

PENGARUH EFEK SCATTERING PENGGUNAAN INSERTED SAMPLE HOLDER PADA EDXRF EPSILON5

Dyah Kumala Sari, Diah Dwiana Lestiani, Djoko Prakoso Dwi Atmodjo, Natalia Adventini

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

ABSTRAK

PENGARUH EFEK SCATTERING PENGGUNAAN INSERTED SAMPLE HOLDER PADA EDXRF EPSILON5. X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan teknik analisis nuklir untuk analisis unsur; baik secara kualitatif maupun kuantitatif. XRF memiliki beberapa keunggulan diantaranya non destruktif, multi unsur, cepat, minimum preparasi, dan akurat. Pada kegiatan ini dilakukan pengujian pengaruh efek scattering penggunaan inserted sample holder pada pengukuran sampel menggunakan Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF) Epsilon5. EDXRF Epsilon5 dilengkapi dengan sample changer otomatis serta sample holder untuk penempatan sampel yang dianalisis. Inserted sample holder merupakan bagian dalam dari sample holder. Sampel yang dianalisis diletakkan di atas inserted sample holder kemudian ditutup dengan bagian luar sample holder lalu disusun di atas tray dengan urutan tertentu. Dalam pengujian ini digunakan dua macam inserted sample holder yang masing-masing terbuat dari aluminium dan teflon. Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah Blank SRM NIST 2783. Pengukuran dilakukan menggunakan aplikasi Air Filter dengan 5 kondisi operasi. Hasil pengamatan dari pengukuran ditampilkan dalam bentuk spektrum. Efek scattering ini dapat dilihat dari background pada masing-masing spektrum hasil pengukuran. Selain itu juga dilihat dari nilai intensitas hasil pengukuran menggunakan masing-masing inserted sample holder. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa untuk beberapa unsur tidak menunjukkan adanya perbedaan background menggunakan kedua jenis inserted sample holder. Sedangkan untuk unsur tertentu terlihat bahwa background lebih tinggi ketika menggunakan inserted sample holder yang terbuat dari teflon. Meskipun demikian, perbedaan background tersebut masih termasuk kecil dan tidak mempengaruhi hasil secara signifikan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dalam aplikasinya untuk pengukuran sampel pada EDXRF Epsilon5 akan lebih baik jika menggunakan inserted sample holder yang terbuat dari aluminium.

Katakunci: EXDRF, Epsilon5, inserted sample holder, scattering

ABSTRACT

INFLUENCE OF SCATTERING EFFECT BY USING INSERTED SAMPLE HOLDER IN EDXRF EPSILON5. X-Ray Fluorescence (XRF) is one of nuclear analytical technique for elemental analysis, both for qualitatively and quantitatively. XRF has several advantages including non-destructive, multi-element, fast, minimum preparation, and accurate. In this activity, testing the influence of scattering effects of the use of inserted sample holder in the measurement of samples using Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF) Epsilon5 had been done. EDXRF Epsilon5 equipped with an automatic sample changer and sample holder for placement of samples analyzed. Inserted sample holder was a part of the sample holder. Samples were analyzed and placed on the inserted sample holder then closed with the outside of the sample holder and then arranged on a tray with a specific order. In this testing was used two kinds of inserted sample holder that made from aluminum and teflon respectively. The sample used in this activity was Blank NIST SRM 2783. Measurements were performed using an application Air Filter with 5 operating conditions. The measurement results were displayed in the form of the spectrum. This scattering effect can be seen from the background on each spectrum. It also can be seen from the intensity of measurement using each inserted sample holder. The measurement results showed that some elements did not show any different background using both types of inserted sample holder. But some elements showed that the background were higher when using inserted sample holder made from teflon. However, the differences of background still small and did not

affect the results significantly. It can be concluded that the measurement results of EDXRF Epsilon5 would be better if the inserted sample holder made from aluminum is used.

Keywords: EXDRF, Epsilon5, inserted sample holder, scattering

1. PENDAHULUAN

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan teknik analisis nuklir untuk analisis unsur, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. XRF memiliki beberapa keunggulan diantaranya non destruktif, multi unsur, cepat, minimum preparasi, dan akurat. Selain metode yang non-destruktif, XRF juga merupakan metode analisis yang cepat dan multi elemen serta dapat mengukur sampai dengan orde sub ppm [1,2]. Saat ini aplikasi XRF telah digunakan secara luas di berbagai bidang seperti industri, lingkungan, kesehatan sampai bidang arkeologi. Sistem spektrometer XRF dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu sistem dispersi energi (EDXRF) dan sistem dispersi panjang gelombang (WDXRF) [3].

