

KOMPARASI HASIL ANALISIS SPEKTRUM GAMMA MENGUNAKAN BATAN BANDUNG NAA UTILITY DENGAN PERANGKAT LUNAK KOMERSIAL GENIE-2000

Diah Dwiana Lestiani, Syukria Kurniawati, Woro Yatu Niken Syahfitri, Natalia Adventini

Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan-PSTNT, Jl. Tamansari 71, Bandung 40132
Email: diahdwi@batan.go.id

ABSTRAK

KOMPARASI ANALISIS SPEKTRUM GAMMA MENGGUNAKAN BATAN BANDUNG NAA UTILITY DENGAN PERANGKAT LUNAK KOMERSIAL GENIE-2000. Teknik analisis aktivasi neutron berbasis metode relatif telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang karena mempunyai akurasi dan presisi yang sangat baik. Akan tetapi karena berbagai keterbatasan metode relatif, memacu berkembangnya AAN berbasis metode absolut k0. Untuk menunjang sasaran tersebut, BATAN Bandung telah menghasilkan software BATAN Bandung-NAA Utility untuk analisis spektrometri Gamma untuk digunakan dalam program analisis spektrum pada software k0. Pada penelitian ini dilakukan validasi software BATAN Bandung-NAA Utility dengan mengaplikasikannya pada analisis berbagai Standard Reference Material-SRM lingkungan, serta komparasi hasil analisis spektrum gamma menggunakan perangkat lunak BATAN-Bandung NAA Utility dengan perangkat lunak komersial lainnya seperti Genie-2000. Hasil validasi menggunakan SRM lingkungan NIST 2711a Montana Soil dan NIST 1633b Coal Fly Ash menunjukkan hasil validasi yang memiliki kesesuaian yang baik dengan nilai sertifikat. Nilai recovery untuk unsur waktu paro pendek seperti ^{28}Al , ^{139}Ba , ^{49}Ca , ^{56}Mn , ^{51}Ti , ^{239}U dan ^{52}V memiliki rentang 93.2-104.3%, untuk unsur waktu paro sedang seperti ^{24}Na , ^{42}K , ^{76}As , ^{153}Sm dan ^{140}La berkisar 85.4-106.2% dan untuk unsur waktu paro panjang ^{59}Fe , ^{51}Cr , ^{60}Co , ^{75}Se dan ^{65}Zn berkisar 96.1-117.8%. Komparasi hasil analisis menggunakan perangkat lunak BATAN Bandung NAA Utility dengan Genie-2000 juga dilakukan dengan menghasilkan perbandingan untuk sampel makanan unsur Fe, Zn dan Se masing-masing memiliki rasio 0.77-1.03; 0.81-0.92 dan 0.73-1.28. Untuk sampel rambut unsur-unsur Fe, Zn, Se, dan Co memiliki rasio berkisar 0.72-1.31. Secara umum, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa software BATAN Bandung-NAA Utility memiliki kemampuan analisis spektrum yang sebanding dengan software komersial sejenis.

Katakunci: BATAN Bandung-NAA Utility, metode absolut k0, spektrometri gamma, Genie-2000

ABSTRACT

COMPARISON OF SOFTWARE ANALYSIS GAMMA SPECTRUM BATAN BANDUNG NAA UTILITY WITH COMMERCIAL SOFTWARE GENIE-2000. Neutron activation analysis based on relative method is widely used in many fields due to its good accuracy and precision. But this method has limitation which enforcing the development of NAA based on k0 method. In supporting the development of k0 method, BATAN Bandung has made a program software utility named BATAN Bandung NAA Utility to analyze spectrum from gamma spectrometry to be used as one of internal program in k0-BATAN software. In this study, the validation of software BATAN Bandung NAA utility through its application in analysis of environmental standard reference materials-SRM, and also comparison the results with other commercial spectrum analysis software Genie-2000 was performed. The results of validations using SRM NIST 2711a Montana Soil and 1633b coal fly ash showed good agreements with the certificate values. Recovery for short lived radionuclides like ^{28}Al , ^{139}Ba , ^{49}Ca , ^{56}Mn , ^{51}Ti , ^{239}U and ^{52}V were in the range of 93.2-104.3%, while for medium lived radionuclides ^{24}Na , ^{42}K , ^{76}As , ^{153}Sm and ^{140}La were 85.4-106.2%, and for long lived radionuclides ^{59}Fe , ^{51}Cr , ^{60}Co , ^{75}Se and ^{65}Zn were 96.1-117.8%. Comparison the results of analysis using BATAN Bandung NAA Utility with Genie-2000 were also applied which resulted in the ratio of both analysis for Fe, Zn and Se in food samples were 0.77-1.03; 0.81-0.92 and 0.73-1.28, respectively. For Fe, Zn, Se and Co in hair samples the ratios were in the range of 0.72-1.31. These results showed that characteristically the

software BATAN Bandung NAA utility has a good and valid quality and comparable with other commercial softwares.

