

UJI PROFISIENSI SAMPEL MATRIK TANAH DAN SEDIMEN SUNGAI DALAM RANGKA PENGENDALIAN MUTU HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM

Th. Rina Mulyaningsih

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, BATAN
Kawasan Puspiptek Gedung 42, Setu, Tangerang Selatan
Email : thrinam@batan.go.id

ABSTRAK

UJI PROFISIENSI SAMPEL MATRIK TANAH DAN SEDIMEN SUNGAI DALAM RANGKA PENGENDALIAN MUTU HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM. Laboratorium AAN-PTBIN telah mengikuti program uji profisiensi melalui uji banding antar laboratorium untuk dua sampel sedimen sungai dan satu sampel biosoil. Uji banding antar laboratorium diikuti oleh 12 Laboratorium dari 8 negara peserta FNCA. Pengujian dilakukan dengan teknik analisis aktivasi neutron. Evaluasi dilakukan berdasarkan nilai z-score dan En-score. Dari 92 hasil yang dilaporkan, 70 memuaskan dengan $|z\text{-score}| \leq 2$, 6 dipertanyakan dengan $2 < |z\text{-score}| < 3$, dan 6 tidak memuaskan dengan $|z\text{-score}| > 3$. Berdasarkan nilai En, 52 memuaskan dengan $|En\text{-score}| \leq 1$ dan 30 nilai tidak sesuai dengan nilai kesepakatan $|En\text{-score}| > 1$. Untuk pengujian analit yang memiliki waktu paruh pendek seperti Ti, V, Mg, dan Al perlu perhatian khusus terutama berkaitan dengan massa sampel dan waktu iradiasi. Untuk analit yang saling berinterferensi seperti Hg dengan Se, Br dengan Mo, Na dengan Sb perlu dilakukan koreksi pada perhitungan kuantitatif.

Kata kunci : Uji profisiensi, sedimen sungai, biosoil, pengendalian mutu

ABSTRACT

PROFICIENCY TESTING OF SOIL AND RIVER SEDIMENT MATRIX SAMPLES IN ORDER TO CONTROL THE QUALITY OF LABORATORY TEST RESULT. AAN-PTBIN Laboratory has followed proficiency testing program through inter laboratory comparisons for the two stream sediment samples and one bio soil sample. Inter laboratory comparisons was followed by 12 laboratories from 8 FNCA participants' countries. Testing is done by neutron activation analysis techniques. Evaluation is based on the value of z-scores and En-score. Of the 92 numerical results reported, 70 is satisfactory with $|z\text{-score}| \leq 2$, 6 is questionable with $2 < |z\text{-score}| < 3$, and 6 do unsatisfactory with $|z\text{-score}| > 3$. Based on the value of En, 52 is satisfactory with $|En\text{-score}| \leq 1$ and 30 the result did not in agreement with the assigned value $|En\text{-score}| > 1$. To elements analyzed that have a short half-life such as Ti, V, Mg, and Al needs special attention, especially related to the sample mass and the irradiation time. For mutually interfering elements such as Hg with Se, Br with Mo, Na with La was needed to be corrected in quantitative calculations.

Key words : Proficiency testing, river sediment, biosoil, quality control

PENDAHULUAN

Program uji profisiensi adalah suatu program yang digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja laboratorium pengujian terhadap kriteria yang telah ditetapkan sesuai kompetensinya, melalui uji banding antar laboratorium. Menurut SNI ISO/IEC 17043:2010 uji banding antar laboratorium dapat digunakan untuk menentukan dan memonitor kesinambungan unjuk kerja laboratorium dalam pengujian tertentu; mengidentifikasi masalah dalam berbagai laboratorium dan

penginisiasi tindakan perbaikan yang diperlukan; menentukan unjuk kerja dari suatu metode pengujian dan menetapkan nilai pada bahan acuan (*reference materials*) [1].

Dalam rangka menentukan unjuk kerja metode analisis aktivasi neutron (AAN) yang digunakan sebagai teknik pengujian di Laboratorium AAN PTBIN dan dalam rangka pelaksanaan pengendalian mutu untuk memantau keabsahan pengujian [2], maka Laboratorium telah mengikuti program uji profisiensi yang

diselenggarakan oleh *Forum for Nuclear Cooperation in Asia* (FNCA). Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mendapatkan nilai konsensus atau nilai kesepakatan dan ketidakpastiannya pada pengujian kandidat bahan acuan, sekaligus melihat performen kinerja laboratorium negara anggota FNCA.