Laboratorium Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan - Badan Tenaga Nuklir Nasional (PSTNT-BATAN) Bandung memiliki *Energy Dispersive X-Ray Fluorescence* (EDXRF) Epsilon5 yang digunakan untuk karakterisasi dan pengukuran kadar unsur pada suatu sampel.

EDXRF Epsilon5 dapat digunakan untuk analisis unsur baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif digunakan untuk mengetahui unsur apa saja yang terdapat dalam sampel yang dianalisis sedangkan analisis kuantitatif digunakan untuk mengkuantifikasi kadar unsur tersebut [4].

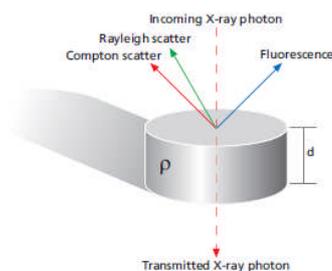
EDXRF Epsilon5 dilengkapi dengan *sample changer* otomatis serta *sample holder* untuk menempatkan sampel yang akan dianalisis. Spesifikasi standar *sample holder* buatan pabrik memiliki ukuran diameter 22 mm untuk bagian luar dan 28 mm untuk bagian dalam (*inserted sample holder*). Ukuran tersebut sesuai untuk filter dengan diameter 47 mm. Bagian luar *sample holder* terbuat dari bahan *stainless steel* sedangkan bagian *inserted sample holder* terbuat dari bahan aluminium. Sampel filter yang akan dianalisis diletakkan di atas *inserted sample holder* kemudian ditutup dengan bagian luar *sample holder* lalu disusun di atas *tray* dengan urutan tertentu.

Dalam prakteknya, selain terjadi peristiwa fluoresensi ketika sinar-X mengenai suatu materi, interaksi sinar-X lainnya yang mungkin terjadi adalah efek *scattering*. Efek ini dapat berupa *Compton scattering* maupun *Rayleigh scattering*. Terjadinya peristiwa *fluorescence* dan *scattering*

ini dipengaruhi oleh ketebalan sampel, densitas dan komposisi material serta besarnya energi sinar-X [1]. Oleh karena itu pada kegiatan ini dilakukan pengujian pengaruh efek *scattering* penggunaan *inserted sample holder* terkait komposisi materialnya. Dalam kegiatan ini digunakan dua macam *inserted sample holder* yang masing-masing terbuat dari aluminium sesuai rekomendasi dari pabrik dan teflon yang dibuat secara mandiri oleh PSTNT-BATAN Bandung.

2. TEORI

Metode XRF merupakan suatu teknik analisis nuklir yang berdasarkan pada terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan cuplikan (bahan) oleh sinar-X dari sumber pengekstasi (sinar-X). Apabila terjadi eksitasi sinar-X primer yang berasal dari tabung X-ray atau sumber radioaktif mengenai cuplikan, sinar-X dapat diabsorpsi atau dihamburkan oleh material. Proses dimana sinar-X diabsorpsi oleh atom dengan mentransfer energinya pada elektron yang terdapat pada kulit yang lebih dalam disebut efek fotolistrik. Selama proses ini, bila sinar-X primer memiliki cukup energi, elektron pindah dari kulit yang di dalam sehingga menimbulkan kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam dan proses ini menghasilkan energi sinar-X tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Emisi sinar X dihasilkan dari proses yang disebut X-Ray Fluorescence (XRF). Pada umumnya kulit K dan L terlibat pada deteksi XRF. Jenis spektrum X ray dari cuplikan yang diradiasi akan menggambarkan puncak-puncak pada intensitas yang berbeda [5].



Gambar 1. Interaksi sinar-X dengan materi [1]

2.1 Interaksi Sinar-X dengan Materi

Zarah radiasi tak bermuatan dan tak bermassa salah satunya adalah sinar-X. Oleh karena tak bermuatan dan tak bermassa, maka radiasi sinar-X saat berinteraksi dengan materi hampir tidak ada hambatan, kecuali tiga efek yang harus diperhatikan, yaitu efek foto listrik, efek Compton serta efek produksi pasangan. Karena tidak bermuatan, maka secara langsung radiasi sinar-X tidak mungkin menimbulkan ionisasi. Akan tetapi pada kenyataannya radiasi sinar-X dapat juga menimbulkan ionisasi sehingga sering disebut radiasi pengion. Peristiwa ionisasi yang terjadi karena adanya elektron yang dihasilkan dari interaksi radiasi sinar-X dengan materi yang menimbulkan ketiga efek tersebut. Elektron yang dihasilkan dari ketiga efek tersebut yang mengionisasikan atom atau molekul materi [6].