Keywords: BATAN Bandung NAA Utility, k0 absolute method, NAA, gamma spectrometry, Genie-2000

1. PENDAHULUAN

Analisis aktivasi neutron (AAN) yang digunakan di BATAN umumnya menggunakan metode relatif/komparatif yang memiliki berbagai keterbatasan seperti permasalahan matriks, fluks neutron, biaya, waktu dan lain sebagainya. Pada metode ini, sampel diiradiasi bersamaan dengan standar selanjutnya dianalisis secara kuantitatif dengan membandingkan konsentrasi sampel dengan standar yang telah diketahui pasti besar konsentrasinya. Prosedur ini membutuhkan preparasi standar, yang memerlukan waktu cukup lama, tenaga dan biaya yang cukup besar. Terlebih lagi, beberapa unsur yang ada di dalam sampel tidak dapat dianalisis kuantitatif apabila standar unsur tersebut tidak tersedia. Untuk mengatasi berbagai kendala dalam metode kuantitatif tersebut, metode k0 mulai dikembangkan oleh *Institute of Nuclear Science, Gent, Belgium* [1,2].

Pada metode ini, kuantifikasi unsur-unsur dalam suatu cuplikan, dihitung berdasarkan formulasi dari Frans de Corte yang tidak bergantung pada ketersediaan unsur standar. Metode ini memerlukan penentuan parameter fluks seperti rasio fluks neutron termal dan epitermal f , dan α dengan melakukan iradiasi fluks monitor [2]. Metode k0 ini mulai dikembangkan diberbagai negara dan sudah mulai luas diaplikasikan baik di India, Korea, Brazil, China dan negara-negara di Eropa [3-8]. BATAN sendiri mulai mengaplikasikan metode k0 dengan menggunakan software k0-IAEA dan saat ini sedang dalam tahap pengembangan perangkat lunak k0 versi BATAN. Salah satu pelengkap perangkat lunak k0 BATAN ini adalah sebuah program bantu spektrometri gamma yang dikembangkan oleh tim k0-BATAN. Telah dikembangkan sebuah program bantu spektrometri gamma dengan menggunakan bahasa pemrograman Delphi 7, yang diberi nama BATAN-Bandung NAA Utility [9]. Program ini membantu pengguna dalam menganalisis secara lengkap suatu data spektrum gamma yang berasal dari sistem perangkat *multi channel analyzer* MCA. Program yang dikembangkan secara ramah pengguna dengan tampilan grafis yang sangat interaktif ini menyediakan 3 metode dalam pencarian puncak, yakni: Mariscotti, Hypermeth dan *Close-Peak*. Program ini mampu membentuk sampai 2×10^4 *region of interest* (ROI) serta

memisahkan sampai 20 puncak yang saling berimpitan dalam satu ROI. Pencarian puncak tersebut dapat dilakukan baik secara otomatis maupun manual. Program ini mampu membaca dan memproses berbagai format arsip data, antara lain: Aptec 5.4 dan 6.3, PCA-I, II dan III, Canberra S-100 dan AccuSpec, serta IEC-1455. Keluaran dari program ini adalah: lokasi, bentuk dan luasan puncak spektrum, nilai MDA, serta identifikasi isotop. Program ini menyediakan pula utilitas untuk memperkirakan lokasi puncak *escape* dan *sum* dalam suatu spektrum. Untuk itu maka program dilengkapi dengan pustaka isotop sangat lengkap, yang diperoleh dari arsip ENDF-B/VII.0, yang terdiri dari 16000 baris energi lebih dan mencakup lebih dari 1480 isotop [9].

Pada penelitian ini dilakukan validasi *software* Bandung-NAA Utility dengan mengaplikasikan *software* tersebut pada analisis sampel standar bahan acuan/*standard reference materials* (SRM) produk dari *National Institute of Standard and Technology* (NIST). Dan komparasi hasil analisis spektrum BATAN Bandung NAA Utility dengan perangkat lunak komersial lainnya (Aptec dan Genie-2000). Pada penelitian kali ini, kegiatan difokuskan pada aplikasi *software* untuk analisis SRM lingkungan (NIST 2711a *Montana Soil* dan NIST 1633b *Coal Fly Ash*) serta komparasi hasil analisis spektrum dengan perangkat lunak komersial seperti Genie-2000 untuk sampel matriks makanan, rambut dan galian pasir.

