



PENENTUAN DIAMETER AEROSOL DENGAN METODA IMPAKTOR BERTINGKAT

Bunawas dan Otto P. Ruslanto^(*)

Pusat Standaridisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi

ABSTRAK

PENENTUAN DIAMETER PARTIKEL AEROSOL DENGAN METODA IMPAKTOR BERTINGKAT. Telah dilakukan penentuan distribusi ukuran partikel aerosol menggunakan impaktor bertingkat Andersen tekanan rendah dengan 13 tingkat. Contoh aerosol dicuplik dengan laju alir 28,3 lpm. Hasil studi pendahuluan memperlihatkan bahwa aerosol di ruang simulasi terdistribusi monomodal dengan diameter aerodinamis median massa (MMAD) 4,9 μ m. Pemakaian pada pengukuran di Reaktor Daya Demonstrasi Jepang (JPDR) menghasilkan distribusi trimodal dengan diameter aerodinamis median aktivitas (AMAD) 13,3 μ m. Pemakaian mylar sebagai pelat impaksi pengganti aluminium foil, memberikan hasil yang baik.

ABSTRACT

DETERMINATION OF AEROSOL PARTICLE DIAMETER USING CASCADE IMPACTOR PROCEDURE. Determination of aerosol particle size distribution has been done using a low pressure Andersen's cascade impactor with 13 stages. The aerosol has been sampled with flow rate of aerosol sampling of 28.3 lpm. Preliminary study result shows that aerosol in the simulation chamber was spread in monomodal distribution with Mass Median Aerodynamic Diameter of 4.9 μ m. The aerosol measurement in Japan Power Demonstration Reactor has been spread in trimodal distribution with Activity Median Aerodynamic Diameter equal to 13.3 μ m. The use of mylar as impaction plate instead of aluminum foil gives good result.

PENDAHULUAN

Pengetahuan tentang distribusi ukuran partikel aerosol radioaktif di udara di lingkungan tempat kerja pada fasilitas penanganan material radioaktif yang mudah terbang adalah penting untuk pemantauan konsentrasi aerosol radioaktif di udara. Dari pemantauan ini dapat diperkirakan tingkat radiasi interna para pekerja yang masuk melalui saluran pernafasan.

Kelompok kerja bidang dinamika paru-paru (TGLD) dari Komisi Internasional Proteksi Radiasi (ICRP), mengajukan model paru-paru untuk memperkirakan dosis akibat penghirupan aerosol radioaktif.^[1] Model ini memperlihatkan bahwa penyebaran, pengendapan, dan retensi pada saluran pernafasan sangat bergantung pada ukuran aerodinamis aerosol.^[2] Oleh karena itu data tentang distribusi ukuran partikel aerosol radioaktif sangat penting.

Impaktor bertingkat (*Cascade Impactor*) adalah salah satu alat pencuplikan untuk menentukan ukuran partikel aerosol radioaktif

yang cukup populer karena mudah dioperasikan, sederhana, portabel, dan resolusi pengukurannya tinggi.^[3] Saat ini di pasaran ada beberapa produk impaktor bertingkat yaitu Impaktor Berner dengan 11 tingkat yang mampu menentukan diameter partikel aerosol dengan rentang antara 0,03 μ m dan 16 μ m,^[4] Impaktor MOUDI dengan 11 tingkat yang mampu mengukur diameter partikel aerosol antara 0,05 μ m dan 18 μ m,^[5] dan Impaktor Andersen dengan 13 tingkat yang mampu mengukur diameter partikel aerosol antara 0,08 μ m dan 35 μ m.^[6]

Makalah ini membahas tentang cara penyiapan pencuplikan, pencacahan dan analisis data dari impaktor bertingkat. Data pendahuluan yang dianalisis diperoleh melalui pengukuran menggunakan Impaktor Andersen bertekanan rendah.

