

PERBANDINGAN METODE ANALISIS PENGAKTIPAN NEUTRON DENGAN PENCACAHAN NEUTRON KASIP UNTUK MENENTUKAN JUMLAH KANDUNGAN THORIUM-232 DALAM BATUAN TAMBANG

Soeleman, H. Suyamto, Trisno Apriyanto
P3TM-BATAN, Kotak Pos 1008, Yogyakarta 55010

ABSTRAK

PERBANDINGAN METODE ANALISIS PENGAKTIPAN NEUTRON DENGAN PENCACAHAN NEUTRON KASIP UNTUK MENENTUKAN JUMLAH KANDUNGAN THORIUM-232 DALAM BATUAN TAMBANG. Telah dilakukan penentuan kadar thorium dalam batuan dengan metode Analisis Pengaktipan Neutron (APN) dan Pencacahan Neutron Kasip (PNK). Penentuan kadar thorium pada 9 jenis cuplikan batuan menunjukkan bahwa kesalahan pengukuran pada metode APN adalah sebesar 6,7 %, sedangkan untuk PNK menunjukkan 1,39 %. Kedua metode ini kemudian dibandingkan dan hasilnya untuk cuplikan batuan yang sama menunjukkan (4590 ± 299)ppm untuk (APN) dan (2116 ± 295)ppm untuk (PNK). Walaupun demikian metode PNK relatif lebih cepat penyelesaiannya sedangkan metode APN penyelesaiannya lebih lama dengan hasil lebih tinggi dibanding dengan metode PNK.

ABSTRACT

COMPARISON BETWEEN THE METHODS OF NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS AND THE DELAYED NEUTRON COUNTING, TO DETERMINE THE CONTENT OF Th-232 IN THE ORE. A determination of the Th-232 content in the ore has been performed using both the Neutron Activation Analyses (NAA) and the Delayed Neutron Counting (DNC) to some 9 ore-samples. The results indicate that the determination using NAA and DNC methods give 6.7 % and 1.39 % of error respectively which correspond to 4590 ± 299 ppm for the NAA and 2116 ± 295 ppm for the DNC methods respectively. It was indicated also that though the accuracy of the NAA was worse in comparison with the DNC method, it gives a faster time to complete than that of DNC method.

PENDAHULUAN

Metode analisis kandungan unsur-unsur dalam material telah berkembang dan banyak digunakan diantaranya dengan penembakan/penyinaran partikel neutron sehingga akan terjadi reaksi inti. Dua metode reaksi inti (nuklir) yang telah berkembang ialah metode Analisis Pengaktipan Neutron (APN) dan khusus untuk inti dapat belah ialah metode Pencacahan Neutron Kasip (PNK). Pada reaktor Kartini telah tersedia fasilitas untuk APN dan PNK yang dapat beroperasi secara bersama-sama.

Teori APN adalah berdasarkan terjadinya tangkapan neutron oleh inti atom dalam cuplikan teraktivasi sehingga timbul pancaran sinar- γ yang karakteristik⁽³⁾. Aktivasi batuan yang akan ditentukan unsur-unsurnya dilakukan pada fasilitas irradiasi Lazy Suzan (LS) yang terpasang pada tepi luar teras reaktor Kartini. Keadaan pada tingkat daya reaktor 100 kWt akan terjadi fluks neutron pada orde 10^{10} n/cm²dt yang sebagian besar pada tingkat energi termal. Inti-inti yang teraktivasi akan mengalami reaksi

$X (n, \gamma) Y$ sehingga terjadi perubahan

konfigurasi elektron dan inti menjadi tidak stabil dengan keadaan sangat tereksitasi. Untuk menuju inti-inti yang setabil atau menuju kondisi dasar akan memancarkan sinar- γ . Masing-masing isotop sebagai pemancar sinar- γ karakteristik akan ditunjukkan dalam besaran energi dan umur paro yang spesifik.

