

EVALUASI KINERJA *ENERGY DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE (EDXRF) EPSILON 5*

Dyah Kumala Sari¹, Diah Dwiana Lestiani², Natalia Adventini²

¹Alumni Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jalan Tamansari 71, Bandung, 40132, Email: dykuza_27@yahoo.com

²Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri – Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jalan Tamansari 71, Bandung, 40132, Email: diahdwi@batan.go.id

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA *ENERGY DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE (EDXRF) EPSILON 5 UNTUK ANALISIS PARTIKULAT UDARA*. *X-ray fluorescence merupakan salah satu teknik analisis nuklir yang ideal untuk analisis unsur karena merupakan metode analisis yang non-destruktif, cepat dan multi elemen serta dapat mengukur sampai dengan orde sub ppm. Pada kegiatan ini dilakukan evaluasi kinerja Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) Epsilon 5 yang ada di laboratorium PTNBR-BATAN Bandung untuk menjaga unjuk kerja terkait aplikasinya pada pengukuran sampel. Parameter yang dipantau untuk evaluasi kinerja EDXRF Epsilon 5 yaitu zero value, gain value, faktor FANO, noise, Gaussian peak, resolusi detektor serta uji kestabilan pencacahan (chi-square test). Pemantauan dilakukan secara berkala dan hasil pengukuran parameter unjuk kerja alat ditampilkan dalam diagram kendali. Dari hasil pemantauan diperoleh rerata nilai zero value $-1,74 \pm 0,16$ eV, gain value $10,0 \pm 0,01$ eV/Ch, noise $90,2 \pm 0,52$ eV, faktor FANO $0,11 \pm 0,01$, Gaussian peak $38,3 \pm 0,22$ dan FWHM $146 \pm 0,24$ eV. Berdasarkan diagram kendali dapat diketahui bahwa nilai dari keenam parameter yang dipantau selama Agustus 2012 – April 2013 berfluktuasi di sekitar nilai reratanya. Hasil uji kestabilan pencacahan menunjukkan bahwa alat memiliki kestabilan pencacahan yang baik. Berdasarkan hasil evaluasi kinerja EDXRF Epsilon 5 tersebut dapat dinyatakan bahwa unjuk kerja EDXRF Epsilon 5 berada dalam kondisi yang baik dan dapat menjamin mutu hasil pengukuran sampel.*

Kata kunci: *energy dispersive x-ray fluorescence (EDXRF), Epsilon 5, evaluasi, kinerja*

ABSTRACT

EVALUATION OF *ENERGY DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE (EDXRF) EPSILON 5 PERFORMANCE*. *X-ray fluorescence is one of the ideal nuclear analytical technique for elemental analysis because it is a non-destructive analytical method, fast, multi-elements and can be used to measure until the order of sub ppm. In this activity, evaluation of Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) Epsilon 5's performance in the PTNBR-BATAN Bandung laboratory has been done to ensure Epsilon 5 performance related to its application in samples measurement. Several parameters are monitored to evaluate EDXRF Epsilon 5 performance, such as zero value, gain value, FANO factor, noise, Gaussian peak, detector resolution and counting stability test (chi-square test). Monitoring was conducted periodically and the results were presented in the form of control chart. The average monitoring results showed zero value -1.74 ± 0.16 eV, gain value 10.0 ± 0.01 eV/Ch, noise 90.2 ± 0.52 eV, FANO factor 0.11 ± 0.01 , Gaussian peak 38.3 ± 0.22 and FWHM 146 ± 0.24 eV. Based on the control charts, it can be seen that the six parameters that were monitored during August 2012 – April 2013 fluctuate around the average value. Counting stability result showed that EDXRF Epsilon 5 has a good counting stability. From these results, it can be stated that EDXRF Epsilon 5 performance is in good condition and qualified for ensuring measurement results.*

Key words: *energy dispersive x-ray fluorescence (EDXRF), Epsilon 5, evaluation, performance*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan metode analisis untuk penentuan kadar unsur dalam suatu sampel telah banyak dilakukan sehingga diperlukan pemilihan suatu metode yang memberikan hasil yang akurat. Salah satu metode analisis yang dapat memberikan hasil yang akurat adalah menggunakan teknik analisis nuklir. Teknik analisis nuklir dapat menganalisis sampel multi unsur secara simultan tanpa merusak sampel dengan sensitivitas dan selektivitas tinggi [1, 2].