TEORI

Impaktor pada dasarnya adalah sebuah nosel atau *jet* yang diarahkan ke pelat impaksi. Aliran yang memasuki nosel akan dipercepat dan kemudian oleh pelat impaksi

^(*) Sebagai Penyaji makalah

aliran dibelokkan 90°, sehingga partikel dengan ukuran lebih besar dari harga diameter tertentu (diameter pangkas) karena kelebamannya tidak dapat mengikuti garis alir sehingga menabrak dan mengendap pada pelat impaksi. Partikel dengan diameter lebih kecil dari diameter pangkas dapat mengikuti garis alir dan lolos dari pelat impaksi (Gambar 1.a). Namun keadaan itu tidak pasti, karena ada kebolehjadian partikel dengan ukuran di atas diameter pangkas yang masih dapat lolos (daerah arsiran bagian atas Gambar 1.b), dan partikel dengan ukuran kurang dari diameter pangkas yang menabrak dan terendapkan (daerah arsiran bagian bawah 1.b).

Pada impaktor bertingkat, partikel yang lolos dari suatu tingkat (*stage*) dilewatkan pada tingkat berikutnya. Tingkat ini mempunyai ukuran karakteristik yang berbeda dari tingkat sebelumnya, sedemikian sehingga diameter pangkas pada tingkat tersebut kurang dari diameter pangkas tingkat sebelumnya. Pada tingkat terakhir, pelat impaksi digantikan oleh sebuah tapis HEPA (Gambar 1.c). Dengan cara demikian, partikel aerosol yang masuk impaktor bertingkat dapat diklasifikasi. Banyaknya partikel aerosol yang mengendap pada setiap tingkat dapat ditentukan dengan melakukan penimbangan pelat impaksi (untuk aerosol tidak radioaktif) atau pencacahan pelat impaksi dengan spektrometri gamma atau alpha, untuk aerosol radioaktif.

Efisiensi pengendapan partikel yang menabrak pelat impaksi merupakan fungsi dari bilangan Stokes, Stk , yang didefinisikan sebagai nisbah antara jarak henti partikel dan diameter nosel impaktor yang dinyatakan dengan persamaan berikut ^[4,5,6]:

$$Stk = \frac{\rho_p D_p^2 VC}{9\mu W} \quad (1)$$

dengan ρ_p : kerapatan partikel [kg/m³]
 D_p : diameter pangkas [m]
 V : kecepatan udara rerata pada saat

$$\text{keluar dari nosel [m/s]} \approx \frac{q}{\pi(W/2)^2}$$

q : laju alir udara [m³/s]

μ : viskositas udara [kg/m.s]

W : diameter nosel [m]

C : koreksi gelincir Cunningham =

$$1 + 2,492 \frac{\lambda}{D_p} + 0,84 \frac{\lambda}{D_p} \exp\left(-0,435 \frac{D_p}{\lambda}\right)$$

λ : lintasan bebas rerata dari gas [m]

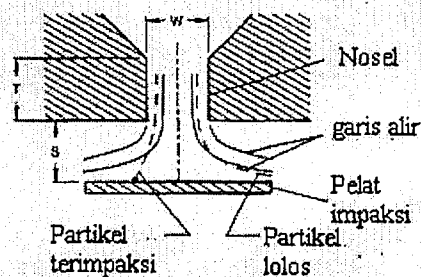
Efisiensi koleksi dari impaktor tidak terlalu berubah untuk aliran udara laminar yaitu bila bilangan Reynold, Re , berharga antara 100 dan 1000. ^[6]

Koleksi karekteristik dari tingkat impaktor tertentu adalah koleksi dengan efisiensi 50% yang artinya 50% partikel dengan diameter tertentu mengendap pada pelat impaksi dan selebihnya lolos. Diameter partikel pada keadaan tersebut dikenal dengan diameter pangkas pada efisiensi 50% dan dilambangkan dengan D_{p50} , dan bilangan Stoke yang bersesuaian adalah Stk_{50} . Sesuai dengan (1), hubungan antara keduanya dinyatakan dengan persamaan ^[6]:

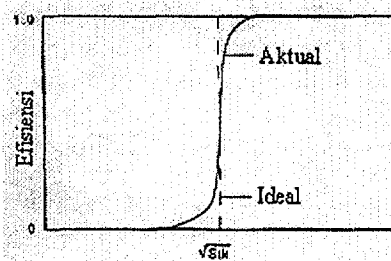
$$D_{p50} = \sqrt{\frac{9\mu W}{\rho_p VC}} \cdot \sqrt{Stk_{50}} \quad (2)$$

Dalam hubungan demikian, bila harga $\sqrt{Stk_{50}}$ diketahui, maka diameter pangkas D_{p50} dapat dihitung. Untuk impaktor

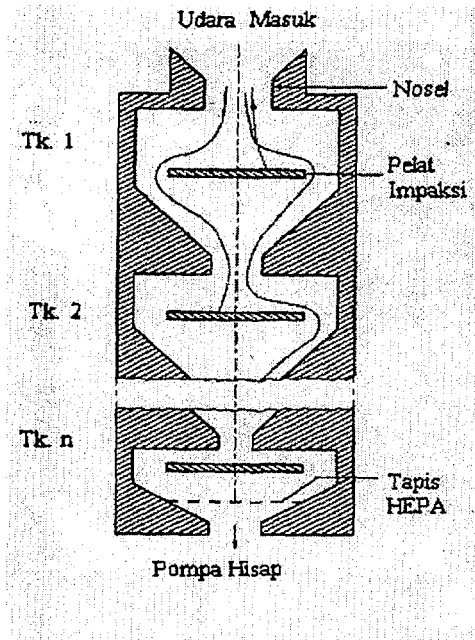
bertingkat bertekanan rendah, harga $\sqrt{Stk_{50}}$ berkisar antara 0,497 dan 0,545. ^[4,6]



(a)



(b)



(c)
Gambar 1. Diagram a) impaktor konvensional, b) kurva efisiensi koleksi, dan c) impaktor ber-tingkat

TATA KERJA

Penyiapan Pelat Impaksi

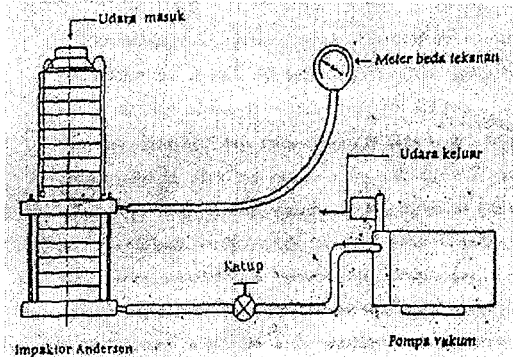
Foil aluminium (Andersen-USA) atau foil mylar (Fuji-Jepang) dengan diameter 81 mm disemprot dengan aerosol silikon (Hercules Packing Corp-USA) tiga kali dengan jarak penyemprotan ± 30 cm, dan kemudian dipanaskan di dalam oven pada suhu 100°C selama 1 jam untuk meratakan lapisan dan menghilangkan uap air. Pemberian gemuk silikon pada permukaan foil yang digunakan sebagai pelat impaksi akan memperkecil jumlah partikel yang lepas dari foil, sehingga akan menaikkan efisiensi koleksi.^[7,8,9]

Pencuplikan Aerosol

Pelat impaksi yang telah diberi gemuk silikon dipasang pada impaktor bertingkat bertekanan rendah model 3551 (Andersen Inc., USA) mulai dari tingkat L5, L4, L3, L22, L1, kemudian tingkat 7,6,5,4,3,2,1, dan yang terakhir 0. Kemudian alat tersebut dirangkai seperti pada Gambar 2.