Dari parameter umur paro dan energi serta pancaran cacah yang linear terhadap jumlah inti teraktivasi dapat untuk menelusuri riwayat dari inti pembentuk radio nuklida Pancaran γ dari radio nuklida akan tercah oleh system cacah yang menggunakan detektor spektrometri- γ HPGe dan dilengkapi dengan sistem accuspecs, kemudian pada layar monitor akan tertampil karakteristik dari masing-masing isotop sebagai pemancar - γ dalam bentuk kurva Cacah Vs Energi .

Perlakuan aktivasi terhadap cuplikan selama 6 jam sehingga akan terjadi reaksi $Th^{232} (n, \gamma) Th^{233}$ yang mempunyai anak luruh $Pa^{233} (t_{1/2} = 27,4 \text{ hari})$. Setelah mengalami waktu tunda selama 7 hari, kemudian dilakukan pencacahan terhadap puncak- γ yang mempunyai intensitas besar (37,7%) dan terpisah dari puncak yang lain yaitu pada energi 312 keV. Kemudian hasil perbandingan jumlah cacah

per detik antara cuplikan standar dan cuplikan batuan adalah merupakan perbandingan jumlah Thorium dalam cuplikan.

Keunggulan APN ialah kemampuannya dalam mendeteksi berbagai unsur secara serentak dengan kemampuan tinggi. Seringkali teknik APN dilakukan tanpa merusak dan dapat untuk analisis cuplikan dalam bentuk padat cair dan gas. Kemampuan fasilitas irradiasi LS reaktor kartini mempunyai 43 lubang yang masing-masing dapat diisi 3 tingkat kelongsong yang terpisah sehingga memungkinkan metode APN dapat digunakan secara cepat.

Dalam waktu yang bersamaan dapat juga dilakukan metode analisis pencacahan neutron kasip pada fasilitas irradiasi sistem pneumatik. Metode ini ditemukan pertama kali oleh Robert pada tahun 1939 berdasarkan adanya pancaran neutron yang menyertai inti-inti hasil belah beberapa saat setelah terjadi reaksi pembelahan⁽⁴⁾. Isotop hasil belah pemancar neutron kasip menurut umur paronya dikelompokkan menjadi 6 kelompok⁽²⁾ dan umur paro terpanjang pada hasil belah inti Th^{232} -adalah 56,03 detik dengan fraksi total untuk seluruh kelompok sebesar 0,0497/pembelahan⁽¹⁾. Neutron kasip yang dipancarkan dari hasil irradiasi adalah merupakan fungsi yang linear terhadap inti-inti dapat belah dalam cuplikan yang bereaksi dengan neutron. Secara alamiah bahan fisil yang ada ialah U^{235} , U^{238} , Th^{232} dan batuan Thorium terpisah dari batuan Uranium. Untuk membangkitkan inti-inti sebagai pemancar neutron kasip digunakan metode aktivasi sebagai dasar analisa dari reaksi aktivasi antara neutron dengan inti-inti Th^{232} sehingga terjadi reaksi pembelahan dan timbul beberapa kelompok neutron kasip untuk masing-masing inti dapat belah. Energi neutron yang terjadi pada fasilitas irradiasi sebagian besar pada tingkat termal dan tampak lintang pembelahan untuk inti Th^{232} besar pada tingkat energi neutron cepat. Cara pencacahan dilakukan dengan mengirradiasi cuplikan batuan dan cuplikan standar (komparator) masing-masing selama 5 menit kemudian secara pneumatik langsung dikirim ke sistem cacah untuk dicacah selama 5 menit. Cuplikan komparator digunakan untuk kalibrasi sistem cacah dan diperoleh data, bila digambar dalam bentuk grafik Cacah Vs ppm menunjukkan hasil yang linear. Kemudian jumlah cacah neutron kasip dari cuplikan standar dan batuan dibandingkan dan hasilnya adalah merupakan perbandingan Thorium dalam cuplikan.