Radiasi sinar-X bila mengenai elektron orbital suatu atom dan energinya cukup untuk mendepak elektron maka sebagian energinya akan dipakai sebagai energi untuk mengeluarkan elektron dari kulit elektron. Energi ini disebut sebagai *work function* atau ϕ . *Work function* ini semacam tenaga ikat elektron terhadap inti. Energi yang tersisa diberikan sebagai energi kinetik elektron (E_k) yang terdepak keluar dari atom. Energi radiasi yang datang harus $> \phi$ supaya terjadi efek foto listrik. Jika energi E rendah, maka efek foto listrik terjadi pada elektron yang ada pada kulit terluar. Untuk E tinggi, efek foto listrik terjadi pada elektron yang terletak pada kulit elektron bagian dalam [6].

Dalam setiap peristiwa efek foto listrik ini selalu ada elektron yang terdepak keluar dari orbital dengan membawa energi kinetik sebesar E_k . Pada proses selanjutnya elektron inilah yang menimbulkan ionisasi pada bahan yang dikenai radiasi sinar-X.

Pada efek Compton, radiasi sinar-X mengenai elektron dan hanya sebagian energi radiasinya yang diberikan pada elektron. Sisa energi yang ada tetap dibawa oleh sinar-X yang terhambur.

Produksi pasangan dalam peristiwa ini adalah kejadian pada zarah radiasi sinar-X yang mengenai suatu bahan akan menyerahkan seluruh energi yang dimilikinya dan atom bahan mengubahnya menjadi sepasang elektron dan positron. Efek produksi pasangan terjadi bila radiasi sinar-X mempunyai energi lebih besar dari $E = 2 m_0 c^2$ atau dua massa diam elektron yang mendekati inti atom. Jadi bila energinya paling tidak sama dengan $2 \times 0,51$ MeV atau lebih besar dari 1,02 MeV maka ada kemungkinan terjadi produksi pasangan. peristiwa produksi pasangan ini selalu diikuti oleh proses annihilasi, yaitu proses penggabungan

kembali antara positron hasil produksi pasangan dengan elektron yang banyak terdapat di alam ini, maupun dengan elektron hasil produksi pasangan itu sendiri. Pada peristiwa annihilasi ini akan timbul panas berupa radiasi gamma (γ) berenergi rendah [6].

Efek produksi pasangan penting untuk diperhatikan bila energi radiasi sinar-X tinggi atau lebih besar dari 1,02 MeV. Efek produksi pasangan akan mudah terjadi apabila bahan yang dikenai radiasi mempunyai nomor atom yang tinggi atau harga $Z \gg [6]$.

Hal penting lainnya yang perlu diperhatikan pada peristiwa produksi pasangan adalah terbentuknya elektron yang berenergi 0,51 MeV. Elektron yang terbentuk inilah yang akan menimbulkan peristiwa ionisasi, manakala energi radiasi sinar-X berinteraksi dengan materi. Jadi, walaupun radiasi sinar-X merupakan radiasi yang tidak bermuatan, akan tetapi melalui proses produksi pasangan dapat menimbulkan ionisasi [6].

3. TATAKERJA (BAHAN DAN METODE)

3.1 Alat dan Bahan

Instrumen yang digunakan pada kegiatan ini adalah EDXRF Epsilon5 buatan PANalytical. EDXRF Epsilon5 dilengkapi dengan *3-dimensional polarizing optics* yang dapat mengurangi *background* sehingga mampu meningkatkan limit deteksi [4].



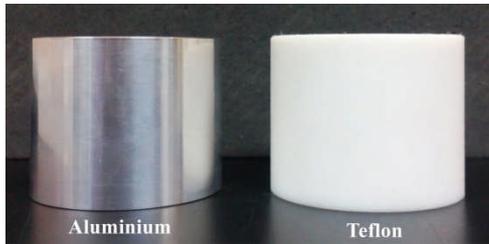
Gambar 2. EDXRF Epsilon5

Bahan yang digunakan dalam kegiatan ini diantaranya adalah *Blank SRM 2783 Air Particulate on Filter Media* yang berdiameter 47 mm serta *sample holder*. *Sample holder* yang digunakan berdasarkan rekomendasi dari pabrik terbuat dari

