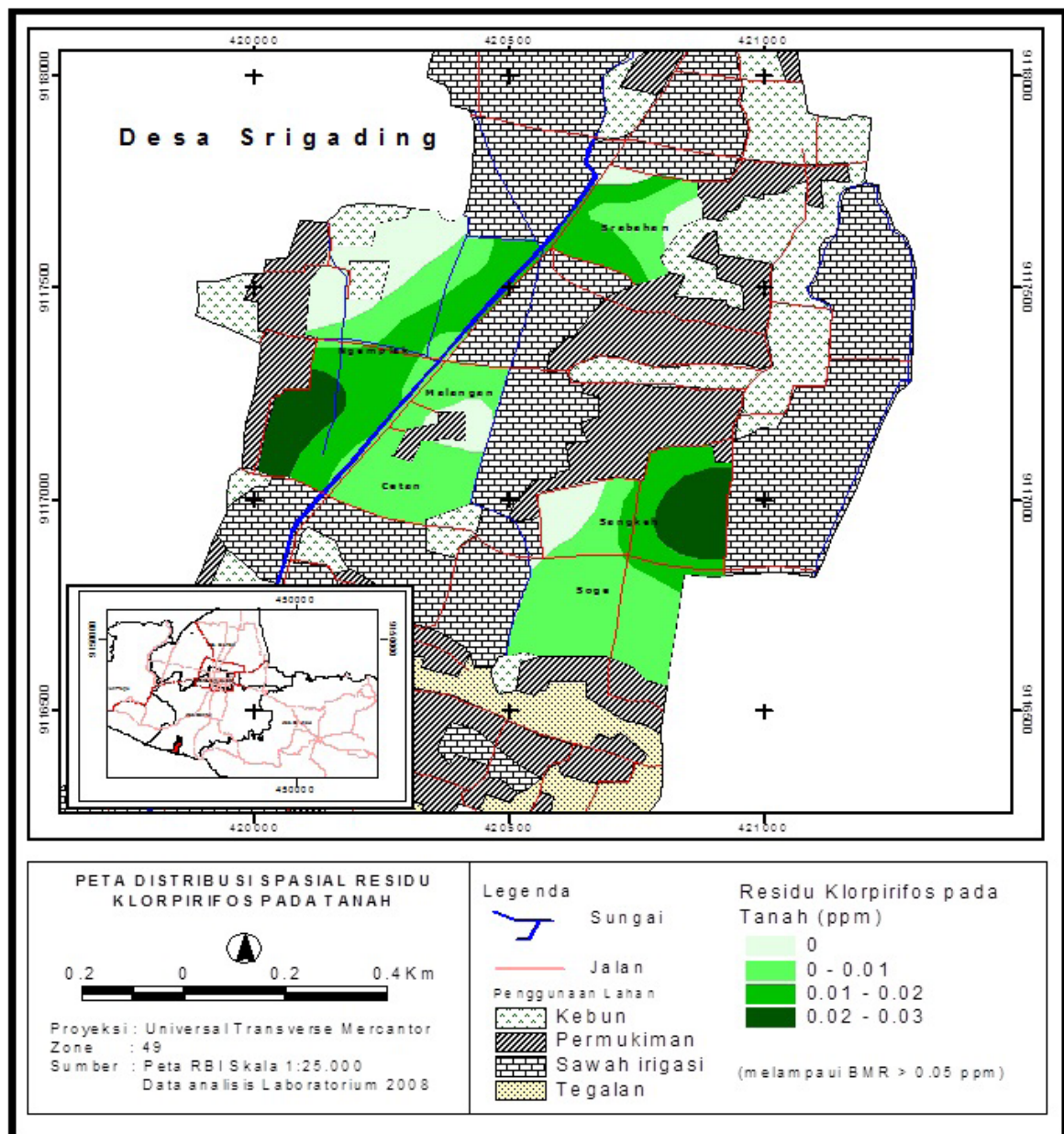
Keterangan: dd – dapat ditukar, KTK – kapasitas tukar kation

**Gambar 1.** Residu organofosfat dalam tanah pada pertanaman bawang merah dan non bawang merah di Desa Srigading, Kec. Sanden, Kab. Bantul

dari lahan bawang merah intensif. Residu klorpirifos (golongan organofosfat) ditemukan dalam tanah dengan kadar residu lebih rendah daripada kadar batas maksimum residu (BMR = 0,1 ppm). Gambar 1 memperlihatkan bahwa residu klorpirifos dalam tanah dari lahan bawang merah intensif relatif lebih tinggi daripada dari lahan non bawang (padi sawah), kecuali di Sogesanden. Meskipun Sogesanden termasuk lokasi yang intensif menggunakan insektisida seperti lokasi lainnya, namun penggunaan insektisida berbahan aktif klorpirifos lebih rendah dan umumnya petani bawang merah di Sogesanden menggunakan

formulasi insektisida lainnya seperti profenofos dan sihalotrin. Dibandingkan di Malangan, residu klorpirifos di lahan intensif bawang merah lebih tinggi dengan kisaran 0,0003-0,0084 ppm. Di Sogesanden, rendahnya kadar residu klorpirifos dibandingkan di Malangan dimungkinkan penggunaan insektisida berbahan aktif klorpirifos di lahan padi sawah lebih tinggi, sehingga insektisida terakumulasi dalam tanah.

Insektisida organofosfat seperti klorpirifos relatif lebih lambat terdegradasi dibandingkan insektisida golongan karbamat. Akumulasi insektisida dalam tanah dipengaruhi oleh jenis



Gambar 2. Sebaran spasial residu klorpirifos dalam tanah di sentra produksi bawang merah di Desa Srigading, Kec. Sanden, Kab. Bantul

dan sifat tanah, tipe liat, dan kandungan bahan organik tanah [3]. Perilaku klorpirifos dalam tanah diduga dipengaruhi oleh pH tanah, dimana tanah dengan nilai pH tinggi (7,9-8,1) diduga menyebabkan rendahnya persistensi klorpirifos dalam tanah [7]. Mekanisme dan kinetika serapan insektisida dalam tanah tergantung ditentukan oleh kandungan liat dan karakteristik tanah [3]. Kandungan liat

tanah *Inceptisol* Srigading yang berkisar 19-26% berpotensi menyerap pestisida tinggi. Beberapa pestisida mengandung gugus fungsional bermuatan yang mempertinggi peluang terjerap pada tanah, dimana pestisida bermuatan positif terjerap pada permukaan lempung bermuatan negatif dan bahan organik tanah [8].