Aerosol radioaktif dicuplik dengan menggunakan impaktor yang telah dihubungkan dengan pompa vakum

(Andersen Inc., USA) dan beda tekanan diukur dengan meter tekanan absolut



Gambar 2. Bagan pencuplikan aerosol dengan impaktor bertingkat

model 20-650 (Wallace-Tierman, USA) selama 5-30 menit dengan laju alir 28,3 lpm (lihat Gambar 2). Setelah pencuplikan berakhir, pelat impaksi dan tapis HEPA dikeringkan di dalam inkubator untuk menghilangkan uap air. Untuk aerosol bukan radioaktif pada langkah terakhir dilakukan penimbangan setiap pelat impaksi dan tapis menggunakan timbangan elektronik dengan kepekaan $\pm 0,00001$ gram. Untuk aerosol radioaktif dilakukan pencacahan pelat impaksi dan tapis menggunakan spektrometri gamma dengan detektor HP-Ge (ORTEC, USA).

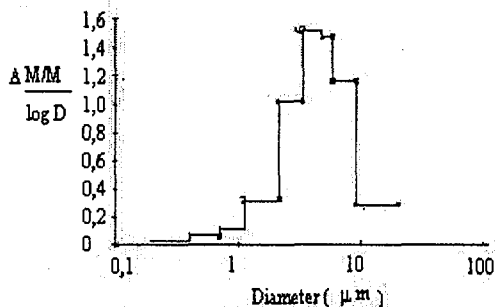
HASIL DAN BAHASAN

Dalam penentuan distribusi diameter partikel aerosol berdasarkan penimbangan foil sebelum dan sesudah pencuplikan, pemberian gemuk silikon pada foil tidak pada seluruh permukaan foil tetapi hanya pada permukaan yang aktif saja yaitu permukaan yang kontak dengan debu aerosol. Hal ini dilakukan karena sering kali dijumpai hasil selisih penimbangan yang berharga negatif. Ini terjadi karena gemuk silikon yang berada pada bagian pinggir foil dapat menempel pada ring karet *viton*, sehingga menimbulkan kesalahan hasil penimbangan.

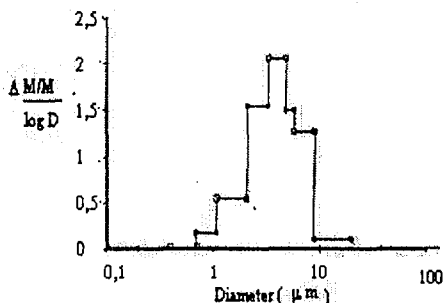
Foil aluminium untuk pelat impaksi relatif mahal harganya (\pm Rp 1000,- per buah) dan perlu penanganan yang sangat hati-hati, karena mudah kusut dan tidak rata. Oleh karena itu telah dicoba diganti dengan potongan plastik transparansi OHP (plastik mylar) yang harganya murah (\pm Rp 40,- per buah), mudah penanganannya, dan tidak mudah kusut. Dengan membandingkan pola

hasil pada pelat impaksi antara foil aluminium dan foil plastik mylar, terlihat bahwa pola pada foil plastik mylar lebih baik karena pola distribusi pengendapan partikel aerosol lebih merata dan homogen (pengamatan secara visual) serta efisiensi pengendapan lebih baik (berdasarkan hasil penimbangan). Hal ini terjadi karena plastik mylar mempunyai muatan elektrostatik negatif sedangkan partikel aerosol pada umumnya cenderung bermuatan positif, sehingga ada proses pengendapan lain selain tumbukan yaitu pengendapan secara elektrostatik.^[10]

Hasil pengukuran pada aerosol tidak radioaktif di dalam ruang simulasi terdistribusi secara monomodal dengan diameter aerodinamis berdasarkan median massa, MMAD = 4,99 μm dan $\sigma_g = 1,474$ untuk pelat impaksi aluminium (Gambar 3.a dan 3.b). Perbedaan antara kedua pengukuran di atas adalah 2%, sehingga pemakaian mylar sebagai pelat impaksi adalah alternatif yang cukup baik dengan harga yang lebih murah.