Metode analisis *X-ray Fluorescence* (XRF) merupakan salah satu teknik analisis nuklir yang ideal untuk analisis unsur dalam sampel karena metode ini merupakan metode non-destruktif sehingga sampel dapat dianalisis berulang kali [3]. Selain metode yang non-destruktif, XRF juga merupakan metode analisis yang cepat dan multi elemen serta dapat mengukur sampai dengan orde sub ppm [4, 5].

Laboratorium Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri - Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTNBR-BATAN) Bandung memiliki *Energy Dispersive X-Ray Fluorescence* (EDXRF) Epsilon 5 yang digunakan untuk karakterisasi dan pengukuran kadar unsur pada sampel secara rutin.

Mutu hasil pengukuran suatu sampel tidak terlepas dari kinerja instrumen yang digunakan dalam hal ini EDXRF Epsilon 5. Untuk menjaga kualitas instrumen tersebut, pemantauan dan evaluasi kinerja spektrometer EDXRF Epsilon 5 harus dilakukan secara berkala. Pemantauan kualitas dilakukan dengan mengukur parameter yang menjadi ukuran keandalan suatu instrumen. Parameter yang dimaksud merupakan parameter dari kalibrasi energi yang ada dengan melakukan kalibrasi detektor yang meliputi pengecekan stabilitas *zero value*, *gain value*, faktor FANO, *noise*, *Gaussian peak* serta resolusi dari detektor EDXRF Epsilon 5.

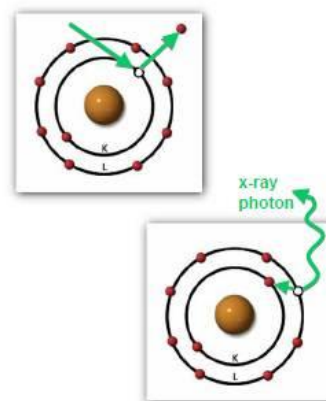
Pada kegiatan ini dilakukan evaluasi kinerja EDXRF Epsilon 5 untuk menjaga unjuk kerjanya terkait aplikasi EDXRF Epsilon 5 untuk pengukuran sampel. Evaluasi yang dilakukan secara berkala meliputi pengukuran *zero value*, *gain value*, faktor FANO, *noise*, *Gaussian peak* serta resolusi dari detektor EDXRF Epsilon 5.

Hasil pengukuran keenam parameter utama yang digunakan sebagai acuan evaluasi kinerja EDXRF Epsilon 5 dicatat dan ditampilkan sebagai diagram kendali. Selain itu juga dilakukan uji kestabilan pencacahan yang dilakukan dengan uji statistik *chi-square test*.

2. TEORI

2.1. XRF (*X-ray Fluorescence*)

Prinsip pengukuran menggunakan XRF adalah berdasarkan peristiwa eksitasi elektron ketika suatu atom pada suatu unsur ditembak atau berinteraksi dengan sinar-X (*X-ray*). Sesuai dengan prinsip Pauli, kekosongan elektron tersebut kemudian akan diisi oleh elektron yang berasal dari orbital luar dan pada saat bersamaan akan selalu disertai dengan keluarnya sinar-X yang karakteristik untuk setiap unsur [6, 7].



Gambar 1. Prinsip dasar XRF [8]

XRF merupakan metode analisis untuk menentukan komposisi kimia dari suatu bahan atau sampel. Sampel dapat berwujud padat, cairan, serbuk, filter atau yang lainnya. Metode ini cepat, akurat dan non-destruktif, serta membutuhkan preparasi sampel yang sederhana. Selain itu presisi dan reproduktibilitas dari analisis menggunakan XRF juga sangat tinggi [9].