Kegiatan ini diikuti oleh 12 Laboratorium pengujian dari 8 negara anggota FNCA. Masing-masing laboratorium melakukan analisis kandungan analit dalam tiga sampel matrik tanah dan sedimen sungai dengan menggunakan teknik AAN relatif maupun k0. Evaluasi hasil dilakukan oleh Koordinator Uji Profisiensi Asia Pasifik [3].

Dalam makalah ini dilaporkan performen kinerja Laboratorium AAN-PTBIN berdasarkan hasil uji banding antar laboratorium untuk sampel matrik tanah dan sedimen sungai serta identifikasi masalah yang menyebabkan suatu analit tidak lolos dalam pengujian dan tindakan perbaikan yang dapat diambil untuk memperbaiki kinerja laboratorium.

METODOLOGI

Preparasi Sampel

Sampel diterima dari Australia pada bulan Februari 2013, yang terdiri atas : *Hawkesbury river sediment* AGAL-10 (S-1), *Biosoil* AGAL-12 yang merupakan campuran antara limbah lumpur dan tanah liat (S-2) dan sedimen sungai JSd-2 (S-3). S1 dan S2 merupakan kandidat *reference material* dari *National Measurement Institute of Australia* dan S-3 merupakan *reference material* dari *Geological Survey of Japan*.

Preparasi sampel dilakukan sesuai dengan prosedur preparasi sampel yang berlaku di Laboratorium [4]. Sampel ditimbang dalam vial LDPE kapasitas 0,3 ml dengan berat masing-masing 9-10 mg; 19-22 mg dan 35-40 mg dengan replikat tiga kali. Penyiapan sampel dengan berat berbeda ini disesuaikan dengan keperluan yaitu untuk penentuan analit dengan waktu

paruh pendek, medium dan panjang. Sampel tidak ditentukan kadar airnya.

Sebagai komparator digunakan bahan acuan standar dari NIST yaitu SRM 2711 *Montana soil* dan SRM 2704 *Buffalo river sediment*. Preparasi komparator sama dengan preparasi sampel. Untuk iradiasi pendek, sampel dalam vial tidak perlu dibungkus dengan aluminium foil, sedangkan untuk iradiasi medium dan panjang, vial dibungkus dengan aluminium foil.

Iradiasi dan Akuisisi Data

Sampel dan komparator disusun sebagai target, yang mana dalam satu layer terdiri atas 1 komparator dan beberapa sampel. Target kemudian dimasukkan ke dalam kapsul poletilen untuk diiradiasi pendek dan medium, sedangkan untuk iradiasi panjang, target dimasukkan ke dalam kapsul aluminium. Iradiasi dilakukan pada fasilitas iradiasi *Rabbyt System* di Reaktor Serba Guna GA. Sywabessy. Waktu iradiasi, waktu *decay* dan waktu pencacahan seperti tercantum pada Tabel 1. Sinar gamma yang dipancarkan oleh radionuklida hasil aktivasi dicacah dengan detektor HPGe resolusi tinggi yang dirangkai dengan penganalisis puncak multi saluran. Spektrum gamma hasil pencacahan selanjutnya dianalisis dengan perangkat lunak GENIE 2000. Kuantifikasi dilakukan dengan metode relatif dengan dibandingkan terhadap bahan acuan standar sebagai komparator. Evaluasi data dilakukan oleh Koordinator Pelaksana Uji Profisiensi.

Evaluasi

Performen laboratorium dievaluasi dengan membandingkan hasil yang dilaporkan oleh laboratorium terhadap nilai kesepakatan yang diperoleh dari nilai yang dilaporkan oleh laboratorium peserta uji banding, dengan menggunakan *Z-score* dan *En-score* [5].