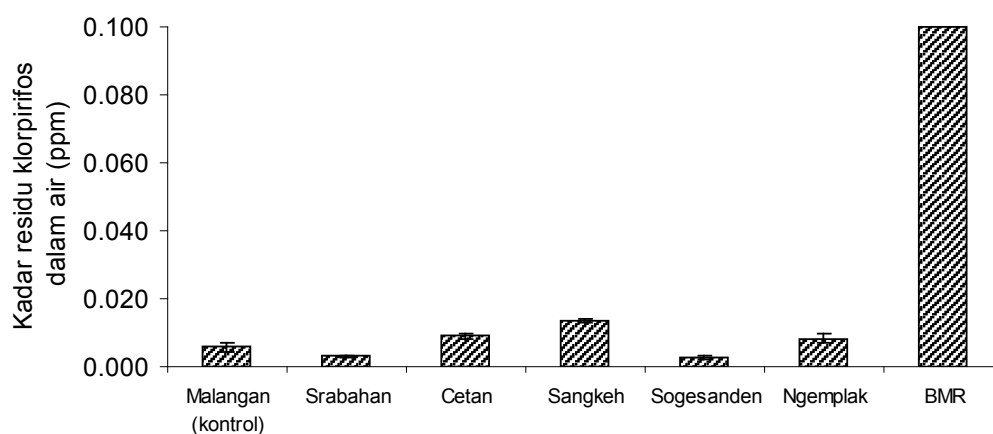
Bahan organik tanah merupakan komponen tanah terpenting dalam mengikat pestisida [8]. Namun rendahnya kandungan bahan organik tanah *Inceptisol* di Srigading (C organik $< 1\%$) memungkinkan pestisida hanya terikat oleh mineral liat, sedangkan pestisida yang terikat bahan organik relatif rendah. Kondisi ini mengakibatkan akumulasi pestisida dalam tanah menjadi tinggi. Tingginya kandungan bahan organik dapat menurunkan pengaruh penggunaan pestisida yang berlebihan, mencegah kontaminasi lingkungan, dan meningkatkan degradasi pestisida tertentu baik secara biologis maupun non biologis [8].

Dari titik-titik pengambilan contoh tanah selama penelitian berlangsung dan topografi Desa Srigading, maka sebaran residu klorpirifos dalam tanah dapat dipetakan seperti terlihat pada Gambar 2. Kadar residu klorpirifos dalam tanah akan berubah tergantung pada frekuensi dan dosis pemberian insektisida yang berbahan aktif klorpirifos dan perilaku petani di sentra produksi bawang merah tersebut. Pemantauan dan evaluasi residu insektisida khususnya klorpirifos sangat

disarankan terutama dengan makin tingginya tuntutan konsumen terhadap produk pertanian yang bebas cemaran bahan agrokimia dan aman dikonsumsi [3].

Residu Klorpirifos dalam Air

Residu klorpirifos dalam air sawah relatif lebih rendah dibandingkan residu klorpirifos dalam tanah dan residu pestisida dalam produk bawang merah. Kadar residu klorpirifos dalam air dari lahan non bawang lebih tinggi daripada dari Srabahan dan Sogesanden, sedangkan residu klorpirifos di Sangkeh, Cetan, dan Ngemplak relatif lebih tinggi dibandingkan dari Malangan (Gambar 3). Residu klorpirifos dalam air umumnya lebih rendah daripada kadar BMR (0,1 ppm). Berdasarkan uji hipotesis (uji t), residu insektisida klorpirifos dalam air tidak berbeda nyata antara pertanaman non bawang dengan pertanaman bawang intensif. Kondisi ini diduga karena sifat air yang dinamis memungkinkan dapat bergerak secara vertikal maupun horisontal tergantung pada kondisi alam sehingga berpotensi menimbulkan kontaminasi pestisida pada hamparan lainnya.



Gambar 3. Residu klorpirifos dalam air pada pertanaman bawang merah dan non bawang merah di Desa Srigading, Kec. Sanden, Kab. Bantul (BMR dari SKB Menkes & Mentan Tahun 1997)

Residu Klorpirifos dalam Produk Bawang Merah

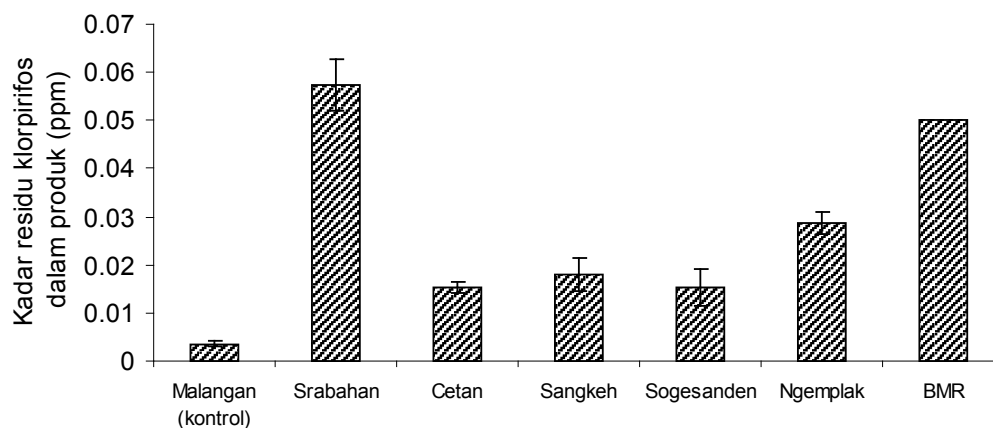
Gambar 4 memperlihatkan bahwa residu insektisida klorpirifos dalam produk bawang merah cenderung lebih tinggi dari lahan intensif bawang merah dibandingkan dengan residu klorpirifos dalam produk dari lahan non bawang (padi sawah). Kadar residu klorpirifos dalam produk dari Malangan (lahan non bawang) adalah 0,0036 ppm, sedangkan kadar residu klorpirifos dalam produk dari lahan intensif bawang merah berkisar 0,0153-0,0573 ppm dimana produk bawang merah di Srabahan ditemukan telah melebihi BMR (0,05 ppm) yang ditetapkan SKB Menkes & Mentan tahun 1997 [9].

Penggunaan insektisida organofosfat di sentra produksi bawang merah umumnya tinggi dan diberikan secara terus menerus, sehingga akan terakumulasi dalam tanah [6]. Ikatan lemah senyawa insektisida oleh partikel tanah akan menyebabkan senyawa insektisida lebih mudah diserap oleh tanaman seperti bawang merah. Tingginya residu klorpirifos dalam tanah dapat terjadi karena tingginya penggunaan insektisida dan dari limpasan

daerah lain. Hasil penelitian Balingtan di beberapa kecamatan sentra bawang merah di Brebes ditemukan bahwa kadar rata-rata residu klorpirifos dalam produk bawang merah adalah 0,0889 ppm yang berarti kadar tersebut telah melebihi kadar BMR 0,05 ppm [5].