2.2. EDXRF Epsilon 5

Epsilon 5 merupakan spektrometer *energy dispersive X-ray fluorescence* yang digunakan untuk analisis unsur kelumit secara berkala, penelitian dan pengembangan, serta dalam kontrol produksi. EDXRF Epsilon 5 dapat digunakan untuk analisis berbagai macam sampel, seperti logam, filter, cairan, *fused beads* dan serbuk [10].

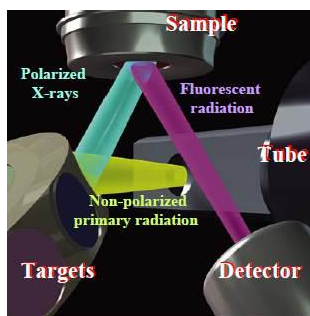
Tabung sumber sinar-X pada EDXRF Epsilon 5 memiliki anoda berupa Tungsten (W) dengan ketebalan 150 μm dan *window* berupa Be yang dapat dioperasikan dengan daya maksimum sebesar 600 W, *range output* tegangan antara 25-100 kV, *range output* arus

antara 0,5-24 mA dan disertai dengan *internal water cooling* [10, 11].



Gambar 2. EDXRF Epsilon 5

EDXRF Epsilon 5 memiliki *3-dimensional polarizing optics* yang dapat mengurangi *background* sehingga mampu meningkatkan limit deteksi. EDXRF Epsilon 5 dengan metode polarisasinya akan menghasilkan eksitasi secara tidak langsung. Berkas sinar-X primer yang berasal dari tabung sumber sinar-X tidak langsung mengenai sampel, namun melalui secondary target terlebih dahulu. Berkas sinar-X sekunder inilah yang kemudian berinteraksi dengan sampel [11].



Gambar 3. Polarizing EDXRF Epsilon 5



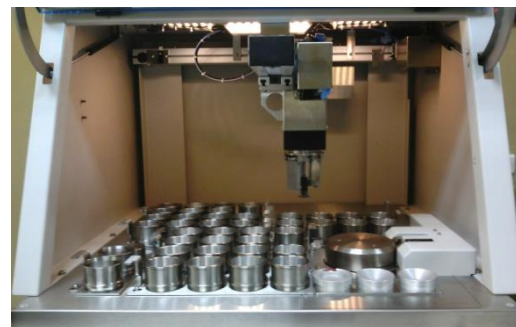
Gambar 4. Secondary target

EDXRF Epsilon 5 juga dilengkapi dengan

integrated X-Y sample changer yang dapat menampung sampai dengan 48 sampel dalam 6 tray yang disediakan untuk sampel dengan diameter 50 mm [12].



Gambar 5. Sample cup untuk penempatan sampel yang akan dianalisis



Gambar 6. Sample changer

2.3. Kalibrasi Detektor

Detektor yang digunakan pada EDXRF Epsilon 5 adalah *X-ray* detektor tipe PAN-32 dengan kristal Germanium yang memiliki dimensi 30 mm² dan ketebalan 5 mm dengan pendingin berupa nitrogen cair dan memiliki efisiensi yang tinggi [10].

Kalibrasi detektor perlu dilakukan untuk menentukan parameter dalam kalibrasi energi, diantaranya adalah *zero* dan *gain value* yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk menjaga stabilitas *zero* dan *gain value* selama melakukan pengukuran menggunakan EDXRF Epsilon 5 serta untuk menentukan nilai parameter lain dalam kalibrasi energi, yaitu *noise* dan faktor FANO [12]. Selain itu juga dapat dilakukan pengamatan terhadap resolusi detektor.