Tabel 1. Kondisi Pengujian Sampel Uji Profisiensi

Fluks neutron	Waktu iradiasi	Waktu decay	Waktu pencacahan	Analit ditentukan
$\sim 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}\text{S}^{-1}$	15 detik	5-7 menit	200 detik	Al, Mg, Mn, Ti, V
	900 detik	3-4 hari	900 detik	As, Br, K, La, Lu, Mo, Na, Sm, Yb
	7200 detik	2-3 minggu	7200 detik	Ba, Ce, Co, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, Nd, Sb, Sc, Se, Th, U, Zn, Zr

1. Z-score

Z-score digunakan untuk mengukur seberapa besar perbedaan hasil yang dilaporkan peserta uji banding terhadap nilai kesepakatan. Rumus yang digunakan yaitu :

$$z = \frac{(x-X)}{\sigma} \quad (1)$$

dengan:

z = z-score
x = nilai hasil pengujian oleh laboratorium
X = nilai kesepakatan
 σ = standar deviasi target

Untuk perhitungan standar deviasi didasarkan pada fungsi Horwitz [6], dengan mengikuti persamaan berikut, dimana c adalah fraksi massa analit (misal ppm = 10^6 atau % = 10^{-2}).

$$\sigma = \begin{cases} 0.22 * c & \text{if } c < 1.2 * 10^{-7} \\ 0.02 * c^{0.8495} & \text{if } 1.2 * 10^{-7} \leq c \leq 0.138 \\ 0.01 * c^{0.5} & \text{if } c < 0.138 \end{cases}$$

Standar deviasi σ juga dapat ditetapkan berdasarkan koefisien variasi hasil uji antar peserta uji profisiensi, dimana :

CV \leq 5 % maka $\sigma_p = 5$ %
 \leq 10 % $\sigma_p = 10$ %
 \leq 15 % $\sigma_p = 15$ %
 $>$ 15 % $\sigma_p = 20$ %

z-score diinterpretasikan sebagai berikut :
 $|z| \leq 2$ memuaskan (kompeten)
 $2 < |z| < 3$ diperingatkan (*questionable*, berarti hasil analisis belum termasuk tidak memuaskan, tetapi sudah dalam batas diperingatkan)
 $|z| \geq 3$ tidak memuaskan

2. En-score

Digunakan untuk menunjukkan seberapa dekat hasil yang dilaporkan tiap peserta uji profisiensi sesuai dengan nilai kesepakatan, dengan mempertimbangkan nilai ketidakpastiannya.

$$E_n = \frac{(x-X)}{\sqrt{U_x^2 + U_X^2}} \quad (2)$$

dengan :

En = En-score
x = hasil uji dari laboratorium peserta
X = nilai kesepakatan
 U_x = ketidakpastian diperluas dari hasil laboratorium peserta

U_x = ketidakpastian diperluas dari nilai kesepakatan

En-score diinterpretasikan sebagai berikut
 $|En| \leq 1$ memuaskan
 $|En| > 1$ diperingatkan (*questionable*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil evaluasi performen laboratorium melalui pengujian bahan matrik sedimen dan tanah dengan teknik AAN-relatif diberikan pada Tabel 2-4 [3]. Pada pengujian *Hawkesbury river sediment* AGAL-10 (Sampel-1), dapat dikuantifikasi 31 analit. Performen laboratorium dievaluasi berdasarkan z-score dan En-score, dimana z-score menunjukkan akurasi hasil pengujian sedangkan En menunjukkan presisi. Untuk Sampel-1 dari 31 analit dilaporkan 22 analit memiliki $|En-score| \leq 1$ (berarti memuaskan) dan 9 analit $|En-score| > 1$ (hasil tidak sesuai dengan nilai kesepakatan). Berdasarkan z-score 18 analit memiliki $|z-score| \leq 2$ (memuaskan), 5 analit yaitu Br, Ce, K, La, dan Se memiliki $2 < |z-score| < 3$ (diperingatkan), dan 1 analit Mg memiliki $|z-score| > 3$ (tidak memuaskan).

Pada pengujian *Biosoil* AGAL-12 (Sampel-2), dapat dikuantifikasi 31 analit. dilaporkan 17 analit memiliki $|En-score| \leq 1$ (berarti memuaskan), 9 analit $|En-score| > 1$ (hasil tidak sesuai dengan nilai kesepakatan) dan 5 analit tidak dievaluasi karena hanya 2-3 laboratorium yang melaporkan hasil pengujian untuk analit tersebut. Berdasarkan z-score 24 analit memiliki $|z-score| \leq 2$ (memuaskan), 1 analit yaitu Na memiliki $2 < |z-score| < 3$ (diperingatkan), dan 1 analit Ti memiliki $|z-score| > 3$ (tidak memuaskan).