2. TEORI

Dalam melakukan validasi harus mencakup spesifikasi persyaratan penetapan karakteristik metode, pengecekan bahwa persyaratan dapat dipenuhi dengan menggunakan metode dan pernyataan validitas. Rentang ukur dan akurasi nilai diperoleh dari metode yang divalidasi perlu ditetapkan seperti ketidakpastian hasil, batas deteksi, linieritas, batas dari riptabilitas dan atau reproduksibilitas. Pada validasi dilakukan karakteristik yang dinilai meliputi beberapa aspek parameter diantaranya sebagai berikut:

- Akurasi (ketepatan, *accuracy*)
- Presisi (*precision*)
- Perolehan kembali (*recovery*)

1. Akurasi

Akurasi dinyatakan sebagai ukuran seberapa dekat nilai hasil analisis rata-rata yang diperoleh dari sejumlah pengukuran berulang terhadap nilai sesungguhnya. Beberapa parameter yang digunakan untuk menunjukkan akurasi suatu hasil pengujian antara lain:

a. Relatif bias

Menyatakan nilai penyimpangan atau bias suatu hasil pengujian terhadap nilai sesungguhnya. Nilai ini dapat menunjukkan akurasi suatu nilai pengujian. Nilai uji dianggap sebagai akurat atau memiliki akurasi yang tinggi apabila relatif bias sama dengan nol.

$$\text{Bias} = \frac{\text{Analysis value} - \text{true value}}{\text{True value}} \times 100\%$$

b. Z-score

Nilai ini dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Z score} = \frac{\text{Analysis value} - \text{certificate value}}{\sigma} \times 100\%$$

dengan σ (simpangan baku). Untuk menyatakan suatu hasil pengujian bisa diterima, maka Z biasanya digunakan nilai ± 2 dengan tingkat kepercayaan 95%.

2. Presisi

Presisi ditentukan melalui sejumlah populasi data hasil pengukuran berulang. Indikator untuk presisi biasanya digunakan simpangan baku atau standar deviasi, σ , yang menunjukkan variasi populasi data yang diperoleh. Makin rendah nilai σ , maka data yang diperoleh akan saling berdekatan dan ini berarti presisi hasil pengukuran yang dilakukan lebih baik.

3. Perolehan kembali (*recovery*)

Merupakan perolehan kembali hasil pengujian dimana *recovery* 100% menunjukkan nilai pengujian yang baik. Semakin besar nilai *recovery*, hal ini menunjukkan tingkat perolehan kembali yang baik. *Recovery* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Recovery} = \frac{\text{Analysis value}}{\text{True value}} \times 100\%$$

3. TATAKERJA

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah berbagai standar tritisol E-Merck, acuan

standar, SRM lingkungan (NIST 2711a *Montana Soil* dan NIST 1633b *Coal Fly Ash*) serta berbagai sampel makanan, rambut, partikulat udara, dan pasir. Peralatan yang digunakan adalah spektrometer gamma multi saluran dengan detektor HPGe, fasilitas iradiasi *Rabbit System* Reaktor G.A. Siwabessy Serpong serta peralatan laboratorium lainnya.

Preparasi Sampel dan Standar

Sampel SRM dikeringkan dalam oven selanjutnya ditimbang menggunakan neraca mikro seberat 25 mg, lalu dimasukkan ke dalam vial PE ukuran 0,273 mL dan ditutup dengan *seal* panas. Untuk standar campuran yang akan digunakan dalam metode relatif, dilakukan menggunakan standar campuran ICP yang tertelusur ke NIST dengan konsentrasi campuran bervariasi setiap unsur 0.1-100 μg . Sampel, bahan acuan dan standar masing-masing dikemas dalam vial polietilen, untuk proses iradiasi sedang dan panjang, sampel dan standar disusun dalam satu *layer*, kemudian dibungkus aluminium foil selanjutnya dimasukkan ke dalam kapsul aluminium untuk iradiasi masing-masing selama 15 menit dan 2 jam. Sedangkan untuk proses iradiasi pendek, 2 buah sampel diiradiasi bersama dengan satu buah standar dalam kapsul PE selama 2 menit. Untuk sampel matriks makanan, sampel ditimbang dan dihaluskan dengan menggunakan blender bermata titan. Sampel yang telah halus kemudian dimasukkan ke dalam labu bundar berukuran 250 mL dan dikondisikan pada suhu -40°C selama satu malam di dalam freezer. Sampel kemudian dipasangkan pada alat freeze dryer. Pengeringan beku dilakukan pada suhu -55°C selama kurang lebih 2x24 jam sampai diperoleh bobot konstan. Sampel yang telah kering digerus menggunakan lumpang dan alu berbahan teflon di dalam ruang laminar air flow, kemudian dihaluskan dengan mortar agate hingga berukuran 200 mesh. Sampel yang telah halus dimasukkan ke dalam wadah polietilen dan dikocok selama 5-10 menit hingga homogen. Selanjutnya sampel ditimbang seberat 25-40 mg untuk dimasukkan ke dalam vial siap iradiasi. Hal yang sama dilakukan untuk sampel rambut yang telah dipotong-potong dan dibersihkan selanjutnya dikeringkan. Sampel siap untuk ditimbang seberat 25 mg untuk dimasukkan ke dalam vial untuk siap iradiasi. Demikian juga dengan sampel matriks lain seperti partikulat udara yang diperoleh dalam bentuk filter, dilipat dan dimasukkan ke dalam vial yang selanjutnya disegel panas untuk siap diiradiasi. Sedangkan untuk sampel pasir yang masih basah, sampel perlu dikeringkan terlebih dahulu, untuk siap ditimbang dan dimasukkan ke dalam vial.