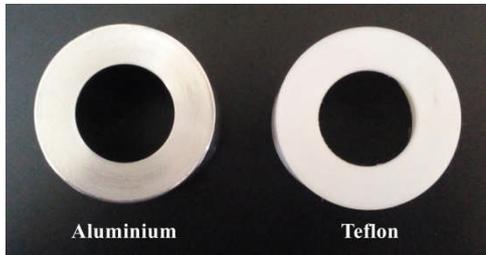
bahan *stainless steel* untuk bagian luar dan aluminium untuk *inserted sample holder*. *Inserted sample holder* dari bahan teflon adalah *sample holder* yang dibuat oleh PSTNT-BATAN Bandung.

3.2 Metode

Penampakan *sample holder* serta cara penggunaan *sample holder* ditampilkan pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 7. Adapun tampak dari samping dan dari atas untuk *inserted sample holder* aluminium dan teflon ditunjukkan oleh Gambar 3 dan 4. Penampakan bagian luar *sample holder* yang terbuat dari *stainless steel* ditampilkan pada Gambar 5. Sedangkan cara penggunaan *sample holder* ditampilkan pada Gambar 6 serta hasil pemasangannya ditampikan pada Gambar 7.



Gambar 3. Tampak samping *inserted sample holder*



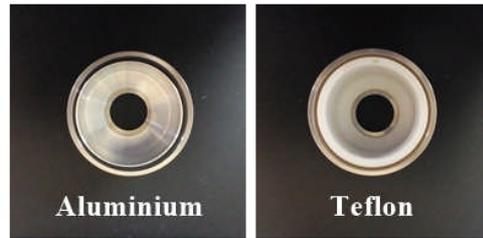
Gambar 4. Tampak atas *inserted sample holder*



Gambar 5. Bagian luar *sample holder* yang terbuat dari *stainless steel*



Gambar 6. Cara penggunaan *sample holder*



Gambar 7. Tampak atas pemasangan *inserted sample holder* dengan bagian luar *sample holder*

Kedua *inserted sample holder* tersebut kemudian diuji dengan melakukan pengukuran sampel *blank SRM 2783 Air Particulate on Filter Media* yang diletakkan pada *sample holder* menggunakan aplikasi *Air Filter* dengan 5 kondisi operasi. Kemudian dilakukan analisis terhadap spektrum hasil pengukuran serta nilai intensitasnya.

Tabel 1. Kondisi operasi pada aplikasi *Air Filter*

Kondisi	Unsur	Secondary Target	kV	mA	Waktu (detik)
1	Na	CaF ₂	40	15	1000
	Mg				
	Al				
	Si				
	S				
2	K	Fe	75	8	600
	Ca				
	Ti				
	V				
3	Cr	Ge	75	8	600
	Mn				
	Fe				
	Co				
	Ni				
4	Cu	Zr	100	6	600
	Zn				
	Pb				
5	Sb	CeO ₂	100	6	600

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

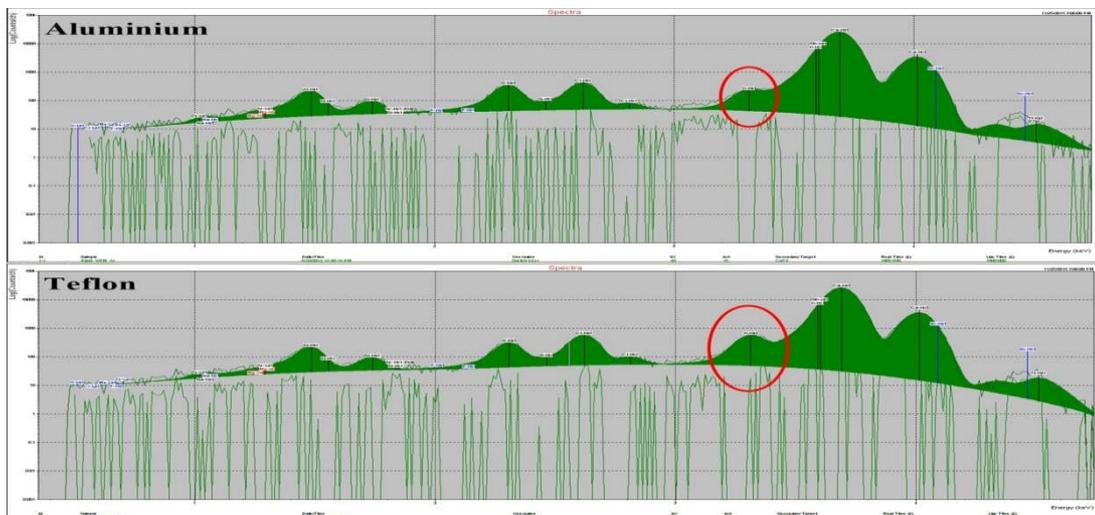
Pada kegiatan ini dilakukan pengujian terhadap pengaruh efek *scattering* penggunaan *inserted sample holder* pada EDXRF Epsilon5. Seperti teori yang ada, bahwa interaksi sinar-X dengan suatu materi dapat menimbulkan tiga efek utama, yaitu *fluorescence*, *Compton scattering* dan *Rayleigh scattering* [1].