Pada pengujian sedimen sungai JSd-2 (Sampel-3), dapat dikuantifikasi 29 analit. dilaporkan 16 analit memiliki $|En-score| \leq 1$ (berarti memuaskan), 11 analit $|En-score| > 1$ (hasil tidak sesuai dengan nilai kesepakatan) dan 2 analit Hg dan Sb tidak dievaluasi karena hanya 2 laboratorium yang melaporkan hasil pengujian untuk analit tersebut. Berdasarkan z-score, 23 analit memiliki $|z-score| \leq 2$ (memuaskan), dan 3 analit K, Na dan Se memiliki $|z-score| > 3$ (tidak memuaskan).

Dari hasil evaluasi uji banding ketiga sampel dengan matrik tanah dan sedimen, untuk analit vanadium, titanium, aluminium dan magnesium ternyata memiliki En-score dan z-score melebihi batasan dan masuk dalam kriteria hasil tidak memuaskan atau tidak sesuai dengan nilai kesepakatan. Keempat analit tersebut memiliki bentuk radionuklida dengan waktu paruh pendek, V-52 dengan $t_{1/2} = 3,75$ menit, Ti-51 dengan $t_{1/2} = 5,76$ menit, Al-28 dengan $t_{1/2} = 2,24$ menit, dan Mg-27 dengan $t_{1/2} = 9,46$ menit [7]. Apabila dicermati nilai hasil pengujian laboratorium dari keempat analit dalam ke-tiga sampel diuji ada yang lebih rendah dari nilai kesepakatan, dan ada juga yang lebih

tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa untuk analisis analit dengan waktu paruh pendek sumber kesalahan dalam pengujian dapat bersifat acak maupun sistematis. Kedepan perlu diperhatikan untuk analisis analit dengan waktu paruh pendek diantaranya massa sampel tidak boleh terlalu banyak, lama aktivasi harus tepat hal ini berkaitan dengan paparan radiasi sampel pasca iradiasi. Apabila paparan terlalu tinggi maka sampel harus *dideelay* karena *dead time* pada saat pencacahan >10%, kondisi ini menyebabkan sering kehilangan analit tertentu karena sudah habis meluruh ataupun hasil pencacahan tidak sebanding antara sampel dan standar.

Tabel 2. Hasil evaluasi z-score dan En-score terhadap hasil pengujian Sampel-1

Analit	Konsentrasi (mg/kg)	Ketidak pastian (mg/kg)	Nilai Kesepakatan (mg/kg)	Ketidak pastian (mg/kg)	Z-score	En-score
Al	38458	432,4	42456	3726	-1,88	-1,07
As	20,09	0,42	20,03	1,034	0,02	0,05
Ba	201,9	10,27	195,4	22,21	0,33	0,27
Br	34,37	1,7	43,14	6,58	-2,03	-1,29
Ce	59,08	2,55	48,42	2,89	2,2	2,77
Co	11,62	0,19	10,91	0,57	0,43	1,19
Cr	114,7	3,11	119,2	9,89	-0,38	-0,43
Cs	2,94	0,08	3,1	0,21	-0,35	-0,74
Eu	0,88	0,04	0,81	0,09	0,44	0,7
Fe	21574	697	21524	935,9	0,05	0,04
Hf	6,74	0,09	7,6	0,83	-0,76	-1,04
Hg	12,92	0,28	11,95	2,36	0,54	0,41
K	7881	240	8971	669	-2,43	-1,53
La	31,45	1,51	24,21	1,89	2,99	2,99
Lu	0,36	0,01	-	-	-	-
Mg	3606	133,8	4656	1967	-4,51	-0,53
Mn	266	12,81	265,5	13,57	0,02	0,03
Mo	13,97	0,01	-	-	-	-
Na	7494	253,1	7295	380	0,55	0,44
Nd	23,34	2,02	20,66	2,84	0,86	0,77
Sb	10,41	0,2	10,61	0,47	-0,13	-0,39
Sc	7,05	0,03	7,16	0,17	-0,1	-0,62
Se	5,39	0,45	8,91	3,33	-2,63	-1,05
Sm	4,53	0,09	4,41	0,22	0,18	0,52
Th	10,17	0,09	10,5	1,06	-0,21	-0,31
Ti	3220	150,9	3465	665,7	-1,41	-0,38
U	2,2	0,11	2,3	0,37	-0,3	-0,26
V	53,58	1,15	53,79	5,35	-0,85	-0,35
Yb	1,82	0,08	2,08	0,22	-0,84	-1,11
Zn	81,99	1,23	71,34	5,98	1,49	1,75
Zr	249,2	4,06	264,6	33,27	-0,58	-0,46