Dua metode analisis terhadap batuan yang diberi kode IVA yang kemungkinan berasal dari daerah kepulauan Bangka (tambang Timah). Penelitian ini telah dilakukan terhadap 9 cuplikan yang berasal dari satu daerah lokasi dan mempunyai perbedaan jumlah kandungan yang cukup besar. Bila jumlah cuplikan diambil dari berbagai lokasi

yang cukup luas maka dapat digunakan untuk melacak arah akar tambang batuan Thorium yang terdeposit.

TEORI

Reaksi aktivasi antara neutron dengan materi akan menimbulkan berbagai implikasi, antara lain akan melahirkan inti-inti aktif sebagai pemancar sinar- γ yang karakteristik dengan perbedaan energi dari masing-masing isotop pemancar- γ seperti tertampil pada layar monitor *accuspec* yang terpasang pada sistem cacah spektrometri- γ . Peristiwa yang akan terjadi apabila sinar- γ masuk ruang peka detektor adalah dihasilkannya pulsa listrik berupa signal yang tingginya sepadan dengan energi sinar- γ yang berinteraksi dengan gas isian detektor sehingga terjadi proses efek fotolistrik, hamburan Compton dan pembentukan pasangan⁽³⁾.

Kemudian apabila neutron bereaksi dengan inti-inti dapat belah akan terjadi reaksi pembelahan yang menghasilkan inti-inti hasil belah, neutron baru, energi, pancaran zarah radio aktif. Neutron dari hasil reaksi pembelahan terdiri dari neutron serentak dan neutron kasip dan cacah neutron kasip yang menyertai inti-inti hasil belah adalah sebagai fungsi yang linear terhadap inti-inti hasil belah yang bereaksi dengan neutron. Dengan menggunakan sistem cacah SCA dan detektor neutron BF_3 hasil cacah neutron akan dikonversikan kedalam satuan jumlah ppm.

Detektor Semi Konduktor

Detektor semikonduktor dapat dipandang sebagai detektor kamar ionisasi di mana medium gas diganti zat padat yang bersifat semi konduktor. Proses yang terjadi pada detektor semi konduktor adalah apabila foton- γ mengenai materi detektor akan terjadi pembentukan pasangan elektron lowongan pada daerah intrinsik dalam detektor⁽³⁾. Dari hasil cacah detektor spektrometri- γ (HpGe) menunjukkan jumlah cacah linear terhadap jumlah inti teraktivasi sehingga dapat untuk menelusuri inti pembentuk radio nuklida yang terjadi. Paparan sinar- γ dari masing-masing unsur akan teridentifikasi dan ditampilkan dalam bentuk kurva Cacah Vs Energi pada layar monitor *Accuspec- γ* yang terpasang pada sistem cacah. Pada kristal germanium dalam detektor HpGe kesenjangan tenaga sangat kecil ($\Delta E = 0,7 \text{ eV}$), maka untuk mengatasi arus bocor balik, detektor harus dioperasikan pada suhu yang sangat rendah⁽³⁾. Dalam analisis spektrometri- γ untuk analisis kwantitatif sering digunakan efisiensi mutlak yaitu

$$\varepsilon(E) = \frac{\text{cps}}{\text{dps}xY(E)}$$

Dimana:

$\epsilon(E)$ = Efisiensi mutlak pada tenaga E
cps = cacah pulsa per detik

dps = cacah sinar- γ yang dipancarkan oleh sumber- γ oleh sumber standar- γ kesegala arah per detik.

$Y(E)$ = intensitas mutlak sinar- γ .