Jika suatu radiasi sinar-X ditembakkan ke suatu permukaan material maka sebagian fraksinya akan diteruskan, sebagian akan diserap yang kemudian dari sini dihasilkan radiasi fluoresensi, serta sebagian yang lain dihamburkan balik. Peristiwa hamburan balik ini atau sering disebut dengan istilah *back scattering*, dapat terjadi dengan diikuti hilangnya energi sinar-X maupun tanpa hilangnya energi sinar-X. Peristiwa *back scattering* yang diikuti dengan hilangnya energi sinar-X dinamakan *Compton scattering*, sedangkan *back scattering* tanpa adanya kehilangan energi disebut *Rayleigh scattering*.

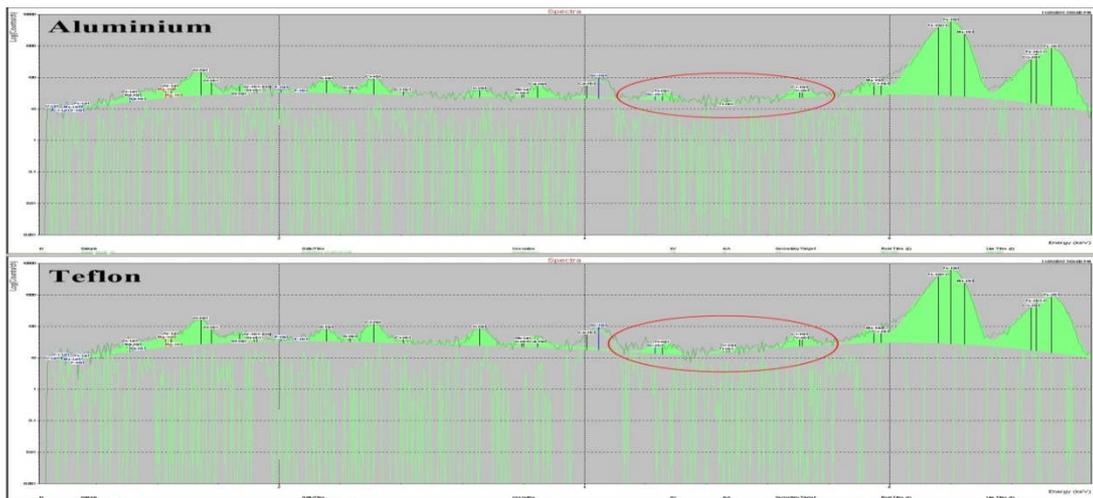
Sample holder merupakan salah satu perangkat keras pendukung yang sangat menentukan terhadap berjalannya fungsi dari EDXRF Epsilon5 sehingga ada bagian tertentu pada *sample holder* yang sudah didesain agar

sesuai dengan tangan robotik yang berada pada Epsilon5. Terdapat dua macam *inserted sample holder* yang masing-masing terbuat dari aluminium dan teflon. Pada kegiatan ini dilakukan pengaruh penggunaan keduanya terhadap hasil pengukuran sampel, terutama terhadap intensitas sinar-X yang dihasilkan. Hal tersebut dilakukan karena terjadinya *fluorescence* dan *scattering* salah satunya dipengaruhi oleh komposisi materialnya [1].