Iradiasi dan Pencacahan

Iradiasi dilakukan di fasilitas iradiasi di RSG-GAS pada fluks neutron termal $\sim 10^{13}$ n.cm².det⁻¹. Setelah diiradiasi pendek cuplikan langsung dicacah setelah dibiarkan meluruh selama 3-5 menit, untuk cuplikan iradiasi sedang sampel dibiarkan meluruh selama 24 jam sedangkan untuk sampel iradiasi panjang selama 1–2 minggu, sebelum dicacah. Pencacahan sampel dan standar dilakukan menggunakan detektor sinar gamma resolusi tinggi, dengan efisiensi relatif detektor HPGe 25% dan 35%, pada posisi di atas detektor dengan jarak 10 mm. Untuk pengukuran waktu paro pendek pencacahan dilakukan selama 100-200 detik, sedangkan untuk waktu paro sedang dan panjang, pencacahan dilakukan 1000 – 5000 detik. Analisis kualitatif dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GENIE 2000, selanjutnya diolah lebih lanjut menggunakan aplikasi BATAN-Bandung NAA Utility. Untuk spektrum hasil pengukuran dari MCA yang akan diolah menggunakan BATAN-Bandung NAA Utility dilakukan terlebih dahulu konversi spektrum menggunakan ConvertCAM Batch Version konversi dari ekstensi .cnf menjadi .cam, agar file tersebut dapat dibaca oleh program bantu ini

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis spektrum secara kualitatif untuk masing-masing unsur pada sampel bahan acuan standar SRM *Montana Soil* dan *Coal Fly Ash* dilakukan menggunakan software BATAN-Bandung NAA Utility. Hasil analisis untuk unsur berbagai unsur pada sampel SRM *Montana Soil* dan *Coal Fly Ash* masing-masing dirangkum pada Tabel 1 dan Tabel 2. Parameter validasi berupa bias, dan *recovery* menunjukkan bahwa nilai analisis menggunakan software Bandung NAA utility memiliki nilai yang akurat dan presisi hampir untuk keseluruhan unsur. Dari Tabel tersebut dapat dilihat bahwa untuk kesemua unsur memberikan akurasi yang sangat baik, dimana bias berada pada rentang -6.8-17.8%. Demikian halnya dengan uji % *recovery* memberikan rentang sebesar 93,7-117,8 %. Untuk nilai bias terbesar pada unsur Se, hal ini disebabkan oleh konsentrasi yang sangat kecil dimana pengukuran tujuh buah SRM menghasilkan bias yang cukup besar, akan tetapi bias tersebut masih masuk ke dalam batas keberterimaan untuk level Se yang berada dalam level satuan ppm, dengan batas keberterimaan sebesar 80-120 % [13]. Pada Tabel 2 rangkuman hasil perhitungan kadar unsur pada SRM *Coal Fly Ash* juga memberikan nilai bias (-9,6-17,5 %) dan *recovery* (90,4-117,5 %) yang baik. Nilai bias dan *recovery* terbesar terdapat pada hasil pengukuran unsur Sm, akan tetapi nilai ini masih berada dalam batas keberterimaan (80-120 %).