Kalibrasi Sistem Cacah Spektrometri- γ

Metode spektrometri- γ adalah suatu metode pengukuran yang bersifat nisbi (relatif), sehingga sebelum digunakan sebagai alat analisis harus dilakukan kalibrasi tenaga dan kalibrasi efisiensi. Hasil kalibrasi tenaga dari sumber standar- γ multi energi (misal ^{152}E) akan membentuk persamaan linear orde satu ($Y = aX + b$) dan dengan metode regresi linear akan diperoleh.

$$a = \frac{\sum XiYi - \frac{\sum Xi \sum Yi}{n}}{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}$$

$$b = \frac{\sum Yi}{n} - a \frac{\sum Xi}{n}$$

Pada kalibrasi efisiensi selalu dikaitkan dengan fungsi tenaga $\epsilon(E)$. Persamaan efisiensi deteksi dituliskan

$$\% \epsilon(E) = \frac{\text{cps}}{\text{dps} \cdot Y(E)} \times 100\%$$

Pencacahan Neutron Kasip

Pengukuran neutron kasip dapat dilakukan dengan cara mengaktivasi cuplikan yang mengandung unsur inti dapat belah (misal Th^{232}) dalam waktu 5 menit. Bila dilakukan irradiasi selama t_i mengalami waktu tunda t_d mengalami pencacahan selama t_c , maka akan diperoleh jumlah cacah neutron kasip

$$C = \epsilon N_0 \sigma_f \Phi \sum_{i=1}^6 \frac{a_i}{\lambda_i} (1 - e^{-\lambda_i t_i}) (1 - e^{-\lambda_i t_d}) (e^{-\lambda_i t_c})$$

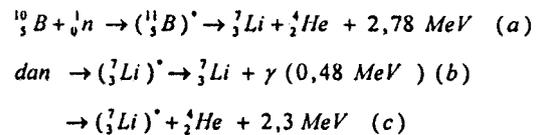
Dimana

- ϵ : faktor kesebandingan sistyem cacah
- N_0 : Jumlah inti-inti dapat belah yang teraktivasi.
- σ_f : tampang lintang pembelahan mikroskopik inti-inti dapat belah.
- ϕ : fluks neutron yang terjadi pada fasilitas irradiasi (mengaktivasi).
- a_i : $\beta_i v$ = jumlah neutron kasip per pembelahan untuk kelompok ke i.
- λ_i : konstanta peluruhan inti-inti penghasil neutron kasip kelompok ke-i.

Karena inti-inti penghasil neutron kasip mempunyai umur paro terpanjang 55,4 detik dengan rata-rata 12,5 detik, sehingga untuk optimasi cacah memindahkan cuplikan dari posisi irradiasi ke posisi pencacahan digunakan sistem pemindah pneumatik yang mampu memindahkan cuplikan dalam selang waktu $\pm 1,5$ detik. Kapsul khusus yang digunakan pada fasilitas sistem pneumatik mempunyai dimensi $D_i = 18$ mm; $L_o = 26$ mm; $L_i = 23$ mm, sehingga mempunyai volume bagian dalam 13 ml.

Detektor Neutron BF3

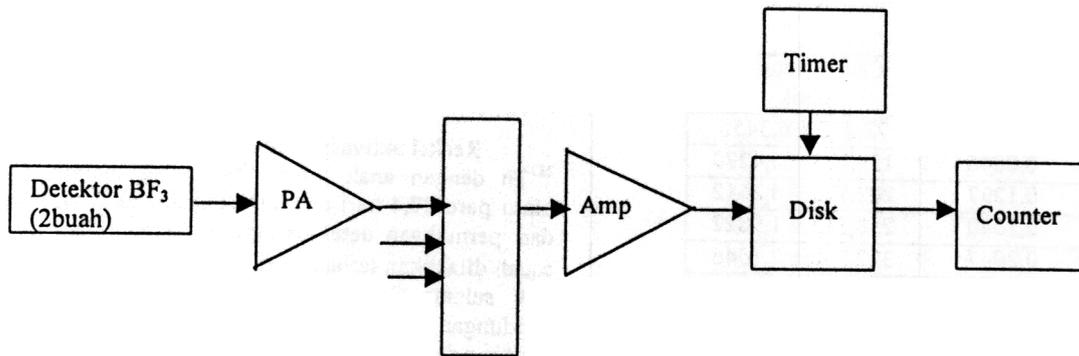
Detektor neutron BF3 merupakan kelompok proporsional jenis isian gas tipe 202 buatan ORTEC yang mempunyai dimensi panjang luar 12,125 in, $D_o = 1$ in; $L_{\text{aktif}} = 8,125$ in dan tebal dinding 0,032 in. Fungsi dinding sebagai katode sedangkan kawat yang memanjang secara konsentris terhadap dinding sebagai anoda. Reaksi gas isian dalam tabung adalah