Zero value merupakan energi yang ada di *channel 0 (zero)* dengan satuan eV. *Gain value* merupakan lebar dari setiap channel dengan satuan eV/ch. Energi (eV) untuk setiap nomor *channel i* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$E_i = \text{zero} + (\text{gain} \times i) \quad (1)$$

Istilah *noise* erat kaitannya dengan *noise* elektronik dari *pre-amplifier*, sedangkan faktor FANO berkaitan dengan error pada energi yang diukur. *Noise* dan faktor FANO menunjukkan lebar dan bentuk dari *Gaussian peak* [12] :

$$\sigma_E = \sqrt{\left(\frac{\text{Noise}}{2,35482}\right)^2 + 0,00385 \times \text{FANO} \times E} \quad (2)$$

Resolusi adalah kemampuan detektor untuk memisahkan dua puncak yang saling berdekatan pada spektrum. Resolusi detektor dinyatakan dalam *Full Width Half Maximum* (FWHM) atau lebar setengah tinggi maksimum. Nilai FWHM diukur dari Mn $K\alpha_1$ dengan energi 5,9 keV.

Default setting dari EDXRF Epsilon 5 untuk kalibrasi detektor meliputi *standard*, *high intensity* dan *high resolution*. *Setting high resolution* digunakan untuk pengukuran elemen ringan dan untuk sampel dengan cacah total yang rendah, contohnya seperti filter udara [11].

2.4. Diagram Kendali

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa hasil pengukuran parameter yang digunakan sebagai acuan evaluasi kinerja EDXRF Epsilon 5 dicatat dan ditampilkan sebagai diagram kendali dimana dalam suatu diagram kendali dapat digunakan batas statistik atau batas spesifikasi. Batas peringatan dan batas tindakan digunakan untuk menentukan jika proses berada dalam keadaan terkendali, yaitu menghasilkan keluaran yang stabil dan konsisten. Batas statistik didasarkan pada distribusi kemungkinan dari nilai yang diperoleh melalui data pengukuran [13]. Batas statistik tersebut meliputi :

- Batas peringatan atas = rata-rata + 2 SD
- Batas peringatan bawah = rata-rata - 2 SD
- Batas tindakan atas = rata-rata + 3 SD
- Batas tindakan bawah = rata-rata - 3 SD

Diagram kendali memuat nilai yang kita ukur, dalam hal ini *zero value*, *gain value*, faktor FANO, *noise*, *Gaussian peak* serta resolusi vs waktu pengukuran yang dilakukan secara berkala. Dengan melihat diagram kendali, dapat diketahui kondisi EDXRF Epsilon 5 selama rentang waktu pengukuran. Kondisi EDXRF Epsilon 5 dikatakan baik dilihat dari diagram kendalinya apabila nilai yang diukur berfluktuasi di sekitar reratanya. Artinya grafik unjuk kerja alat tidak menunjukkan kecenderungan naik atau turun.

2.5. Statistik Pencacahan

Sekumpulan data hasil pengukuran intensitas radiasi secara berulang harus mengikuti distribusi Gauss karena intensitas radiasi yang dipancarkan zat radioaktif bersifat random mengikuti distribusi Gauss.

Chi-square test digunakan untuk menguji apakah sekumpulan data mengikuti distribusi normal (Gauss) atau tidak [13]. Nilai *chi-square* (χ^2) dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\chi^2 = \sum \frac{(e_i - \bar{e})^2}{\bar{e}} \quad (3)$$

e_i = nilai cacah tiap pengukuran

\bar{e} = nilai cacah rata-rata selama pengukuran

3. TATA KERJA

3.1. Kalibrasi Detektor

Instrumen yang digunakan pada kegiatan ini adalah EDXRF Epsilon 5 buatan PANalytical.

Evaluasi kinerja EDXRF Epsilon 5 dilakukan selama Agustus 2012-April 2013 dengan melakukan kalibrasi internal detektor rata-rata seminggu sekali. Pengamatan dilakukan dengan melakukan kalibrasi detektor yang meliputi 3 kondisi kalibrasi, yaitu *standard*, *high intensity* dan *high resolution* selama 60 detik untuk masing-masing parameter dengan kondisi pengukuran sebagai berikut.