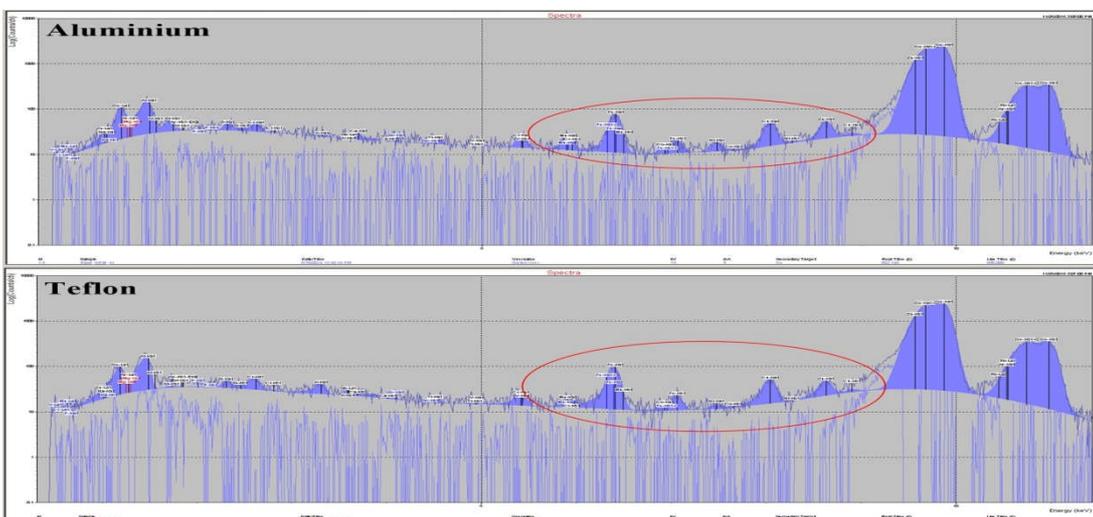
Dalam pengukurannya, digunakan aplikasi *Air Filter* dengan kondisi operasi seperti tertera pada Tabel 1. Hasil pengukuran berupa spektrum sinar-X untuk masing-masing kondisi pengukuran yang dapat dilihat pada Gambar 8. Gambar 8 (a) merupakan spektrum hasil pengukuran pada kondisi 1 dengan lama waktu pengukuran 1000 detik. Spektrum hasil pengukuran pada kondisi 1 pada umumnya tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan untuk pengukuran menggunakan *inserted sample holder* yang terbuat dari aluminium maupun teflon. Spektrum unsur K pada hasil pengukuran menggunakan *inserted sample holder* teflon terlihat sedikit lebih tinggi daripada hasil pengukuran menggunakan *inserted sample holder* aluminium.



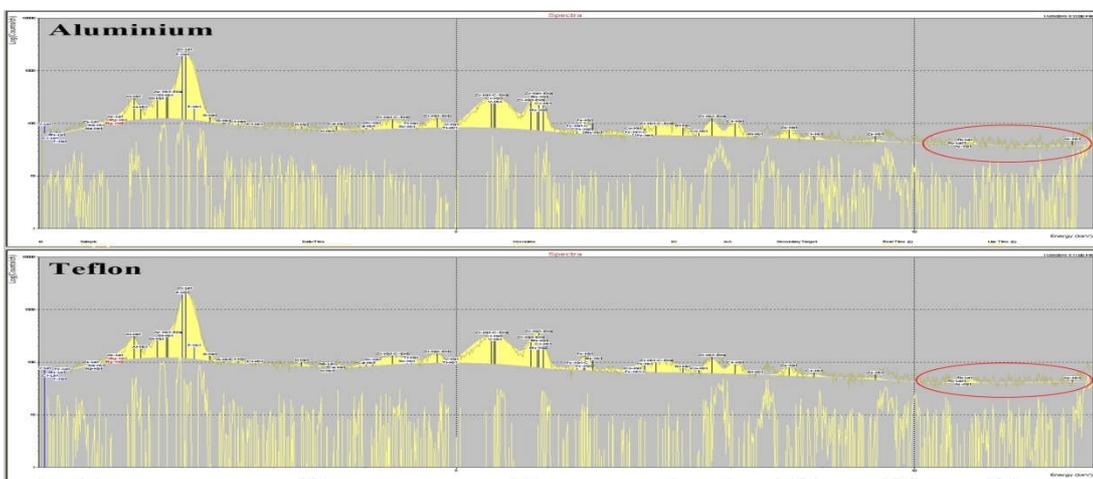
(a)