Pulsa-pulsa listrik yang terjadi adalah linear terhadap energi yang datang ke ruang peka detektor dan besar atau kecilnya energi akan ditunjukkan oleh tinggi atau rendahnya pulsa listrik yang dihasilkan. Keluaran pulsa listrik detektor BF3 dalam orde milli Volt sehingga perlu penguat awal (pre Amp) dan arus keluarannya akan diperkuat oleh penguat utama (Amp). Untuk menghitung jumlah pulsa persatuan waktu digunakan scaler yang dilengkapi dengan pembatas waktu (timer), sedangkan untuk menghindari cacah derau (noise) yang masuk, pada keluaran akhir alat cacah dilengkapi dengan diskriminator.

Kalibrasi Detektor BF3

Kalibrasi detektor dimaksudkan untuk menentukan daerah operasi sehingga lebar jendela pada diskriminator ditentukan hanya untuk zarah pada energi tertentu dan diharapkan pada aras tersebut hanya neutron saja yang tercacah. Caranya ialah mencacah sumber neutron standar dengan sistem cacah SCA di mana operasi diskriminator pada posisi difrensial. Pada posisi tegangan operasi 1400 Volt dan batas bawah (lower level) diskriminator dinaikan tegangannya dari 1 Volt dengan variasi 0,1 Volt hingga sampai 10 Volt. Bila digambarkan hasil cacah sebagai fungsi perubahan energi (lower level diskriminator) akan diperoleh suatu kurva yang bentuknya merupakan kurva karakteristik hasil reaksi dari gas isian BF3 dengan neutron. Dengan pengoperasian sistem cacah secara integral, kurva hasil kalibrasi dapat untuk menentukan batas atas dan batas bawah diskriminator.



Gambar 1. Skema Sistem Cacah Neutron Kasip

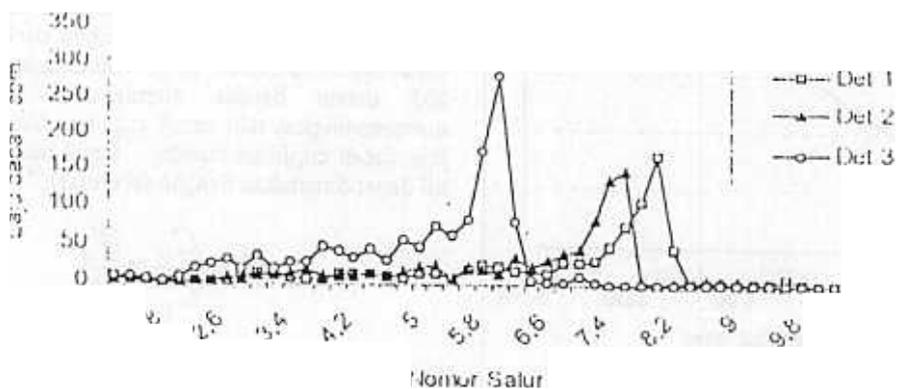
Berdasarkan hasil kalibrasi penentuan daerah operasi , sistem cacah akan dioperasikan dengan kondisi sebagai berikut:

1. Tegangan operasi detektor (HV) pada level 1400 Volt.
2. Coarse Gain (CG) 20 dan Fine Gain 0,8

3. Level bawah 3,7 dan level atas 10 (maksimum)

Setelah ditentukan daerah operasi (karakteristik) dari 3 detektor BF3 menunjukkan satu puncak diantaranya berada pada nomor salur rendah (seperti gambar-2) sehingga sistem cacah menggunakan dua detektor.