Tabel 1. Kondisi operasi kalibrasi detektor EDXRF Epsilon 5

Kondisi	kV	mA*	Secondary Target
<i>Standard</i>	100	6	Al ₂ O ₃
<i>High Resolution</i>	100	2,5	Al ₂ O ₃
<i>High Intensity</i>	100	6	Al ₂ O ₃

*automatic current adjustment

Keenam parameter evaluasi kinerja EDXRF Epsilon 5 yang meliputi *zero value*, *gain value*, faktor FANO, *noise*, *Gaussian peak* serta resolusi dari detektor dapat diketahui dari hasil kalibrasi detektor. Penentuan resolusi detektor dilakukan dengan menentukan nilai FWHM (*Full Width Half Maximum*) dari Mn- $K\alpha_1$ [14].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi detektor yang ada pada EDXRF Epsilon 5 perlu dilakukan untuk menentukan

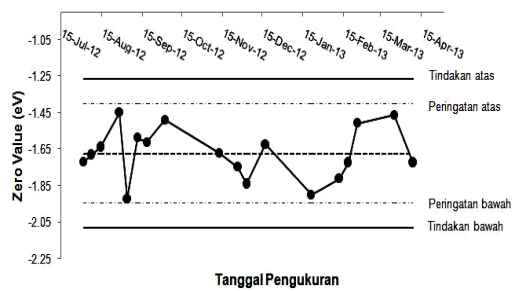
parameter dalam kalibrasi energi, diantaranya adalah *zero* dan *gain value* yang digunakan serta untuk menentukan nilai parameter lain dalam kalibrasi energi, yaitu *noise* dan faktor FANO. Selain untuk menentukan parameter tersebut, kalibrasi detektor juga diperlukan untuk menjaga kestabilan dari parameter tersebut selama alat beroperasi [12].

Kalibrasi detektor EDXRF Epsilon 5 dilakukan secara periodik minimal satu minggu sekali. Hal tersebut dikarenakan validitas kalibrasi detektor EDXRF Epsilon 5 berdasarkan *default setting* dari alat berlaku untuk jangka waktu selama 168 jam atau 7 hari, namun setting ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan [14]. Rerata hasil pemantauan selama bulan Agustus 2012 – April 2013 dapat dilihat pada Tabel 3.

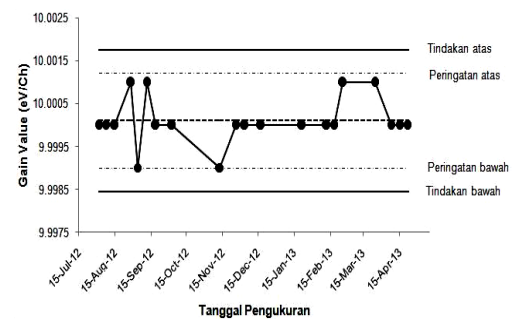
Hasil pemantauan keenam parameter tersebut yang disajikan pada Tabel 3 juga ditampilkan dalam diagram kendali. Gambar 7 sampai dengan Gambar 12 masing-masing secara berurutan menunjukkan diagram kendali keenam parameter yang diamati, yaitu *zero value*, *gain value*, faktor FANO, *noise*, FWHM dan *Gaussian peak*. Masing-masing diagram kendali tersebut menunjukkan nilai dari keenam parameter yang dipantau selama Agustus 2012 – April 2013 berfluktuasi di sekitar nilai reratanya dan tidak mengalami kecenderungan naik atau turun. Selain itu pada keenam diagram kendali tersebut tidak ada data yang melewati batas tindakan atas maupun batas tindakan bawah, tidak terdapat 7 data secara berurutan berada di atas maupun di bawah garis nilai reratanya serta tidak terdapat 7 data secara berurutan yang menunjukkan kenaikan ataupun penurunan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa keenam parameter yang diamati berada dalam kondisi yang baik dan stabil [15, 16, 17].