Ada beberapa analit yang tidak masuk kriteria pada evaluasi hasil uji banding ini, disebabkan karena adanya interferensi dengan analit lain. Sebagai contoh

bromium pada Sampel-1, pada saat analisis digunakan Br-82 dengan energi gamma 776.5 keV yang berinterferensi dengan Mo-99 pada energi gamma 778

keV. Se-75 dengan energi gamma 279.5 keV berinterferensi dengan Hg-203 pada energi gamma 279,2 keV. Na-24 dengan energi gamma 1368,6 keV berinterferensi dengan Sb-124 pada energi gamma 1368,2 keV. Yang menarik adalah analit Hf, pada ke-tiga sampel diuji memiliki nilai z-score

bagus yaitu $|z\text{-score}| \leq 2$ (memuaskan) tetapi nilai $|En\text{-score}| > 1$, yang disebabkan ketidakpastian diperluas dari nilai konsentrasi dilaporkan lebih rendah dari ketidakpastian diperluas dari nilai kesepakatan.

Tabel 3. Hasil evaluasi z-score dan En-score terhadap hasil pengujian Sampel-2

Analit	Konsentrasi (mg/kg)	Ketidak pastian (mg/kg)	Nilai Kesepakatan (mg/kg)	Ketidak pastian (mg/kg)	Z-score	En-score
Al	46825	619,8	44790	3536	0,91	0,57
As	4,35	0,27	4,79	0,42	-0,61	-0,88
Ba	282,4	13,93	293,4	14,47	-0,37	-0,55
Br	12,51	0,67	11,71	2,31	0,46	0,33
Ce	60,29	0,53	57,49	5,41	0,49	0,52
Co	9,9	0,18	10,06	0,54	-0,11	-0,28
Cr	56,83	1,65	69,94	11,43	-1,87	-1,14
Cs	2,65	0,09	2,83	0,19	-0,42	-0,86
Eu	0,92	0,04	0,89	0,05	0,14	0,37
Fe	26881	554,7	27891	869	-0,72	-0,98
Hf	11,08	0,12	12,46	0,71	-0,74	-1,91
Hg	0,66	0,15	-	-	-	-
K	8942	308,4	9444	513,6	-1,06	-0,84
La	25,45	0,23	27,48	2,36	-0,74	-0,86
Lu	0,54	0,01	-	-	-	-
Mg	4272	82,47	4584	1281	-1,36	-0,24
Mn	620,2	1329	545,9	40,07	1,36	1,76
Na	2646	105	2318	109	2,83	2,16
Nd	15,61	2,17	13,20	1,98	1,22	0,82
Sb	1,46	0,07	1,86	0,18	-1,43	-2,11
Sc	7,31	0,04	7,56	0,31	-0,22	-0,8
Se	1,2	0,12	-	-	-	-
Sm	4,79	0,07	5,16	0,46	-0,48	-0,79
Th	10,52	0,1	11,07	1,24	-0,33	-0,44
Ti	2444	43,32	4610	573	-9,4	-3,77
U	2,55	0,12	2,98	0,22	-0,96	-1,72
V	71,39	1,17	60,56	5,37	1,79	1,97
Yb	2,38	0,1	2,84	0,35	-1,09	-1,26
Zn	194	5,54	190	15,01	0,21	0,25
Zr	392,8	14,9	391,4	58,03	0,04	0,02

Tabel 4. Hasil evaluasi z-score dan En-score terhadap hasil pengujian Sampel-3

Analit	Konsentrasi (mg/kg)	Ketidak pastian (mg/kg)	Nilai Kesepakatan (mg/kg)	Ketidak pastian (mg/kg)	Z-score	En-score
Al	62589	900,1	65151	2377	-0,79	-1,01
As	37,26	0,74	38,6	1,19	-0,35	-0,96
Ba	1128	467,1	1199	33,38	-0,59	-0,15
Ca	28002	932,2	26144	3146	1,42	0,57
Ce	23,43	0,34	23,4	0,98	0,01	0,03
Co	47,34	0,69	48,4	0,91	-0,22	-0,93
Cr	107,9	7,66	108	5,17	-0,01	-0,01
Cs	1,01	0,09	1,07	0,09	-0,28	-0,48
Eu	0,83	0,03	0,81	0,03	0,12	0,51
Fe	73977	1504	81483	2836	-1,84	-2,34
Hf	2,43	0,06	2,7	0,25	-0,67	-1,05