Grafik Kalibrasi Detektor BF3



Gambar 2. Hasil Kalibrasi Detektor BF3 untuk Karakteristik masing-masing detektor

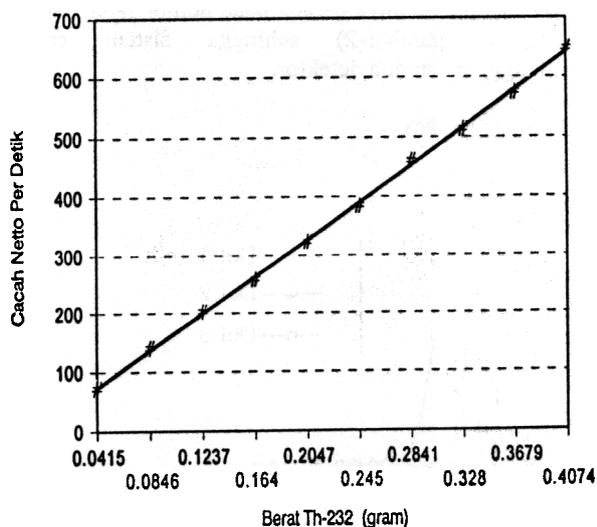
Hasil kalibrasi detektor merupakan karakteristik dari masing-masing detektor BF3 yang akan digunakan untuk menentukan batas bawah (lower level) dan batas atas (upper level) dari diskriminator sistem cacah yang bertujuan agar cacah yang tercatat adalah merupakan cacah neutron

dan tidak tercampur cacah yang lain. Kemudian kalibrasi sistem cacah dilakukan dengan melakukan pencacahan neutron kasip dari batuan Thorium standar dengan variabel jumlah berat, sehingga akan diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel-1: Hasil cacah neutron kasip cuplikan standar Th (NO₃)₂5H₂O

No.	Berat Th ²³² (gram)	Cacah Neto per detik
1.	0,0415	72,272 ± 6,3458
2.	0,0846	139,773 ± 5,4270
3.	0,1237	202,773 ± 6,2612
4.	0,1640	258,313 ± 1,9822
5.	0,2047	322,730 ± 2,1546
6.	0,2450	384,770 ± 4,0581
7.	0,2861	460,350 ± 6,2865
8.	0,3280	512,987 ± 7,6035
9.	0,3679	574,833 ± 9,0551
10.	0,4074	647,103 ± 0,5631

Dari data hasil percobaan bila digambar dalam bentuk grafik Berat Vs Cacah menunjukkan hasil yang linear yang berarti sistem cacah dapat digunakan untuk pencacahan neutron kasip.



Gambar-3. Grafik hasil kalibrasi sistem cacah Cacah Vs Berat Thorium standar.

METODE PENGUMPULAN DATA

Pengumpulan data untuk metode APN adalah menggunakan cuplikan standar primer berbentuk serbuk dengan kode DH1A mempunyai berat 0,107 gram dan PNK menggunakan cuplikan standar primer berbentuk serbuk dengan kode IGS41 mempunyai berat 0,503 gram. Cuplikan batuan (uji) telah dipreparasi di Laboratorium Pusat Penelitian Bahan Galian Nuklir (PPBGN) Jakarta dengan cara sebagai berikut cuplikan dihaluskan dengan *crusher* kemudian *disc mill* dan terakhir dengan *mortar grinder*. Hasilnya diayak sampai semua cuplikan

memiliki kehalusan 65 mesh dan selanjutnya dilakukan pencuplikan. Kemudian dilakukan penimbangan masing-masing untuk APN 0,1 gram dan PNK 0,5 gram.