Tabel 1. Resume hasil perhitungan konsentrasi unsur pada SRM NIST2711a Montana Soil

No	Unsur	Hasil Analisis (mg/kg)	Sertifikat (mg/kg)	%Bias relatif	% Rec
1	Al	63122 ± 4420	67200 ± 600	-6,1%	93,9%
2	Ba	745 ± 267	730 ± 15	2,1%	102,1%
3	Ca	22691 ± 3005	24200 ± 600	-6,2%	93,8%
4	Mn	653 ± 25	675 ± 18	-3,3%	96,7%
5	Ti	3307 ± 384	3170 ± 80	4,3%	104,3%
6	U	2.9 ± 0,9	3 ± 0,12	-3,3%	96,7%
7	V	75 ± 5,6	80,7 ± 5,7	-7,1%	92,9%
8	Na	12742 ± 251	12000 ± 100	6,2%	106,2%
9	K	24261 ± 520	25300 ± 1000	-4,1%	95,9%
10	As	107 ± 3	107 ± 5	0,0%	100,0%
11	La	36 ± 1	38 ± 1	-5,3%	94,7%
12	Sm	6 ± 0,2	5,93 ± 0,28	1,2%	101,2%
13	Fe	28297 ± 225	28200 ± 400	0,3%	100,3%
14	Cr	50 ± 1,8	52,3 ± 2,9	-4,4%	95,6%
15	Co	10 ± 0,3	9,9 ± 0,2	1,0%	101,0%
16	Se	2.4 ± 0,3	2	17,8%	117,8%
17	Zn	410 ± 8	414 ± 11	-1,0%	99,0%

Tabel 2. Resume hasil perhitungan konsentrasi unsur pada SRM NIST 1633b Coal Fly Ash

No	Unsur	Hasil Analisis (mg/kg)	Sertifikat (mg/kg)	%Bias relatif	% Rec
1	Al	150514 ± 9117,18	150500 ± 2700	0,0%	100,0%
2	Ba	683 ± 79	709 ± 27	-3,6%	96,4%
3	Ca	14328 ± 2107	15100 ± 600	-5,1%	94,9%
4	Mn	134 ± 7,2	131.8 ± 1.7	2,0%	102,0%
5	Ti	7911 ± 361,54	7910 ± 140	0,0%	100,0%
6	U	9,0 ± 0,42	8.79 ± 0.36	2,3%	102,3%
7	V	303 ± 6,71	295.7 ± 3.6	2,5%	102,5%
8	Na	1917 ± 5	2010 ± 30	-4,6%	95,4%
9	K	21464 ± 204	19500 ± 300	10,1%	110,1%
10	As	123 ± 1	136.2 ± 2.6	-9,6%	90,4%
11	La	101 ± 2	94	7,5%	107,5%
12	Sm	23 ± 0,2	20	17,5%	117,5%
13	Fe	77809 ± 308,5	77800 ± 2300	0,0%	100,0%
14	Cr	198 ± 1,06	198.20 ± 4.70	0,1%	100,1%
15	Co	50 ± 0,4	50.0	0,0%	100,0%
16	Se	10 ± 1,1	10.3 ± 0.2	1,8%	101,8%
17	Zn	210 ± 1,3	210.0	0,2%	100,2%

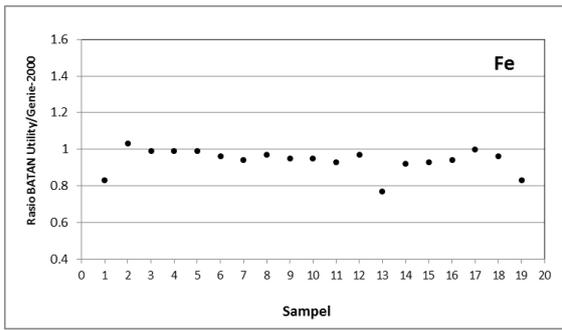
Untuk uji presisi dilakukan perhitungan pada unsur Fe pada SRM Montana Soil yang dirangkum pada Tabel 3. Dari Tabel 3 dilakukan pengulangan sebanyak 7 kali menghasilkan nilai presisi masing-masing sebesar 4,3 %, yang menunjukkan kepresisian yang bagus untuk hasil analisis menggunakan *software* Bandung NAA utility.