Tabel 4. Hasil evaluasi z-score dan En-score terhadap hasil pengujian Sampel-3 (lanjutan)

Analit	Konsentrasi (mg/kg)	Ketidak pastian (mg/kg)	Nilai Kesepakatan (mg/kg)	Ketidak pastian (mg/kg)	Z-score	En-score
Hg	0,45	0,18	-	-	-	-
K	8076	208,9	9505	693	-3,01	-1,98
La	10,88	0,13	11,3	0,39	-0,25	-1,02
Lu	0,35	0,01	0,25	0,25	3,6	0,39
Mg	17113	448,2	16471	2369	0,78	0,27
Mn	894,9	27,7	929	42,4	-0,37	-0,67
Na	15211	283	18086	702,5	-3,18	-3,8
Nd	15,61	2,17	13,2	1,98	1,22	0,82
Sb	10,37	0,22	-	-	-	-
Sc	16,63	0,44	17,5	0,56	-0,33	-1,22
Se	7,73	0,57	-	-	-3,9	-1,4
Sm	2,8	0,04	2,68	0,08	0,3	1,4
Th	2,45	0,04	2,33	0,15	0,34	0,76
Ti	3324	232,4	3681	197,9	-1,94	-1,17
U	1,06	0,1	1,1	0,14	-0,18	-0,24
V	127,3	4,26	125	4,84	0,18	0,36
Yb	1,52	0,09	1,67	0,25	-0,6	-0,57
Zn	1906	31,17	2056	86,37	-0,73	-1,63

KESIMPULAN

Dari kegiatan uji profisiensi melalui uji banding antar laboratorium dapat diketahui performen Laboratorium AAN-PTBIN dalam pengujian analit dalam sampel matrik tanah dan sedimen sungai. Dari 92 nilai hasil yang dilaporkan: 70 memiliki $|z\text{-score}| \leq 2$ (memuaskan), 6 $2 < |z\text{-score}| < 3$ (dipertanyakan), 6 $|z| > 3$ (tidak memuaskan), 52 $|En\text{-score}| \leq 1$ (memuaskan), 30 $|En\text{-score}| > 1$ (hasil tidak sesuai dengan nilai kesepakatan). Untuk pengujian analit yang memiliki waktu paruh pendek seperti Ti, V, Mg, dan Al perlu perhatian khusus terutama berkaitan massa sampel dan waktu iradiasi. Untuk analit yang saling berinterferensi seperti Hg dengan Se, Br dengan Mo, Na dengan Sb perlu dilakukan koreksi pada perhitungan kuantitatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Siti Suprpti AMd dan Istanto S.ST yang telah membantu pada pekerjaan preparasi dan pencacahan. Terimakasih juga disampaikan kepada koordinator Uji Profisiensi Dr. John Bennett atas kerjasamanya.

DAFTAR PUSTAKA

1. ISO/IEC 17043:2010, Conformity Assessment—General Requirements for Proficiency Testing
2. ISO/IEC 17025:2005 General Requirements for The Competence of Testing and Calibration Laboratories.
3. Proficiency Study AQA 13-99 Neutron Activation Analysis, National Measurement Institute, Australian Government, May 2013.
4. JOHN BENNETT, Proficiency Testing in The Asia-Pacific Region Coordinated Through the Forum for Nuclear Cooperation in Asia, IAEA workshop on Inter-comparison Feedback of NAA and other Analytical Techniques PT Performed in 2012-2013, Viena, May 2013.
5. RALUCATA LAVETZ, Statistical Manual-Chemical Proficiency Testing-NMI North Ryde, National Measurement Institute, Australian Government, Doc no.3, Issue 3.3, page 1-15, 2012.
6. THOMPSON, M., Recent trends in inter-laboratory precision at ppb and sub-ppb concentrations in relation to fitness for purpose criteria in proficiency testing, Analyst, 125, 385-386, 2000.

7. IAEA, Practical Aspects of Operating a neutron activation analysis laboratory, IAEA-Tecdoc-564, Viena, 1990.