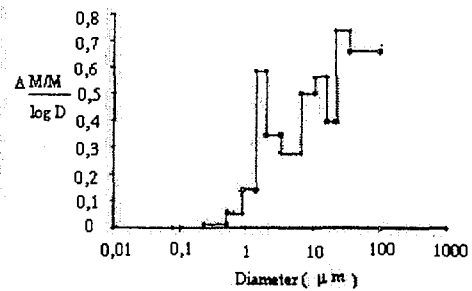


Gambar 3a. Distribusi aerosol hasil pengukuran dengan penimbangan menggunakan pelat impaksi mylar di ruang simulasi aerosol.



Gambar 3b. Distribusi aerosol hasil pengukuran dengan penimbangan menggunakan pelat impaksi aluminium di ruang simulasi aerosol.

Hasil pengukuran aerosol radioaktif di ruang daya demonstrasi Jepang (JPDR) yang sedang decomisioning, berupa distribusi trimodal dengan diameter aerodinamis berdasarkan median aktivitas, AMAD = 13,33 μm dan $\sigma_g = 1,614$ (lihat Gambar 4). Dari hasil pengukuran dengan spektrometri gamma, diperoleh informasi bahwa radioisotop yang dominan yaitu Co-60. Ini sesuai dengan laporan Onodera dkk.^[11]



Gambar 4. Distribusi aerosol di JPDR dicacah dengan Spektrometer - γ

Pemakaian Impaktor bertingkat tekanan rendah buatan Andersen Inc., USA untuk menentukan distribusi ukuran partikel aerosol memberikan beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan alat pencuplik lain, misalnya dapat digunakan untuk pencuplikan aerosol anorganik dan aerosol biologi (virus, kuman, jamur); aerosol radioaktif maupun tidak radioaktif; menjangkau rentang yang cukup lebar yaitu antara 0,08 μm dan 35 μm ; dan ada arsip data cuplikan, sehingga dapat dilakukan evaluasi ulang (*re-evaluation*) hasil pengukuran, seandainya diperlukan.

Untuk aerosol radioaktif, pengukuran menggunakan spektrometer juga memungkinkan diketahui kandungan isotop pada sampel.

SIMPULAN

1. Untuk penentuan distribusi aerosol bahan radioaktif dengan metoda penimbangan, pemberian gemuk silikon pada pelat impaksi sebaiknya hanya pada permukaan yang kontak dengan partikel aerosol.
2. Pemakaian plastik mylar untuk pelat impaksi, sebagai pengganti foil aluminium, adalah alternatif yang baik dengan harga yang murah.