Metode Analisis Pengaktipan Neutron (APN)

Reaksi aktivasi teranalisis adalah ²³²Th (n, γ) ²³³Th dengan anak luruh ²³³Pa yang mempunyai umur paro 27,4 hari dan cuplikan diletakkan 3 cm dari permukaan detektor HpGe. Pengambilan data cacah dilakukan terhadap Pa-233 pada energi-γ=312 keV selama 5 menit. Dalam analisis kuantitatif kandungan Thorium dalam cuplikan batuan tambang dihitung dengan menggunakan persamaan;

$$W \text{ cup. uji} = \frac{(\text{cps}) \text{ cuplikan}}{(\text{cps}) \text{ standar}} \times \frac{\text{Berat standar } (\mu \text{ gr})}{\text{Berat cuplikan } (\mu \text{ gr})}$$

Metode Pencacahan Neutron Kasip

Pada metode PNK irradiasi cuplikan dilakukan selama 5 menit pada fasilitas irradiasi pneumatik yang terletak pada ring F-13 teras reaktor Ksartini, di mana pada daya reaktor 100 kWt mempunyai fluks neutron 10¹¹ n/cm² dt yang sebagian besar pada energi termal, mengalami waktu tunda (perjalanan) selama 1,5 detik dan pencacahan selama 5 menit. Penggunaan sistem cacah SCA agar cacah yang masuk terseleksi khusus neutron, dilakukan pengaturan jendela diskriminator (upper & lower level) sesuai dengan kurva kalibrasi karakteristik detektor BF3. Kandungan Thorium-232 dalam batuan ditentukan dengan cara membandingkan laju cacah cuplikan batuan dengan laju cacah cuplikan standar. Berat unsur cuplikan uji dapat ditentukan dengan formulasi ⁽⁴⁾.

$$K = \frac{C_c}{C_s} \times \frac{W_s}{B}$$

Dimana

C_c = laju cacah cuplikan batuan (cps)

C_s = laju cacah cuplikan standar (cps)

W_s = berat unsur Torium dalam cuplikan standar (μg)

B = berat cuplikan (g)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari dua metode analisis (APN & PNK) menunjukkan kandungan Thorium yang terdapat dalam batuan tambang dari masing-masing cuplikan mempunyai harga yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan Thorium untuk setiap jengkal tanah pada lokasi penambangan tidak merata. Ada kemungkinan situs alur batuan pada lokasi tambang dalam bumi terpencah dan pada

lokasi tambang dalam bumi terpecah dan pada umumnya secara alamiah tersusun dalam bentuk akar pohon. Untuk mengetahui arah alur batuan yang mempunyai kandungan Thorium dan dapat dieksplorasi secara ekonomis, maka perlu pengambilan cuplikan dalam jumlah yang besar pada arah vertikal dan horisontal. Bila pengambilan cuplikan dalam jumlah besar dan dianalisis, kemudian hasilnya ditampilkan dalam bentuk

gambar peta sehingga akan tampak arah alur sebaran/distribusi kandungan batuan Thorium. Kemudian bila digambarkan dalam bentuk kurva Jarak Vs Posisi yang menunjukkan jumlah kandungan maka akan dapat ditunjukkan lokasi alur batuan yang mempunyai kandungan Thorium tinggi dan dapat dieksplorasi secara ekonomis. Hasil yang tertera dalam tabel di bawah ini adalah merupakan hasil analisis dari 2 metode

Tabel-2. Hasil cacah paparan γ dan neutron kasip serta hasil perhitungan jumlah kandungan Thorium-232 dari metode APN dan PNK

No.	Kode Cuplikan	Cacah- γ (cps)	Kandungan Th ²³² (APN)	Cacah Ntrn Kasip.	Kandungan Th ²³² (PNK)
1.	IV A1	1,925	4590,851 ± 299,068	507	2116,524 ± 29,4405
2.	IV A2	2,211	4823,682 ± 323,656	448	1874,903 ± 26,079
3.	IV A3	2,542	5897,542 ± 237,432	498	2084,370 ± 28,9923
4.	IV A4	1,865	4353,785 ± 266,793	442	1853,540 ± 25,7824
5.	IV A5	0,101	3615,396 ± 104,679	502	2093,995 ± 29,1271
6.	IV A6	0,102	5123,069 ± 104,769	504	2099,833 ± 29,2093
7.	IV A7	0,101	6883,857 ± 128,559	541	2259,211 ± 31,4252
8.	IV A8	0,103	661,912 ± 454,9822	427	1774,031 ± 24,6765
9.	IV A9	0,105	5743,774 ± 97,011	524	2195,345 ± 30,5369