Tabel 3. Rerata hasil pemantauan kalibrasi detektor EDXRF Epsilon 5 selama Agustus 2012 – April 2013

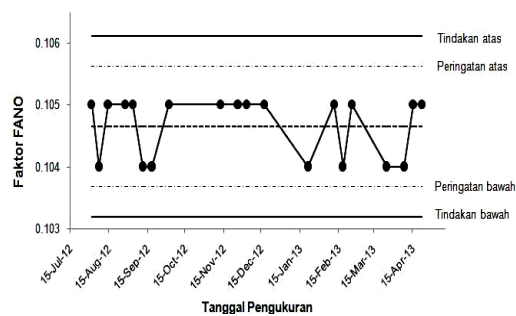
Parameter	Rerata
<i>Zero Value</i> (eV)	$-1,74 \pm 0,16$
<i>Gain Value</i> (eV/Ch)	$10,0 \pm 0,01$
<i>Noise</i> (eV)	$90,2 \pm 0,52$
Faktor FANO	$0,11 \pm 0,01$
<i>Gaussian Peak</i>	$38,3 \pm 0,22$
FWHM (eV)	$146 \pm 0,24$



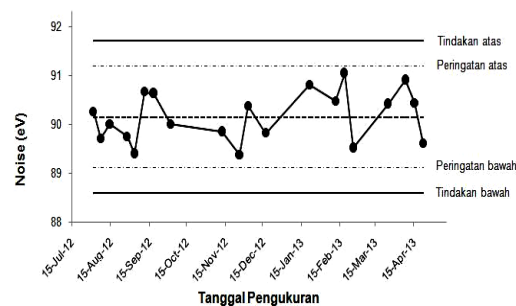
Gambar 7. Diagram kendali zero value



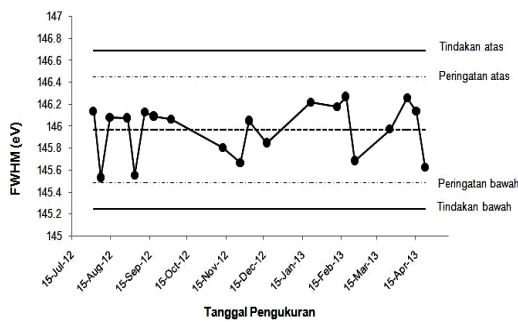
Gambar 8. Diagram kendali gain value



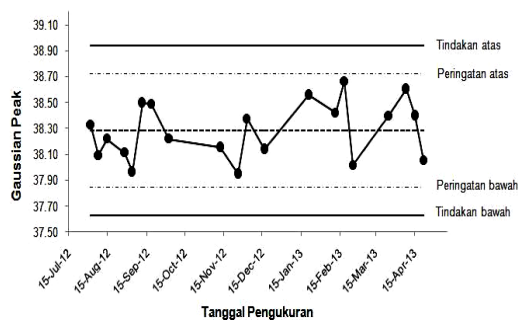
Gambar 9. Diagram kendali faktor FANO



Gambar 10. Diagram kendali noise



Gambar 11. Diagram kendali FWHM



Gambar 12. Diagram kendali Gaussian peak

Kalibrasi detektor yang dilakukan meliputi 3 default setting kondisi pengukuran, yaitu *standard*, *high intensity* dan *high resolution* dimana *high resolution* digunakan untuk pengukuran elemen ringan dan untuk sampel dengan cacah total yang rendah, contohnya seperti filter udara [11].

Zero value, *gain value*, *noise* dan faktor FANO merupakan parameter utama dalam kalibrasi energi [12]. Berdasarkan hasil pemantauan yang telah dilakukan dan dilihat dari diagram kendali yang telah disajikan, dapat diketahui bahwa parameter kalibrasi energi EDXRF Epsilon 5 stabil sehingga instrumen dapat digunakan untuk pengukuran sampel dengan baik.