Hubungan Residu Klorpirifos dalam Produk dan Tanah

Berdasarkan uji regresi dan korelasi, residu klorpirifos dalam produk bawang merah nyata berkorelasi positif dengan residu klorpirifos dalam tanah ($p < 0,05$), sedangkan korelasinya dengan residu klorpirifos dalam air ataupun dalam tanah+air tidak nyata, yang peluangnya (p) masing-masing sebesar 0,233 dan 0,372. Korelasi nyata residu klorpirifos dalam produk dengan residu klorpirifos dalam tanah ditunjukkan dengan persamaan garis klorpirifos_{produk} = 0,00686 + 1,75 klorpirifos_{tanah} ($r = 0,533^*$, $n = 18$). Peningkatan kandungan klorpirifos dalam produk bawang merah ditentukan oleh tingginya akumulasi insektisida klorpirifos dalam tanah. Penggunaan insektisida secara terus menerus terutama yang berbahan aktif klorpirifos dalam areal pertanaman akan



Gambar 4. Residu klorpirifos dalam produk bawang merah dan non bawang merah di Desa Srigading, Kec. Sanden, Kab. Bantul (BMR dari SKB Menkes & Mentan Tahun 1997)

meningkatkan akumulasi insektisida tersebut dalam tanah, terutama yang mengandung liat dan bahan organik tinggi [3].

Serapan atau translokasi insektisida oleh tanaman dipengaruhi oleh sifat karakteristik insektisida dan nilai koefisien jerapan. Klorpirifos mempunyai kelarutan dalam air sebesar 2 mg/L dan nilai koefisien jerapan sebesar 6070 yang lebih besar daripada profenofos (2011), sehingga klorpirifos dalam tanah lebih persisten dibandingkan profenofos. Persistensi klorpirifos yaitu sekitar 60-120 hari, sedangkan profenofos sekitar 2 hari pada kondisi aerob [10]. Reaktivitas golongan organofosfat (sangat lemah-tinggi) terhadap tanah beragam sehingga berpengaruh terhadap akumulasinya dalam tanah [3]. Pestisida cenderung diserap tanah dalam kondisi lemah akan segera diserap oleh tanaman, sehingga kandungan pestisida dalam produk tanaman akan lebih tinggi.

SIMPULAN

Residu klorpirifos dalam produk dari pertanaman bawang merah intensif cukup mengkhawatirkan karena kadarnya mendekati kadar batas maksimum residu, terutama produk dari Srabahan yang terbukti mengandung klorpirifos melebihi kadar BMR.

Residu klorpirifos dalam produk bawang merah terbukti secara nyata berkorelasi positif dengan residu klorpirifos dalam tanah, tetapi tidak berkorelasi dengan residu klorpirifos dalam air.

Kajian lebih lanjut tentang dampak penggunaan pestisida yang bersifat mudah larut dan persistensi tinggi pada pertanaman bawang

merah pertama (musim hujan) di Desa Srigading, Kec. Sanden, Kab. Bantul perlu dilakukan karena kadarnya telah melebihi BMR.

Sebaran dan kadar residu klorpirifos dalam tanah berubah-ubah tergantung banyak faktor, diantaranya adalah perilaku petani sayuran bawang merah dalam menggunakan insektisida berbahan aktif klorpirifos, sehingga perlu dilakukan pemantauan dan evaluasi serta edukasi oleh institusi terkait secara berkala kepada para petani.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan yang tulus disertai ucapan terima kasih disampaikan kepada teknisi dan analis di Laboratorium Terpadu Balai Penelitian Lingkungan Pertanian yang telah membantu kelancaran analisis residu klorpirifos dan analisis fisik dan kimia tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Deptan. 2002. International Standards for Phytosanitary Measures. Proyek Pengendalian Hama Terpadu Perkebunan Rakyat. Komponen Karantina Tumbuhan. Badan Karantina Tumbuhan. Deptan. Jakarta. pp 166-290.
- (2) Sudewa, K.A., D.N. Suprpta, dan M.S. Mahendra. 2009. Residu pestisida pada sayuran kubis (*Brassica oleracea* L.) dan kacang panjang (*Vigna sinensis* L.) yang dipasarkan di Pasar Badung Denpasar. *Ecotropica* Vol. 4. No. 2. November 2009.
- (3) Soejitno, J. 2006. Pesticides residues on food crops and vegetables in Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian* 21(4): 124-132.

- (4) Suara Merdeka. 2002. 30 persen petani tercemar pestisida. Suara Merdeka edisi Sabtu, 8 Juni 2002. hal. XXV.
- (5) Jatmiko, S.Y., E.S. Harsanti, dan Y.A. Bety. 2005. Identifikasi Kadar Residu klorpirifos dalam Tanah: Hubungannya dengan serapan kalium di sentra tanaman bawang merah *Allium ascalonicum*, L. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pengelolaan Sumberdaya Lahan Rawa dan Pengendalian Pencemaran Lingkungan*. Puslitbangtanak. Bogor. pp 487-500.
- (6) Harsanti, E.S., S.Y. Jatmiko, A.N. Ardiwinata, dan J. Soejitno. 2003. Residu insektisida pada kedelai dan tanah sawah Vertisol Bojonegoro. *Penelitian Petanian Tanaman Pangan* 22(1): 6-13.
- (7) Yucel, U., M. Ylim, K. Gozek, C.S. Helling, and Y. Sarykaya. 1999. Chlorpyrifos degradation in Turkish soil. *Journal of Environmental Science and Health* 34(1): 75-95.
- (8) Rajagopal, B.S., Brahmaprakash, B.R. Reddy, U.D. Singh, and N. Sethunathan. 1984. Effect and presistence of selected carbamate pesticides in soil. *Residue Review* 93: 75-120.
- (9) Anonim, 1997. Keputusan Bersama Menteri Kesehatan dan Menteri Pertanian: Batas Maksimum Residu (BMR) Pestisida Pada Hasil Pertanian. Ditjen Tanaman Pangan dan Hortikultura. Direktorat Bina Perlindungan Tanaman. Jakarta. 117 p.
- (10) Ardiwinata, A.N., S.Y. Jatmiko, dan E.S. Harsanti. 2007. Pencemaran bahan agrokimia di lahan pertanian dan teknologi penanggulangannya. pp. 88-129 *dalam* Fagi, A.M., E. Pasandaran, U. Kurnia (eds.). *Pengelolaan Lingkungan Pertanian Menuju Mekanisme Pembangunan Bersih*. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. Pati, Jawa Tengah.