Tabel 3. Uji presisi pada SRM Montana Soil

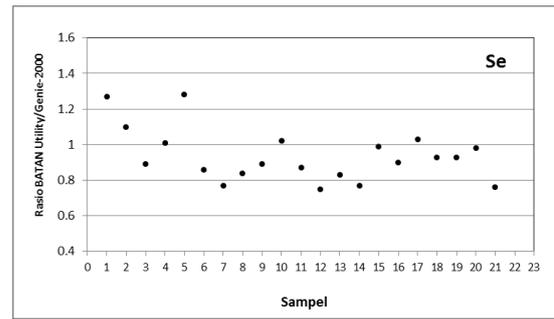
Nama	Kadar Fe (mg/kg)	Unc (mg/kg)	%CV
SRM Montana Soil 1	28596	264	4,3%
SRM Montana Soil 2	30159	134	
SRM Montana Soil 3	27104	253	
SRM Montana Soil 4	29464	177	
SRM Montana Soil 5	26990	155	
SRM Montana Soil 6	28361	292	
SRM Montana Soil 7	27407	297	
Rerata	28297	225	

Untuk komparasi kedua hasil analisis spektrum pada berbagai matriks sampel, dilakukan komparasi untuk matriks sampel makanan, rambut, partikulat udara dan pasir. Gambar 1 - Gambar 3 menunjukkan rasio perbandingan hasil menggunakan BATAN-Bandung NAA Utility dan Genie-2000. Hasil yang diperoleh menggunakan BATAN-Bandung NAA utility dan Genie menghasilkan rasio untuk unsur Fe, Zn dan Se

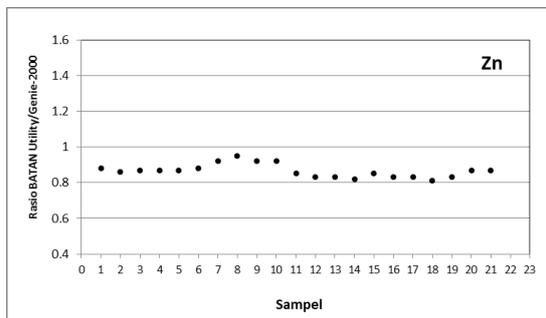
masing-masing sebesar, 0,77-1,03; 0,81-0,92, dan 0,75-1,28. Komparasi antara hasil pengolahan menggunakan BATAN-Bandung NAA Utility dengan Genie-2000 pada sampel makanan untuk unsur Fe, Zn dan Se memberikan kesesuaian dengan bias pada rentang 3-28 %. Untuk unsur Fe dan Zn memiliki kesesuaian sangat baik, kecuali untuk Se yang memberikan bias maksimal 28 %. Untuk unsur Se, bias yang cukup besar ini disebabkan oleh kadar Se yang berada pada level 0.01 ppm=10 ppb. Dengan batas keberterimaan untuk kadar pada level 10 ppb adalah 25-30 %, maka hasil yang diperoleh masih berada dalam batas keberterimaan yang diperbolehkan [13]. Untuk unsur ⁶⁵Zn dengan waktu paro 243,8 hari, yang ditentukan menggunakan energi gamma pada 1115 keV, umumnya sulit teridentifikasi dan terROI dengan baik karena adanya *overlapping* dengan puncak ⁴⁶Sc ($t_{1/2}$ 83,8 hari) di energi 1120 keV dan puncak ¹⁵²Eu ($t_{1/2}$ 13.4 tahun) di energi 1112 keV. *Software* Genie-2000 jika dibandingkan dengan BATAN-Bandung NAA Utility dalam penentuan luas puncak Zn, Genie-2000 terkadang tidak mampu dengan baik menentukan puncak Zn dengan baik.



Gambar 1. Rasio pengukuran kadar Fe menggunakan BATAN Bandung NAA Utility vs Genie-2000



Gambar 3. Rasio pengukuran kadar Se menggunakan BATAN Bandung NAA Utility vs Genie-2000



Gambar 2. Rasio pengukuran kadar Zn menggunakan BATAN Bandung NAA Utility vs Genie-2000

Sedangkan hasil analisis pada sampel rambut dirangkum pada Tabel 4. Hasil rasio perbandingan menggunakan BATAN-Bandung NAA Utility dan Genie-2000 untuk unsur Fe, Zn, Se dan Co masing-masing berkisar 0,72-1,12, 1,01-1,05; 0,78-1,31 dan 0,94-1,04. Rasio ini memiliki kesesuaian yang baik untuk semua unsur, kecuali agak terjadi bias cukup besar untuk unsur Se. Sebagaimana unsur Se pada matriks makanan, unsur pada konsentrasi yang sangat minim, memiliki batas keberterimaan yang cukup besar akan tetapi masih berada dalam batas keberterimaan. Hasil ini juga diperkuat dan dibuktikan dengan validasi unsur Se pada matriks makanan memberikan hasil yang valid.