Noise yang erat kaitannya dengan *noise* dari *pre-amplifier* dan faktor FANO yang menunjukkan *error* pada energi yang diukur, keduanya menggambarkan lebar dan bentuk dari *Gaussian peak* sehingga kestabilan dari keduanya akan mempengaruhi kestabilan dari *Gaussian peak* itu sendiri. Nilai *Gaussian peak* (σ_E) pada kegiatan ini dihitung pada energi $W-K\alpha_1$, yaitu 59,318 keV. Hasil pemantauan *Gaussian peak* dapat dilihat pada Gambar 12 yang menunjukkan bahwa nilai *Gaussian peak* selama Agustus 2012 – April 2013 dalam

kondisi yang stabil.

Kalibrasi energi dilakukan pada energi *W-lines* karena *x-ray tube* EDXRF Epsilon 5 memiliki anoda berupa Tungsten (W). Sedangkan pengamatan nilai resolusi detektor yang ditunjukkan dengan nilai FWHM (*Full Width Half Maximum*) ditentukan dari FWHM $Mn-K\alpha_1$ yang dapat diamati pada hasil kalibrasi detektor sesuai dengan *setting* dari alat. Rerata FWHM hasil pemantauan adalah sebesar $146 \pm 0,24$ eV.

Tabel 4. Hasil uji kestabilan pencacahan detektor

n	Cps/Ch (ei)	\bar{e}	(ei - \bar{e})	(ei - \bar{e}) ²	$\frac{(ei - \bar{e})^2}{\bar{e}}$
1	73.1	66,4	6.64	44.1	0,66
2	65.1	66,4	-1.33	1.77	0,03
3	54.5	66,4	-12.0	143	2,15
4	51.4	66,4	-15.1	227	3,41
5	65.1	66,4	-1.33	1.77	0,03
6	71.3	66,4	4.87	23.7	0,36
7	58.5	66,4	-7.97	63.6	0,96
8	73.1	66,4	6.64	44.1	0,66
9	78.4	66,4	12.0	143	2,15
10	66.0	66,4	-0.44	0.20	0,01
11	72.2	66,4	5.76	33.1	0,50
12	55.8	66,4	-10.6	113	1,70
13	76.6	66,4	10.2	104	1,56
14	50.9	66,4	-15.5	240	3,62
15	71.7	66,4	5.31	28.2	0,43
16	77.5	66,4	11.1	123	1,85
17	54.0	66,4	-12.4	154	2,31
18	61.1	66,4	-5.31	28.2	0,43
19	75.3	66,4	8.86	78.5	1,18
20	77.1	66,4	10.6	113	1,70
21	73.1	66,4	6.64	44.1	0,66
22	65.1	66,4	-1.33	1.77	0,03
23	54.5	66,4	-12.0	143	2,15
				χ^2	25,69

Hasil uji kestabilan pencacahan menggunakan *chi-square test* disajikan dalam Tabel 4. Data pencacahan ini diambil dari spektrum kalibrasi energi pada puncak $W-K\alpha_1$ ($E = 59,3$ keV) dengan nomor *channel* 5933,92919. Dengan menggunakan persamaan *chi-square* (Persamaan 3) diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\chi^2 \text{ hitung} = 25,69$$

$$\chi^2 \text{ tabel} = 14,04 - 30,81$$

Dengan melihat nilai χ^2 hasil pengukuran yang kemudian dibandingkan dengan acuan (χ^2

tabel), dapat diketahui bahwa nilai χ^2 hasil pengukuran masuk dalam rentang nilai χ^2 acuan dengan tingkat kepercayaan sampai dengan 90%.

Dengan demikian dapat diketahui bahwa EDXRF Epsilon 5 memiliki kestabilan pencacahan yang baik.