3. Distribusi aerosol bukan radioaktif di ruang simulasi berupa distribusi monomodal dengan *MMAD* rerata 4,94 μ m dan distribusi aerosol radioaktif di ruang *JPDR* berupa distribusi trimodal dengan *AMAD* 13,33 μ m.
4. Impaktor bertingkat dapat digunakan untuk segala jenis polusi udara yang berupa partikulat dan ada arsip cuplikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Mr. C. Nakamura dan Mr. T. Nishizono atas bantuan dalam penyiapan impaktor dan diskusi yang bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ICRP TASK GROUP ON LUNG DYNAMIC, "Deposition on Retention Model for Internal Dosimetry of the Human Respiratory Track", Health Physics, 19 (1966), 173-207.
- [2]. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION PROTECTION, "Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers : Design and Interpretation", ICRP Publication, 54 (1988).
- [3]. RAO, N.P., DE LA MORA, J.F. , and Mc. MURRY, P.H., " High Resolution Aerodynamic Spectrometry of Submicron Particles: Sheated Variable-Cut Impactors Vs Other devices", J. Aerosol Sci., 23 (1992), 11-26.
- [4]. HILLAMO, R.E., and KAUPPINEN, E.L., "On the Performance of the Berner Low Pressure Impactor", J. Aerosol Sci. and Tech., 14 (1991), 33-47.
- [5]. MARPLE, V.A., RUBOW, K.L., and BEHN, S.M., "A Microorifice Uniform Deposit Impactor (MOUDI) : Description, Calibration, and Use", J. Aerosol Sci. and Tech., 14 (1991), 434-446.
- [6]. Operating Manual for Andersen Low-Pressure Impactor, Andersen Sampler Inc., Atlanta, Ga, 30336, (1982).
- [7]. LAOSON, D.R., "Impaction Surface Coatings Intercomparison and Measurements with Cascade Impactor", Atmospheric Environment, 14 (1980), 195-199.
- [8]. TURNER, J.R., and HERING, S.V., "Greased and Oiled Substractes as Bounce Free Impaction Surface", J. Aerosol Sci., 18 (1987), 215-244.
- [9]. SCHUMANN, T, GYSI, H., and KAELIN, S. "Coating of Impaction Surfaces of Cascade Impactors: Necessery for Sampling Ambient Aerosols in Rural ang Suburban Areas", J. Aerosol Sci., 19 (1988), 993-996.
- [10]. KANAOKA, C., EMI, H., OTANI, Y., and IYAMA, T., "Effect of Charging State of Particles on Electret Filtration", J. Aerosol Sci. and Tech., 7 (1987), 1-13.
- [11]. ONODERA, J., YABUTA, H., NISHIZONO, T., NAKAMURA, C., and IKEZAWA, Y., "Characterization of Aerosols from Dismantling Work of Experimental Nuclear Power Reactor Decomisioning", J. Aerosol Sci., 22 (1991), 747-750.
- [12]. WANG, H.C., and JOHN, W., "Characteristics of the Berner Impactor for Sampling Inorganic Ions", J. Aerosol Sci. and Tech., 8 (1988), 157-172.
- [13]. NEVALAINEN, A. , WILLEKE, K., LEIBHANER, F., and PASTUSZKA, J., "Bioaerosol Sampling", Aerosol Measurement; Principle, Techniques and Applications (K. Willeke and P.A. Baron, Eds), Van Nostrand Reinhold, New York, (1993).

TANYA JAWAB

1. **Sudarmadi**
 - Bagaimana hasil pengukuran diameter aerosol bila digunakan impaktor yang kurang atau lebih dari 13 tingkat?
- Otto P. Ruslanto**
 - Setiap tingkat menghasilkan kelas data tertentu. Makin banyak tingkat akan menambah kelas-kelas data yang menghasilkan distribusi yang lebih rinci.

2. **Susilaningtyas**

- Mengapa contoh aerosol dicuplik dengan laju alir 28,3 lpm?
- Bagaimana pengaruh laju alir terhadap penentuan diameter aerosol dengan metoda impaktor bertingkat tersebut? Mohon penjelasan.

Otto P. Ruslanto

- Harga laju alir 28,3 lpm dalam penelitian ini adalah besarnya kemampuan pompa hisap yang digunakan.
 - Laju alir akan berpengaruh pada efisiensi koleksi di pelat impaksi dan juga pada diameter partikel yang terimpaksi. Sampai dengan harga tertentu, laju alir akan menaikkan efisiensi koleksi, namun di atas harga tersebut akan mengakibatkan efisiensi koleksi turun kembali.
3. **Indro Yuwono**
- Bagaimana penjelasan lebih jauh/teknis ilmiah mengenai perbedaan harga MMAD dan AMAD yang cukup tajam?

- Alasan apa yang mendasari bahwa foil Al dapat diganti dengan mylar? Apakah alasan tersebut sudah cukup mewakili untuk simpulan ilmiah?

Otto P. Ruslanto

- Yang diukur adalah ruang yang berbeda. MMAD diukur dalam ruang simulasi, sedangkan AMAD diukur dalam ruang reaktor JPDR yang sedang *decomissioning*.
- Mylar cenderung bermuatan elektrostatik negatif, sedangkan partikel aerosol di udara cenderung positif, sehingga ada gaya elektrostatik yang menguntungkan mekanisme koleksi.
- Alasan lain adalah soal harga dan kemudahan penanganan.
- Perlu penelitian lanjutan untuk meyakinkan mana yang lebih baik