Tabel 4. Rasio analisis pada sampel rambut menggunakan NAA utility dan Genie-2000

Fe (mg/kg)			Zn (mg/kg)			Se (mg/kg)			Co (mg/kg)		
BATAN	Genie	Rasio	BATAN	Genie	Rasio	BATAN	Genie	Rasio	BATAN	Genie	Rasio
67,15	61,40	1,09	527,27	528,66	1,00	0,679	0,614	1,11	0,051	0,054	0,94
35,65	32,58	1,09	149,19	151,91	1,02	0,951	0,785	0,82	0,071	0,071	0,99
127,71	121,58	1,05	196,22	200,61	1,02	0,786	0,614	0,78	0,101	0,099	1,02
134,54	128,65	1,05	198,20	202,61	1,02	0,807	0,952	1,18	0,056	0,060	0,94
106,17	95,00	1,12	178,49	180,72	1,01	0,642	0,840	1,31	0,071	0,071	1,01
109,72	109,48	1,00	106,72	109,06	1,02	1,000	1,137	1,14	0,072	0,069	1,04
44,53	55,87	0,80	117,17	117,94	1,01	0,804	1,048	1,30	0,079	0,078	1,02
69,15	75,28	0,92	47,03	49,19	1,05	0,590	0,647	1,10	0,048	0,048	1,01
68,62	95,07	0,72	85,35	87,61	1,03	1,608	1,293	0,80	0,052	0,052	1,01

Tabel 5. Rasio analisis pada sampel pasir menggunakan BATAN Bandung NAA Utility dan Genie 2000

Genie	Na (mg/kg)		Genie	As (mg/kg)		Genie	K (mg/kg)	
	NAA utility	Rasio		NAA utility	Rasio		NAA utility	Rasio
4075,7	3908,1	1,04	7,8	8,8	0,89	1373,2	1284,3	1,07
4808,5	3999,1	1,20	17,3	17,9	0,97	1981,2	1729,0	1,15
4330,0	4129,3	1,05	9,5	9,4	1,02	1694,4	1469,0	1,15
4250,4	3525,7	1,21	13,6	13,3	1,02	1923,7	1565,4	1,23
1350,5	1219,3	1,11	8,4	9,1	0,92	599,1	496,3	1,21
2880,1	2366,2	1,22	10,7	11,5	0,93	1161,5	1018,8	1,14
10002,5	10193,4	0,98	15,2	15,9	0,95	2851,9	2764,4	1,03
7917,6	8439,1	0,94	13,5	15,5	0,87	1729,6	1916,2	0,90
7751,6	9077,2	0,85	19,8	19,8	1,00	1921,9	2358,4	0,81
1032,8	1179,1	0,88	13,8	13,8	1,00	3711,9	3388,2	1,10
3062,4	3062,4	1,00	1,9	1,9	1,00	738,7	621,4	1,19
1616,7	1649,8	0,98	4,8	4,8	1,00	543,2	395,5	1,37
2126,9	2200,6	0,97	1,0	1,0	1,00	214,2	178,1	1,20
2326,4	2399,6	0,97	2,2	2,1	1,07	307,6	296,6	1,04
2409,9	2409,9	1,00	35,7	30,7	1,16	3713,7	3883,6	0,96
2744,1	2827,1	0,97	26,1	26,7	0,98	2728,5	2310,3	1,18

Komparasi antara hasil pengolahan menggunakan BATAN-Bandung NAA Utility dengan Genie-2000 pada sampel galian pasir, analisis unsur waktu paro sedang Na, As dan K memberikan nilai rasio sebesar masing-masing 0,9-1,2; 0,9-1,2 dan 0,8-1,4. Rasio persampel dirangkum pada Tabel 5. Dari tabel tersebut dapat terlihat untuk unsur K terdapat satu sampel yang memiliki rasio terbesar. Pengecekan ulang pada ROI sampel tersebut telah dilakukan tetapi tidak memberikan perubahan hasil yang signifikan. Akan tetapi secara keseluruhan untuk K menunjukkan rasio berata-rata 1.1. Untuk Na dan As rasio yang diperoleh menunjukkan nilai perbandingan yang tidak berbeda secara signifikan. Secara umum, rata-rata nilai rasio antara pengolahan Genie dan BATAN-Bandung NAA Utility memberikan kesesuaian yang baik dengan bias pada rentang 1-11 %.

5. KESIMPULAN

Telah dilakukan validasi dan komparasi hasil analisis spektrum gamma menggunakan BATAN Bandung NAA Utility dan software komersial lainnya seperti Genie-2000. Hasil validasi menggunakan SRM lingkungan (NIST 2711a Montana Soil dan NIST 1633b Coal Fly Ash).

menunjukkan hasil validasi yang memiliki kesesuaian yang baik dengan nilai sertifikat. Untuk validasi matriks lingkungan nilai recovery untuk unsur-unsur waktu paro pendek seperti Al, Ba, Ca, Mn, Ti, U dan V memiliki rentang 93,2 – 104,3 %, untuk unsur waktu paro sedang seperti Na, K, As, Sm dan La berkisar 85,4 – 106,2 % dan untuk unsur waktu paro panjang Fe, Cr, Co, Se dan Zn berkisar 96,1 – 117,8 %.