5. KESIMPULAN

Evaluasi kinerja *Energy Dispersive X-Ray Fluorescence* (EDXRF) Epsilon 5 meliputi pengecekan stabilitas enam parameter, yaitu *zero value*, *gain value*, faktor FANO, *noise*, *Gaussian peak* serta resolusi dari detektor. Berdasarkan hasil pemantauan yang ditunjukkan dengan diagram kendali dapat diketahui bahwa nilai keenam parameter yang dipantau berada dalam kondisi yang baik dan stabil. Hasil uji kestabilan pencacahan detektor berdasarkan *chi-square test* menunjukkan bahwa nilai χ^2 hasil pengukuran masuk dalam rentang nilai χ^2 acuan sehingga dapat diketahui bahwa EDXRF Epsilon 5 memiliki kestabilan pencacahan yang baik. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa kinerja EDXRF Epsilon 5 berada dalam kondisi yang baik dan dapat menjamin mutu hasil pengukuran sampel.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

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

7. DAFTAR PUSTAKA

1. **WATSON, J.G., CHOW, J.C. and FRAZIER, C.A.** "X-ray Fluorescence Analysis of Ambient Air Analysis", Handbook of Elemental Analysis of Airborne Particles, Gordon and Breach Science Publisher, Amsterdam (1999).
2. **FEMKE, D.B.** (2013, May). Elemental analysis of airborne particulates. *Aluminium International Today* [Online]. Available: URL: <http://www.aluminiumtoday.com>
3. **PANalytical.** Ambient air monitoring. PANalytical [Online]. Available from: URL:

- <http://www.panalytical.com>
4. **BROUWER, P.N.** Principles of x-ray fluorescence, PANalytical BV (2002).
 5. **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.
 6. **PIETER, B.** "Theory of XRF", 2nd ed., Panalytical BV, Almelo, Amsterdam (2006).
 7. **WISNU, A.W.** "Teknologi Nuklir, Proteksi Radiasi dan Aplikasinya", Penerbit ANDI, Yogyakarta (2007) 45.
 8. **ANONYM.** Introduction to the quanx. Thermo NORAN [Online]. Available: <http://www.thermo.com>
 9. **PETER, B.** Theory of XRF, Getting acquainted with the principles, PANalytical BV, Almelo, The Netherlands (2003).
 10. **ANONYMOUS.** Epsilon 5, Technical specification, PANalytical BV, Almelo, The Netherlands.
 11. **ANONYMOUS.** Epsilon 5, Leading the way in heavy metals analysis, PANalytical BV, Almelo, The Netherlands.
 12. **ANONYMOUS.** Principles of EDS spectra, PANalytical BV (2005).
 13. **MUHAYATUN.** Ripitabilitas & reproduisibilitas (Diktat pelatihan validasi metode analisis aktivasi neutron K_0), Pusat Pendidikan dan Latihan, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta (2007).
 14. **EPSILON 5 SOFTWARE.** Detector calibration window, PANalytical.
 15. **SYUKRIA, K., DIAH, D.L., PRASETYO, B., MUHAYATUN, S.** Evaluasi unjuk kerja spektrometer gamma untuk analisis aktivasi neutron (Prosiding Seminar Nasional AAN 2008), Sabuga, Institut Teknologi Bandung, Bandung (2008) 286-291.
 16. **SYUKRIA, K., DIAH, D.L., DJOKO, P.D.A.** Penentuan aktivitas beberapa sumber standar titik menggunakan spektrometer gamma (Prosiding Seminar Nasional AAN 2009), Pusat Teknologi Akselerator dan Poses Bahan, Badan tenaga nuklir Nasional, Yogyakarta (2009) 279-284.
 17. **ROBIN, K.** Statistical process control, Part 2, Control chart analysis, Tangram technology, Hitchin, UK (2004).

DISKUSI

Muhayatun

Bagaimana bila salah satunya tidak bagus dari 6 parameter dari unjuk kerja tersebut?

Dyah Kumala Sari

Alat tersebut dicek dicek kembali kondisinya apakah sesuai dengan settingan karena sangat sensitive.

Juliandri

Apakah usia alat berpengaruh terhadap hasil?

Dyah Kumala Sari

Sangat berpengaruh sehingga perlu dilakukan pemantauan.