PENENTUAN BATAS LINEARITAS METODE PENGUJIAN AIR RAKSA DALAM AIR SECARA SPEKTROFOTOMETRI SERAPAN ATOM UAP DINGIN SESUAI SNI 6989.78 : 2011

LIMIT OF LINEARITY DETERMINATION FOR TESTING METHOD OF MERCURY IN WATER BY COLD VAPOR ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY ACCORDING TO SNI 6989.78: 2011

Anwar Hadi¹ dan Asiah¹

(Diterima tanggal 15-09-2014; Disetujui tanggal 09-12-2014)

ABSTRAK

Rentang kerja optimal instrumen kimia untuk mengukur kadar analit yang terkandung dalam suatu contoh uji berada diantara *level of quantitation* (LoQ) dan *level of linearity* (LoL). Umumnya, laboratorium lebih mengutamakan penetapan LoQ daripada LoL karena pelaporan hasil pengujian mensyaratkan batasan LoQ yang mampu dicapai oleh laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan LoL metode pengujian air raksa (*Mercury*, Hg) dalam air dan air limbah secara spektrofotometri serapan atom sesuai SNI 6989.78: 2011 dengan kisaran kadar 1 µg Hg/L sampai dengan 20 µg Hg/L. Secara prinsip, Hg²⁺ direduksi oleh Sn²⁺ menjadi Hg⁰ dan selanjutnya atom tersebut dianalisis secara kuantitatif dengan SSA - uap dingin pada panjang gelombang 253,7 nm. Penentuan LoL dilakukan dengan membuat kurva kalibrasi dari larutan standar kerja sebagai uji linearitas kurva dan dilanjutkan dengan mengukur larutan kerja 1 µg Hg/L dan 20 µg Hg/L sebanyak 10 kali untuk mendapatkan nilai simpangan bakunya. Data tersebut kemudian dianalisis secara statistik menggunakan *analysis of varian (anova)*. Uji linearitas kurva kalibrasi pada penelitian ini menghasilkan nilai *multiple R* = 0,999. Pada tingkat kepercayaan 99%, diperoleh $F_{\text{tabel}} = F_{(0,01; 9; 9)} = 5,351$ sehingga $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$, maka dapat disimpulkan bahwa 1 µg Hg/L – 20 µg Hg/L merupakan regresi linear dan 20 µg Hg/L merupakan *level of linearity* (LoL) dari pengukuran Hg menggunakan SSA uap dingin sesuai dengan SNI 6989.78:2011.

Kata kunci: batas linearitas, kurva kalibrasi, spektrofotometer serapan atom (SSA), *Mercury*, SNI 6989.78: 2011

ABSTRACT

Testing of samples using a chemical instrumentation has the ability to detect the range of concentration according to the sensitivity. The test method of Mercury (Hg) in water and wastewater using atomic absorption spectrophotometer (AAS) - cold vapor or Mercury analyzer in accordance with SNI 6989.78 : 2011, has the working range of 1 µg Hg/L - 20 µg Hg/L. In principle, Hg²⁺ is reduced by Sn²⁺ to Hg⁰ and the atom further analyzed quantitatively by AAS - cold vapor at a wavelength of 253.7 nm. Determination of the linearity test of calibration curve conducted using analysis of variance (ANOVA) and yields a multiple R = 0.999 and significance F = 5.10⁻⁰⁹. If the linearity test of calibration curve complies with acceptance limit, the repeatability of measurements conducted at lower level (1 mg Hg/L) and high level (20 µg Hg/L), and calculated the standard deviation of each in order to obtain $F_{\text{calculation}} = 3.348$. The degrees of freedom, $df_1 = df_2 = n - 1$ at the 99% confidence level, so the obtained $F_{\text{table}} = F_{(0.01; 9; 9)} = 5.351$. Due to $F_{\text{calculation}} < F_{\text{table}}$, it can be concluded that the 99% confidence level, 1 µg Hg/L - 20 µg Hg/L is the linear regression and 20 µg Hg/L is level of linearity (LoL).

Keywords: level of linearity (LoL), calibration curve, atomic absorption spectrophotometer (AAS), *Mercury*, SNI 6989.78: 2011.

¹ Pusarpedal- KLH, Kawasan Puspiptek, Serpong – Banten 15310, Email : cak_war@yahoo.com.

PENDAHULUAN

Penentuan kadar analit dalam contoh uji dapat dilakukan secara konvensional dengan menggunakan metode titrimetri atau gravimetri. Pengujian dengan cara tersebut membutuhkan keterampilan individu dan jaminan ketertelusuran metrologi yang sangat rumit. Kemajuan teknologi memungkinkan pengujian analit dalam sampel beralih menggunakan peralatan analisis kimia modern, diantaranya spektrofotometer UV-Vis, spektrofotometer serapan atom (SSA) dan gas kromatograf. Kadar analit dalam contoh uji yang memiliki kadar sangat kecil yang tidak mungkin diuji dengan metode pengujian konvensional mampu dideteksi dengan menggunakan peralatan analisis tersebut dengan tingkat akurasi dan presisi yang tinggi.

Instrumentasi kimia memiliki kemampuan mendeteksi pada rentang kadar terendah hingga tertinggi sesuai sensitivitasnya. Kadar terendah suatu analit yang mampu dideteksi oleh instrumentasi kimia disebut *level of quantitation* (LoQ), sedangkan kadar tertinggi yang mampu dideteksi disebut *level of linearity* (LoL). Daerah rentang LoQ hingga LoL dari suatu respon instrumentasi kimia disebut daerah rentang kerja yang merupakan regresi linear. Dalam prakteknya, laboratorium lebih sering memprioritaskan penetapan LoQ daripada LoL disebabkan pelaporan hasil pengujian yang mensyaratkan batasan LoQ yang mampu dicapai oleh suatu laboratorium. Laboratorium sebaiknya menetapkan juga LoL sebagai batasan tertinggi kemampuan laboratorium dalam melakukan pengujian analit dengan menggunakan peralatan instrumentasi kimia tertentu. Sehubungan dengan hal tersebut, maka kajian ilmiah ini

bertujuan untuk menentukan LoL pengujian air raksa (*Mercury*, Hg) dalam air dan air limbah secara spektrofotometri serapan atom sesuai SNI 6989.78: 2011[1].

Penentuan kadar analit Hg dalam contoh uji secara kuantitatif dengan SSA dilakukan melalui kurva kalibrasi dengan linearitas yang memenuhi batas keberterimaan. Kurva kalibrasi merupakan grafik yang membentuk garis lurus (*linear*) yang menyatakan hubungan antara kadar larutan kerja dengan respon yang proporsional dari instrumen yang digunakan. LoL ditetapkan dengan cara melakukan 10 kali pengulangan pengukuran kadar rendah dan kadar tinggi pada rentang kerja metode pengujian. Hasil pengulangan pengujian tersebut dievaluasi secara statistika untuk menentukan batas keberterimaannya.

METODOLOGI

Metode pengujian air raksa (Hg) dalam air dan air limbah secara SSA uap dingin atau *Mercury analyzer* sesuai SNI 6989.78: 2011 memiliki kisaran kadar 1 µg Hg/L sampai dengan 20 µg Hg/L. Secara prinsip, ion Hg^{2+} direduksi oleh Sn^{2+} menjadi atom Hg dan selanjutnya atom tersebut dianalisis secara kuantitatif dengan spektrofotometer serapan atom-uap dingin pada panjang gelombang 253,7 nm.