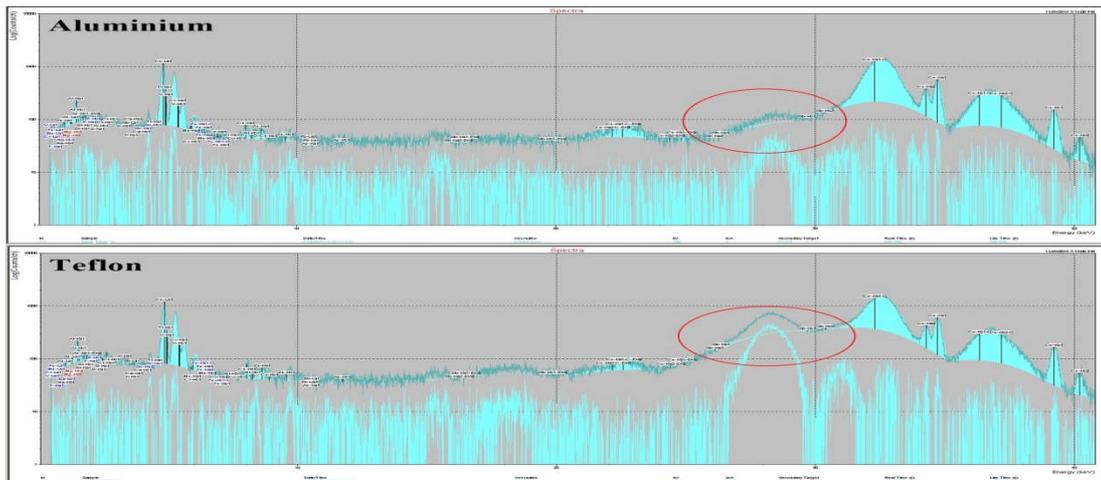
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 8. Spektrum hasil pengukuran (a) Kondisi 1, (b) Kondisi 2, (c) Kondisi 3, (d) Kondisi 4 dan (e) Kondisi 5

Gambar 8 (b) menunjukkan spektrum hasil pengukuran kondisi 2. Kondisi ini digunakan untuk menganalisis empat macam unsur, yaitu Ca, Ti, V dan Cr. Pada spektrum kondisi 2 ini terlihat bahwa untuk unsur Ti, V dan Cr memiliki hasil cacahan yang lebih tinggi ketika menggunakan *inserted sample holder* teflon. Pada Gambar 8 (c) kondisi pengukuran ke-3, dapat dilihat bahwa beberapa unsur memiliki *counts* yang lebih tinggi pada saat pengukuran menggunakan *inserted sample holder* aluminium. Begitupula pada spektrum hasil pengukuran di kondisi 4.

Kondisi terakhir pengukuran, kondisi 5, digunakan untuk menganalisis Sb. Pada Gambar 8 (e) terlihat bahwa *background* pada spektrum hasil pengukuran menggunakan *inserted sample holder* teflon lebih tinggi daripada hasil pengukuran menggunakan *inserted sample holder* aluminium.

Selain dilihat dari spektrum hasil pengukuran pada masing-masing kondisi operasi, juga dilihat intensitas hasil pencacahannya. Intensitas hasil pengukuran untuk semua unsur pada 5 kondisi operasi dapat dilihat pada Tabel 2. Intensitas hasil pengukuran ditampilkan dalam satuan *counts per second* untuk setiap mA arus yang digunakan. Secara keseluruhan intensitas hasil pengukuran tidak mengalami perbedaan yang cukup signifikan baik menggunakan *inserted sample holder* aluminium maupun teflon. Namun untuk beberapa unsur tertentu intensitasnya tidak dapat terkuantifikasi. Hal tersebut dikarenakan di dalam *blank SRM 2783 Air Particulate on Filter Media* memang tidak terdapat unsur tersebut. Di dalam *blank SRM 2783* hanya terdapat sembilan macam

unsur, yaitu Ni, Cr, Al, Na, Ba, Co, Pb, S dan Zn [7].

Tabel 2. Intensitas Hasil Pengukuran

Unsur	Intensitas (cps/mA)	
	Aluminium	Teflon
Na	0,006	0,003
Mg	0,003	0,001
Al	0,193	0,194
Si	0,065	0,06
S	0,278	0,243
K	0,16	0,456
Ca	0,106	0,064
Ti	0,05	0,067
V	0	0,011
Cr	0,078	0,098
Mn	0,037	0,014
Fe	0,219	0,302
Co	0,009	0,005
Ni	0,02	0,009
Cu	0,128	0,14
Zn	0,107	0,098
As	0	0,007
Pb	0,038	0,034
Sb	0	0,214

Apabila dilihat pada Tabel 2, maka untuk unsur V, As dan Sb nilai intensitasnya adalah nol ketika pengukuran dilakukan menggunakan *inserted sample holder* aluminium dikarenakan dalam sampel yang diukur memang tidak terdapat ketiga unsur tersebut. Namun ketika diukur menggunakan *inserted sample holder* teflon, ketiga unsur tersebut memberikan nilai intensitas yang berbeda. Adanya perbedaan tersebut menunjukkan bahwa efek scattering atau besarnya radiasi background lebih besar ketika pengukuran dilakukan menggunakan *inserted sample holder* teflon.