Untuk sampel rambut unsur-unsur Fe, Zn, Se, dan Co memiliki rasio masing-masing 0.72-1.12, 1,01-1,05; 0,78-1,31 dan 0,94-1,04. Secara umum, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa *software* BATAN Bandung-NAA Utility memiliki kemampuan analisis spektrum yang sebanding dengan *software* komersial sejenis. Hasil yang diperoleh dalam analisis berbagai unsur pada SRM dan komparasi hasil pada sampel berbagai matriks menghasilkan akurasi dan presisi yang baik serta rasio yang baik, hasil ini mampu menunjukkan bahwa *software* tersebut mempunyai kualitas yang valid dan sebanding dengan *software* komersial sejenis. *Software* BATAN Bandung NAA Utility ini akan dikembangkan lebih lanjut menjadi satu kesatuan dengan *software* k0 BATAN.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan apresiasi kepada Bapak Ilham Yazid yang memberikan kesempatan untuk memverifikasi *software* analisis spektrum gamma BATAN Bandung NAA Utility yang merupakan karya beliau. Ucapan terimakasih kepada para staf peneliti dan staf laboratorium di kelompok Teknik Analisis Radiometri, BATAN Bandung serta pihak-pihak lain terkait staf PRSG dan staf PTBM yang menunjang terlaksananya penelitian ini

7. DAFTAR PUSTAKA

1. A. SIMONITS, FRANK DE CORTE, J HOSTE. J. Radioanal. Nucl. Chem., Vol.24 (1975) 31.
2. FRANZ DE CORTE, The ko- Standardization Method, A Move to The Optimization of Neutron Activation Analysis. Nuversitie Gent;1987
3. ROSSBACH.M, BLAAUW M, BACCHI, M.A,XILIE LIN, The k0-IAEA Program, J Radioanal Nucl Chem 274 (2007) 657-662.
4. WOITTIEZ, J.R.W. Theoretical aspects of the introduction of the Ko method for INAA using the ECN low flux reactor, ECN Report. 1989
5. RAMAKRISHNA,V.V.S., ACHARYA,R.N., REDDY,A.V.R., GARG,A.N, Use of gold as monostandard for determination of elemental concentrations in environmental SRMs and Gangga river sediments by the Ko method, Applied Radiation and Isotopes 55 (2001) 595-602.
6. J.H.MOON, H.M. DUNG, S.H.KIM, Y.S.CHUNG. Implementation of the k0-NAA method by using k0-IAEA software and the NAA#3 irradiation hole at the HANARO research reactor. J. Radioanal, Nucl. Chem., Vol.280, No.3 (2009), 439-444.
7. DAVI B MARIANO, ANA MARIA G. AND RENATO SEMMLER. Preliminary Results for the k0-INAA methodology Implementation at The Neutron Activation Analysis Laboratory, LAN-IPEN using k0-IAEA software. Proceeding of International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2009, Brazil.
8. WOITTIEZ,J.R.W., RIJKEMA,J.E., ROVERS,J.B., MEERMAN,L., NIERCKX,F.J.M., Practical aspects of the introduction of the Ko method for INAA using the ECN low flux react, , BATAN-Bandung NAA Utiliy: Sebuah Program Bantu Spektrometri Gamma, Prosiding Seminar AAN 2008.
9. DAMASTUTI, E., MUHAYATUN, KURNIAWATI, S., ADVENTINI, N., Penentuan Unsur Zn dalam Beberapa Cuplikan Makanan Siap Santap Menggunakan Analisis Aktivasi Neutron, Prosiding Seminar AAN 2008, Bandung 2008.
10. IAEA TecDoc 330, 1985. Health Related Monitoring of Trace Element Pollutants Using Nuclear Techniques, IAEA, Vienna, 2005
11. LESTIANI, D.D., MUHAYATUN, ADVENTINI, N., Penentuan Unsur Kelumit dalam Cuplikan Rambut Menggunakan Teknik Analisis Aktivasi Neutron, Prosiding Seminar AAN 2008, Bandung 2008.
12. AOAC Guidelines for Single Laboratory Validation for Chemical Methods for dietary supplements and botanicals, 19 December 2002, available at www.aoac.org.