Penentuan LoL dilakukan melalui pembuatan kurva kalibrasi pada rentang 1 µg Hg/L – 20 µg Hg/L dengan cara memasukkan 100 mL larutan standar kerja Hg pada kadar (1, 2, 4, 8, 10, 15 dan 20) µg Hg/L ke dalam masing-masing *Erlenmeyer* 250 mL. Kemudian tambahkan 5 mL H_2SO_4 pekat dan 2,5 mL HNO_3 pekat kedalam masing-masing *Erlenmeyer* tersebut, lalu tambahkan 15

mL larutan KMnO_4 dan tunggu sampai 15 menit. Bila warna ungu hilang tambahkan lagi KMnO_4 sampai warna ungu tidak hilang. Setelah itu, tambahkan 8 mL $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ dan panaskan dalam penangas air selama 2 jam pada suhu 95°C , lalu dinginkan sampai suhu kamar. Jika suhu larutan telah dingin, maka tambahkan secukupnya larutan hidrosilamin- NaCl untuk mereduksi kelebihan KMnO_4 dan tambahkan 5 mL SnCl_2 . Ukur segera kadar Hg dalam larutan menggunakan SSA uap dingin yang sudah dioptimalkan sesuai petunjuk alat. Hal yang perlu diperhatikan adalah penambahan SnCl_2 akan menghasilkan atom Hg^0 yang mudah menguap sehingga harus segera ditutup [2-3].

Buat kurva kalibrasi dengan menghubungkan garis linear antara kadar dengan absorbansi yang diperoleh dari respon SSA uap dingin dan hitung persamaan garis regresi linearnya. Jika koefisien linearitas kurva kalibrasi $(r) < 0,995$, maka periksa kondisi alat SSA dan ulangi tahapan pembuatan kurva kalibrasi hingga diperoleh nilai $(r) \geq 0,995$. Jika kurva kalibrasi memenuhi batas keberterimaan, maka lakukan 10 kali pengulangan pengukuran untuk kadar rendah ($1 \mu\text{g Hg/L}$) dan kadar tinggi ($20 \mu\text{g Hg/L}$). Hitung masing-masing simpangan

baku dan lakukan evaluasi secara statistik dengan menggunakan uji F.

Hasil penentuan LoL Hg dengan menggunakan SSA uap dingin dinyatakan diterima apabila kurva linear dengan nilai $(r) \geq 0,995$, dan pada derajat kebebasan $df_1 = df_2 = n - 1$ dengan tingkat kepercayaan 99%, diperoleh $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$, maka uji F diterima dan kadar tertinggi pada kurva kalibrasi $20 \mu\text{g Hg/L}$ merupakan nilai LoL.

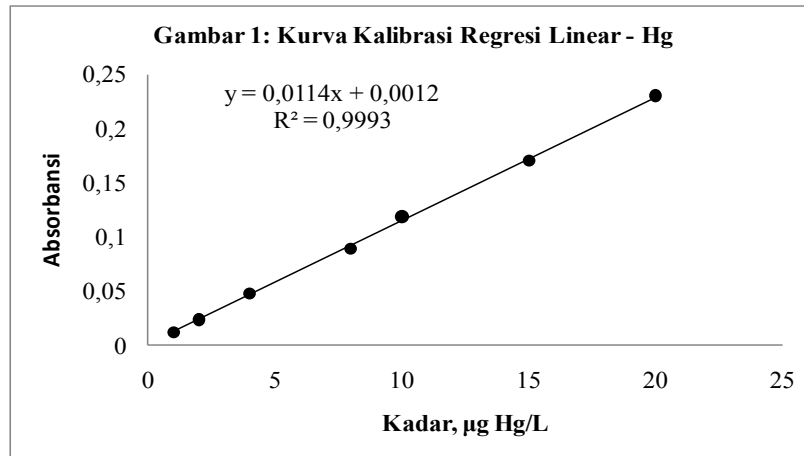
HASIL DAN PEMBAHASAN

Ruang lingkup metode pengujian air raksa (*Mercury*, Hg) pada penelitian ini memiliki kisaran kadar $1 \mu\text{g Hg/L}$ - $20 \mu\text{g Hg/L}$, maka kadar Hg yang dipilih untuk linearitas kurva kalibrasi ditentukan sebagaimana Tabel 1 dan menghasilkan nilai absorbansi sebagai berikut:

Untuk membuktikan linearitas hubungan antara kadar Hg dengan respon instrumen SSA, maka uji yang paling mudah adalah dengan melihat kurva kalibrasi dalam grafik dan membuat garis linear antar data yang ada. Evaluasi secara visual garis yang terbentuk dapat membuktikan linearitas suatu garis tetapi kelemahannya adalah bersifat subyektif karena berbeda pengamat akan memberikan kesimpulan yang berbeda

Tabel 1. Deret Larutan Kadar Hg dengan Nilai Absorbansi dari SSA

| No. | Kadar ($\mu\text{g/L}$) | Absorbansi |
|------------------------------|---------------------------|------------|
| 1 | 1 | 0,0124 |
| 2 | 2 | 0,0240 |
| 3 | 4 | 0,0481 |
| 4 | 8 | 0,0895 |
| 5 | 10 | 0,1188 |
| 6 | 15 | 0,1702 |
| 7 | 20 | 0,2306 |
| Slop | | 0,0114 |
| Intersep | | 0,0012 |
| Koef. Determinasi (R^2) | | 0,9993 |
| Koef. Regresi Linear (r) | | 0,9996 |



Gambar 1. Uji Linearitas Kurva Kalibrasi Melalui Perbedaan Simpangan Baku Residual

terhadap suatu linearitas. Untuk menghindari hal tersebut, maka digunakan uji linearitas secara statistika dengan menggunakan perbandingan simpangan baku residual yang diperoleh dari perhitungan regresi linear (sd_{y1}) dengan simpangan baku residual yang diperoleh dari perhitungan regresi non-linear (sd_{y2}). Perbedaan varian yang dinotasikan sebagai DS^2 dihitung dengan persamaan sebagai berikut [4]:

$$DS^2 = (n-2)sd_{y1}^2 - (n-3)sd_{y2}^2 \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- DS^2 = perbedaan varian
- n = jumlah pasangan data antara kadar dengan respon instrumen SSA
- sd_{y1} = simpangan baku residual regresi linear
- sd_{y2} = simpangan baku residual regresi non-linear

sedangkan sd_{y1} dan sd_{y2} dirumuskan sebagai berikut:

$$sd_{y1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}} \dots\dots\dots(2)$$

dan

$$sd_{y2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i2})^2}{n-3}} \dots\dots\dots(3)$$

Untuk mengevaluasi linearitas yang ada, maka F_{hitung} ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$F_{hitung} = \frac{DS^2}{sd_{y2}^2} \dots\dots\dots(4)$$

Nilai F_{hitung} yang diperoleh dibandingkan dengan F_{tabel} , dengan kesimpulan sebagai berikut:

- a) jika $F_{hitung} < F_{tabel}$: garis yang terbentuk adalah regresi linear
- b) jika $F_{hitung} > F_{tabel}$: garis yang terbentuk adalah regresi non-linear

Untuk mendapatkan nilai F_{tabel} , maka derajat kebebasan untuk DS^2 adalah $df = n - 1$ dengan tingkat kepercayaan 99% maka $F_{tabel} = F_{(0,99; n-1; n-1)}$.