Efek scattering dapat berupa Compton scattering maupun Rayleigh scattering. Pada efek Compton, radiasi sinar-X mengenai elektron dan hanya sebagian energi radiasinya yang diberikan pada elektron. Sisa energi yang ada tetap dibawa oleh sinar-X yang terhambur. Sedangkan pada efek Rayleigh, radiasi sinar-X mengenai elektron dengan energi ikat yang sangat kuat sehingga elektron tetap berada dilintasannya, namun elektron tersebut mengalami osilasi selama radiasi sinar-X mengenainya. Selama peristiwa osilasi tersebut, elektron akan mengeluarkan radiasi yang besarnya setara dengan energi radiasi sinar-X yang mengenainya. Pada atom ringan, efek Compton scattering akan lebih tinggi daripada efek Rayleigh. Semakin tinggi nomor atom suatu unsur, semakin kuat energi ikat elektronnya, maka efek Compton scattering akan semakin berkurang, namun efek Rayleigh scattering akan bertambah [1]. Pada spektrum hasil pengukuran kondisi ke-5 dapat terlihat jelas bahwa efek scattering saat menggunakan *inserted sample holder* teflon lebih tinggi daripada ketika menggunakan *inserted sample holder* aluminium. Kondisi operasi ke-5 digunakan untuk mengukur Sb yang merupakan elemen berat dengan nomor atom 51.

Berdasarkan hasil secara keseluruhan menunjukkan bahwa untuk beberapa unsur tidak menunjukkan adanya perbedaan background menggunakan kedua jenis *inserted sample holder*. Sedangkan untuk unsur tertentu terlihat bahwa background lebih tinggi ketika menggunakan *inserted sample holder* yang terbuat dari teflon. Meskipun demikian, perbedaan background tersebut masih termasuk kecil dan tidak mempengaruhi hasil secara signifikan.

5. KESIMPULAN

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa untuk beberapa unsur tidak menunjukkan adanya perbedaan background menggunakan kedua jenis *inserted sample holder*. Sedangkan untuk unsur tertentu terlihat bahwa background lebih tinggi

ketika menggunakan *inserted sample holder* yang terbuat dari teflon. Meskipun demikian, perbedaan background tersebut masih termasuk kecil dan tidak mempengaruhi hasil secara signifikan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dalam aplikasinya untuk pengukuran sampel pada EDXRF Epsilon5 akan lebih baik jika menggunakan *inserted sample holder* yang terbuat dari aluminium.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada seluruh personil Teknik Analisis Radiometri atas bantuan dan kerjasamanya sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. PETER, B., **Theory of XRF**, Getting acquainted with the principles, PANalytical BV (2010).
2. LUCICA, G.T., RODICA, M.I., RADU, C.F., NELU, I., ILEANA, N.P., Energy dispersive x-ray fluorescence (EDXRF) analysis of steels, *Journal of Science and Art* 2010, Romania, 2 (13)(2010)385-390.
3. DJOKO, P.D.A., DADANG, S., HENGKI, W., Pengujian unjuk kerja sample holder XRF Epsilon5 (Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, 4 Juli 2013), PTNBR-BATAN Bandung, (2013) 405-410.
4. DYAH, K.S., DIAH, D.L., NATALIA, A., Evaluasi Kinerja Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF) Epsilon5 untuk Analisis Partikulat Udara (Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, PTNBR-BATAN Bandung, 04 Juli 2013), Badan Tenaga Nuklir Nasional, Bandung, (2013) 75-82.
5. WORO, Y.N.S., SYUKRIA, K., NATALIA, A., DIAH, D.L., Evaluasi penerapan *energy dispersive x-ray fluorescence* (ED-XRF) untuk analisis *coal fly ash*, (Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, PTNBR-BATAN Bandung, 04 Juli 2013), Badan Tenaga Nuklir Nasional, Bandung, (2013) 272-277.
6. WISNU, A.W., *Teknologi Nuklir Proteksi Radiasi dan Aplikasinya*, Penerbit ANDI (2007) 160-167.
7. NATIONAL INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, Certificate of Standard Reference Material NIST 2783 Air Particulate Matter on filter media, (2011).