Dari gambar 1 diatas, maka hubungan antara kadar (x_i) dan absorbansi (y_i) diplotkan sehingga didapat persamaan regresi linear kurva kalibrasi:

$$y = 0,0114x + 0,0012$$

Adapun simpangan baku residual regresi linear dihitung dengan persamaan (2) dan diperoleh:

$$sd_{y1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i1})^2}{n-2}} = 0,0024$$

Untuk mengetahui bahwa garis yang terbentuk merupakan regresi linear maka simpangan baku residual sd_{y1} dibandingkan dengan simpangan baku residual non-linear sd_{y2} . Persamaan regresi non-linear ditentukan dengan persamaan (5):

$$y = cx^2 + bx + a \dots\dots\dots(5)$$

Nilai c pada regresi non-linear tersebut ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$c = \frac{(\mathcal{Q}_{xy} \cdot \mathcal{Q}_{x^3}) - (\mathcal{Q}_{x^2y} \cdot \mathcal{Q}_{xx})}{(\mathcal{Q}_{x^3})^2 - (\mathcal{Q}_{xx} \cdot \mathcal{Q}_{x^4})} \dots\dots\dots(6)$$

dimana:

$$\mathcal{Q}_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i y_i) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right) \dots\dots\dots(7)$$

$$\mathcal{Q}_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n} \dots\dots\dots(8)$$

$$\mathcal{Q}_{x^2y} = \sum_{i=1}^n (x_i^2 \cdot y_i) - \left(\sum_{i=1}^n y_i \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} \right) \dots\dots\dots(9)$$

$$\mathcal{Q}_{x^3} = \sum_{i=1}^n x_i^3 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \right) \dots\dots\dots(10)$$

$$\mathcal{Q}_{x^4} = \sum_{i=1}^n x_i^4 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^2}{n} \dots\dots\dots(11)$$

Maka nilai c dalam persamaan regresi non-linear adalah:

$$c = \frac{(\mathcal{Q}_{xy} \cdot \mathcal{Q}_{x^3}) - (\mathcal{Q}_{x^2y} \cdot \mathcal{Q}_{xx})}{(\mathcal{Q}_{x^3})^2 - (\mathcal{Q}_{xx} \cdot \mathcal{Q}_{x^4})} = 6,108$$

Sedangkan nilai b pada regresi non-linear tersebut ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$b = \frac{\mathcal{Q}_{xy} - c\mathcal{Q}_{x^3}}{\mathcal{Q}_{xx}} \dots\dots\dots(12)$$

jadi,

$$b = \frac{\mathcal{Q}_{xy} - c\mathcal{Q}_{x^3}}{\mathcal{Q}_{xx}} = 11,29$$

dan nilai a ditentukan melalui persamaan dibawah ini :

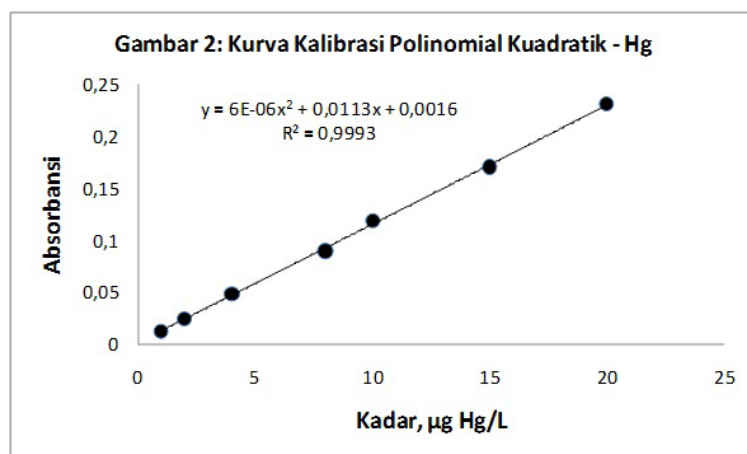
$$a = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i - c \sum_{i=1}^n x_i^2 \right)}{n} \dots\dots\dots(13)$$

jadi,

$$a = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i - c \sum_{i=1}^n x_i^2 \right)}{n} = 0,001$$

Dengan demikian persamaan regresi non-linear (Gambar 2) adalah:

$$y = 6,108x^2 + 11,29x + 0,001$$



Gambar 2: Non-linearitas Kurva Kalibrasi Mercury

Adapun simpangan baku residual regresi non-linear dihitung dengan persamaan (3), sehingga diperoleh:

$$sd_{y2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-3}} = 0,0027$$

Ketika nilai simpangan baku residual regresi linear (sd_{y1}) dan simpangan baku residual regresi non-linear (sd_{y2}) telah ditentukan, maka perbedaan varian yang ditentukan sebagaimana dalam persamaan (1) dan didapatkan:

$$DS^2 = (n-2)sd_{y1}^2 - (n-3)sd_{y2}^2 = 3,295.10^{-7}$$

dan F_{hitung} ditentukan melalui persamaan (4), sehingga diperoleh:

$$F_{hitung} = \frac{DS^2}{sd_{y2}^2} = 1,528.10^{-8}$$

Sedangkan $F_{tabel} = F_{(0,99; n-1; n-1)} = F_{(0,99; 9; 9)} = 5,351$ (Tabel 2). Sehubungan dengan $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka kurva kalibrasi tersebut merupakan garis regresi linear.

Tabel 2: Nilai F_{tabel} untuk $\alpha = 0,01$

| df2/df1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 15 | 20 | 30 | INF |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3 | 29.457 | 28.710 | 28.237 | 27.911 | 27.672 | 27.489 | 27.345 | 27.229 | 26.872 | 26.690 | 26.505 | 26.125 |
| 4 | 16.694 | 15.977 | 15.522 | 15.207 | 14.976 | 14.799 | 14.659 | 14.546 | 14.198 | 14.020 | 13.838 | 13.463 |
| 5 | 12.060 | 11.392 | 10.967 | 10.672 | 10.456 | 10.289 | 10.158 | 10.051 | 9.722 | 9.553 | 9.379 | 9.020 |
| 6 | 9.780 | 9.148 | 8.746 | 8.466 | 8.260 | 8.102 | 7.976 | 7.874 | 7.559 | 7.396 | 7.229 | 6.880 |
| 7 | 8.451 | 7.847 | 7.460 | 7.191 | 6.993 | 6.840 | 6.719 | 6.620 | 6.314 | 6.155 | 5.992 | 5.650 |
| 8 | 7.591 | 7.006 | 6.632 | 6.371 | 6.178 | 6.029 | 5.911 | 5.814 | 5.515 | 5.359 | 5.198 | 4.859 |
| 9 | 6.992 | 6.422 | 6.057 | 5.802 | 5.613 | 5.467 | 5.351 | 5.257 | 4.962 | 4.808 | 4.649 | 4.311 |
| 10 | 6.552 | 5.994 | 5.636 | 5.386 | 5.200 | 5.057 | 4.942 | 4.849 | 4.558 | 4.405 | 4.247 | 3.909 |
| 11 | 6.217 | 5.668 | 5.316 | 5.069 | 4.886 | 4.744 | 4.632 | 4.539 | 4.251 | 4.099 | 3.941 | 3.602 |
| 15 | 5.417 | 4.893 | 4.556 | 4.318 | 4.142 | 4.004 | 3.895 | 3.805 | 3.522 | 3.372 | 3.214 | 2.868 |
| 20 | 4.938 | 4.431 | 4.103 | 3.871 | 3.699 | 3.564 | 3.457 | 3.368 | 3.088 | 2.938 | 2.778 | 2.421 |
| 30 | 4.510 | 4.018 | 3.699 | 3.473 | 3.304 | 3.173 | 3.067 | 2.979 | 2.700 | 2.549 | 2.386 | 2.006 |
| F | 3.782 | 3.319 | 3.017 | 2.802 | 2.639 | 2.511 | 2.407 | 2.321 | 2.039 | 1.878 | 1.696 | 1.000 |

Uji Linearitas Kurva Kalibrasi Melalui *Analysis of Varian* (ANOVA)

Pembuktian linearitas kurva kalibrasi dapat juga dilakukan dengan *analysis of varian* (*anova*). Jika data pada Tabel 1 dilakukan evaluasi statistika dengan *anova*, maka akan diperoleh informasi, diantaranya; intersep, slop, koefisien regresi linear dan *significance-F* sebagai bukti suatu garis dapat dinyatakan memenuhi kriteria regresi linear atau regresi non-linear. Anova dapat dihitung dengan menggunakan program excel sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 3.

Jika hasil perhitungan anova memberikan nilai koefisien regresi linear yang diungkapkan sebagai *Multiple R* $\geq 0,995$ dan nilai *p-value* yang dinyatakan sebagai *Significance F* $\leq 0,05$ maka garis yang terbentuk merupakan garis regresi linear. Sehubungan dengan kadar deret larutan kerja Hg dengan absorbansi tersebut menghasilkan nilai *Multiple R* = 0,9996 dan nilai *Significance F* = 5.10^{-09} , maka dapat disimpulkan bahwa garis yang terbentuk merupakan garis regresi linear.

Uji-F

Level of linearity merupakan batas kadar tertinggi analit dari suatu metode pengujian tertentu. Rentang kerja metode tersebut harus merupakan garis lurus (linear) yang memenuhi batas keberterimaan statistika. Penetapan LoL adalah sebagai berikut[6]:

- buat minimum 7 deret kadar larutan kerja tanpa blanko dengan mempertimbangkan rentang pengujian metode yang sedang diverifikasi;
- buat kurva kalibrasi berdasarkan kadar larutan kerja dengan respon instrumen yang digunakan;
- lakukan 10 kali pengulangan pengukuran untuk kadar rendah dan kadar tinggi pada larutan kerja tersebut;
- evaluasi batas keberterimaan secara statistika.

Sehubungan dengan pengujian kadar *Mercury* dalam air sesuai SNI 6989.78: 2011 memiliki rentang 1 µg Hg/L – 20 µg Hg/L, maka sesuai tahapan diatas, diperoleh data seperti dalam Tabel 4, sebagai berikut:

Tabel 3: *Analysis of Varian (anova) Regresi Linear*

| SUMMARY OUTPUT | | | | | | |
|-----------------------|--------------|----------------|----------|---------|----------------|-----------|
| Regression Statistics | | | | | | |
| Multiple R | 0,9996 | | | | | |
| R Square | 0,9993 | | | | | |
| Adjusted R Square | 0,9991 | | | | | |
| Standard Error | 0,0024 | | | | | |
| Observations | 7 | | | | | |
| ANOVA | | | | | | |
| | df | SS | MS | F | Significance F | |
| Regression | 1 | 0,0386 | 0,0386 | 6705,20 | 5,1,E-09 | |
| Residual | 5 | 2,9,E-05 | 5,8,E-06 | | | |
| Total | 6 | 0,0386 | | | | |
| | | | | | | |
| | Coefficients | Standard Error | t Stat | P-value | Lower 95% | Upper 95% |
| Intercept | 0,0012 | 0,0015 | 0,8077 | 0,4559 | -0,0026 | 0,0051 |
| Concentration | 0,0114 | 0,0001 | 81,8853 | 0,0000 | 0,0111 | 0,0118 |

Tabel 4: Penentuan LoL untuk Pengujian *Mercury* Dalam Air (awal)

| Kadar (µg/L) | Abs ₁ | Abs ₂ | Abs ₃ | Abs ₄ | Abs ₅ | Abs ₆ | Abs ₇ | Abs ₈ | Abs ₉ | Abs ₁₀ | Sd _{Abs} |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 0,0124 | 0,0085 | 0,0106 | 0,0075 | 0,0091 | 0,0099 | 0,0118 | 0,0105 | 0,0132 | 0,0129 | 0,0019 |
| 2 | 0,0240 | | | | | | | | | | |
| 4 | 0,0481 | | | | | | | | | | |
| 8 | 0,0895 | | | | | | | | | | |
| 10 | 0,1188 | | | | | | | | | | |
| 15 | 0,1702 | | | | | | | | | | |
| 20 | 0,2306 | 0,2324 | 0,2325 | 0,2317 | 0,2319 | 0,2309 | 0,2303 | 0,2313 | 0,2322 | 0,2312 | 0,0008 |

Berdasarkan data dalam Tabel 4 tersebut diatas, maka uji-F digunakan untuk membandingkan dua simpangan baku sesuai persamaan (14). Dengan membandingkan kedua simpangan baku data hasil pengulangan pengujian, maka presisi dapat diketahui hampir sama atau beda nyata.

$$F_{hitung} = \frac{sd_1^2}{sd_2^2}$$

dengan catatan bahwa $sd_1 > sd_2$ (14)

dimana:

F_{hitung} = hasil uji F berdasarkan perhitungan

sd_1 = simpangan baku yang memiliki nilai lebih besar

sd_2 = simpangan baku yang memiliki nilai lebih kecil

Hasil perhitungan F_{hitung} dibandingkan dengan nilai kritis dari tabel F (F_{tabel}). Untuk mendapat nilai kritis dari tabel F maka derajat kebebasan untuk kedua simpangan baku sd_1 dan sd_2 didasarkan kepada:

$$df_1 = n_1 - 1 \dots\dots\dots(15)$$

$$df_2 = n_2 - 1 \dots\dots\dots(16)$$

dimana:

df_1 = derajat kebebasan pengujian pertama

df_2 = derajat kebebasan pengujian kedua

n_1 = jumlah pengulangan pengujian pertama

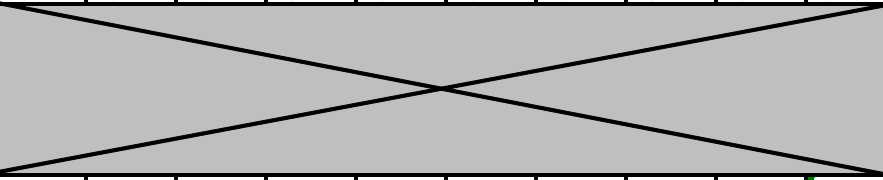
n_2 = jumlah pengulangan pengujian kedua

Jika $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ dengan tingkat kepercayaan 99% ($\alpha = 0,01$), maka dapat disimpulkan bahwa kedua data hasil pengujian memiliki presisi yang tidak beda nyata. Nilai F_{tabel} diperoleh dari tabel F untuk $F_{(\alpha; df_1; df_2)}$ atau $F_{(0,01; n_1-1; n_2-1)}$.

$$F_{hitung} = \frac{sd_1^2}{sd_2^2} = \frac{(0,008)^2}{(0,001)^2} = 41,475$$

Dengan derajat kebebasan $df_1 = df_2 = n - 1$ dan tingkat kepercayaan 99%, maka diperoleh $F_{tabel} = F_{(0,01; 9; 9)} = 5,351$ (Tabel 5). Dari data perhitungan tersebut maka diketahui bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan tingkat kepercayaan 99% maka 1 µg Hg/L – 20 µg Hg/L merupakan regresi linear namun kadar *mercury* 20 µg Hg/L bukan LoL metode. Oleh karena uji-F ditolak dalam penentuan LoL, maka dilakukan pengulangan pengujian *mercury* pada kadar 20 µg Hg/L dan menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 6: Penentuan LoL untuk pengujian *Mercury* dalam air (revisi)

| Kadar (µg/L) | Abs ₁ | Abs ₂ | Abs ₃ | Abs ₄ | Abs ₅ | Abs ₆ | Abs ₇ | Abs ₈ | Abs ₉ | Abs ₁₀ | Sd _{Abs} |
|--------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 0,0124 | 0,0090 | 0,0106 | 0,0088 | 0,0091 | 0,0090 | 0,0097 | 0,0105 | 0,0112 | 0,0120 | 0,0013 |
| 2 | 0,0240 |  | | | | | | | | | |
| 4 | 0,0481 | | | | | | | | | | |
| 8 | 0,0895 | | | | | | | | | | |
| 10 | 0,1188 | | | | | | | | | | |
| 15 | 0,1702 | | | | | | | | | | |
| 20 | 0,2306 | 0,2309 | 0,2296 | 0,2301 | 0,2299 | 0,2334 | 0,2302 | 0,2290 | 0,2371 | 0,2322 | 0,0024 |

Simpangan baku hasil pengulangan dibandingkan dan diperoleh:

$$F_{hitung} = \frac{sd_1^2}{sd_2^2} = \frac{(0,002)^2}{(0,001)^2} = 3,348$$

Dengan $df_1 = df_2 = n - 1$ dan tingkat kepercayaan 99% maka diperoleh $F_{tabel} = F_{(0,01; 9; 9)} = 5,351$ (Tabel 2) sehingga $F_{hitung} < F_{tabel}$. Dapat disimpulkan bahwa dengan tingkat kepercayaan 99% maka 1 µg Hg/L – 20 µg Hg/L merupakan regresi linear dan 20 µg Hg/L merupakan LoL.

SIMPULAN

Penentuan uji linearitas kurva kalibrasi metode pengujian air raksa (*Mercury*, Hg) dalam air dan air limbah secara spektrofotometri serapan atom (SSA) uap dingin sesuai SNI 6989.78: 2011 telah dilakukan melalui perbandingan simpangan baku residual regresi linear dengan simpangan baku residual polinomial kuadratik. Pembuktian linearitas kurva kalibrasi dilakukan dengan *analysis of varian (anova)*. Perolehan nilai *Multiple R* = 0,9996 dan nilai *Significance F* = 5.10^{-09} , membuktikan bahwa garis yang terbentuk dari kurva kalibrasi merupakan garis regresi linear.

Hasil pengulangan pengukuran 10 kali dilakukan pada kadar rendah (1 µg Hg/L) dan kadar tinggi (20 µg Hg/L) untuk menghitung simpangan baku dan diperoleh $F_{hitung} = 3,348$. Dengan derajat kebebasan $df_1 = df_2 = n - 1$ dan tingkat kepercayaan 99% maka diperoleh $F_{tabel} = F_{(0,01; 9; 9)} = 5,351$, artinya $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka dapat disimpulkan bahwa 1 µg Hg/L – 20 µg Hg/L merupakan regresi linear dan 20 µg Hg/L merupakan *level of linearity* (LoL).

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Standar Nasional Indonesia, SNI 6989.78: 2011, Air dan Air limbah – Bagian 78: Cara Uji Raksa (Hg) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Uap Dingin atau *Mercury Analyzer*.
- (2) *Standard Methods, Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005, Method 3112.*
- (3) ASTM D 3223, “Standard test method for total mercury in water”.
- (4) International Standard, ISO 8466-1, 1990, “Water Quality – Calibration and Evaluation of Analytical Methods and Estimation of Performance Characteristics” Part 1: Statistical *Evaluation of the Linear Calibration Function*.

- (5) International Standard, ISO 8466-2, 1993, “Water Quality – Calibration and Evaluation of Analytical Methods and Estimation of Performance Characteristics” Part 2y: Calibration Strategy for Non-Linear Second Order Calibration Function.
- (6) Hadi, Anwar, 2009, “Verifikasi Metode Pengujian Parameter Kualitas Lingkungan”, Jakarta. Kementerian Lingkungan Hidup.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. RTM. Sutamihardja.
2. Dr. Ir. Ning Purnomohadi, MS.
3. Ir. Isa Karmisa Ardiputera.
4. Dr. Yanni Sudiyani.
5. Dra. Erini Yuwatini, M.Sc, Ph.D.

Sebagai Mitra Bestari atas kesediaannya melakukan *review* pada Jurnal Ecolab Volume 9 Nomor 1, Januari 2015.

Januari 2015

Dewan Redaksi
Ecolab Jurnal Kualitas Lingkungan Hidup