Secara teoritis teras reaktor Kartini menggunakan bahan bakar UZrH di mana unsur ZrH adalah sebagai moderator yang terintegrasi dengan unsur U, walaupun demikian neutron yang keluar dari kelongsong bahan bakar sebagian besar masih pada tingkat energi cepat. Setelah keluar dari kelongsong bahan bakar, neutron akan termoderasi oleh air pendingin (H₂O) dan kemudian akan melakukan reaksi pembelahan dengan inti-inti bahan bakar dalam kelongsong yang lain secara berantai. Pola distribusi penempatan bahan bakar (dalam kelongsong) teras reaktor Kartini ialah pada bagian tengah mempunyai kandungan inti Uranium paling tinggi, menyebabkan fluks neutron yang dibangkitkan pada waktu operasi terjadi paling besar dengan tingkat energi neutron sebagian besar adalah cepat. Kemudian kelongsong bahan bakar yang berada pada posisi ring paling luar/tepi teras reaktor mempunyai jumlah kandungan inti bahan bakar paling rendah. Kondisi yang terjadi pada bagian tepi luar teras reaktor di mana fasilitas Lazy Suzan di tempatkan adalah fluks neutron pada tingkat 10¹⁰ n/cm²dt yang sebagian besar energinya termal.

Pada sistem cacah neutron kasip, fasilitas irradiasi pneumatik terletak pada ring F-13 yaitu pada posisi teras yang paling tepi dan pada tingkat daya reaktor 100 kWt akan diperoleh fluks neutron ± 10¹¹ n/cm²dt. yang sebagian besar pada tingkat energi termal. Tampang lintang reaksi pembelahan inti Thorium sebagai fungsi energi neutron mempunyai harga besar terhadap neutron energi tinggi dan mendekati nol pada neutron energi

termal. Fasilitas irradiasi pipa pneumatik yang dihubungkan langsung dengan sistem cacah neutron SCA dengan detektor BF3. Dudukan detektor yang telah disediakan adalah mampu untuk 6 buah detektor BF3, sedangkan pada analisis PNK hanya menggunakan 2 detektor BF3.

Model penelitian pada umumnya dilakukan dengan memberi nomor kode pada setiap cuplikan di mana kode huruf abjad menunjukkan alamat daerah asal cuplikan, sedangkan nomor angka menunjukkan posisi dari setiap jengkal tanah sebagai cuplikan yang dicurigai mengandung batuan mineral tertentu. Penambangan mineral bahan bakar nuklir akan dilakukan apabila kandungan rata-rata 10 000 ppm dengan jumlah deposit tertentu sehingga hasilnya dapat menguntungkan. Area penambangan didapatkan pada daerah yang sangat luas dengan setiap cuplikan diambil pada kedalaman tertentu. Hal ini dilakukan untuk melacak situs alur batuan yang akan dieksplorasi sesuai dengan persyaratan tertentu. Agar dapat melacak akar alur batuan yang terjadi dilakukan dengan mengambil cuplikan sampai pada orde ribuan titik. Untuk memenuhi persyaratan analisis cuplikan yang jumlahnya cukup besar diperlukan metode yang cepat dengan hasil yang akurat.

KESIMPULAN

Fasilitas irradiasi Lazy Suzan berada pada tepi luar teras reaktor Kartini di mana sebagian besar neutron sudah pada keadaan termal sehingga

menyebabkan reaksi aktivasi yang terjadi antara inti-inti Th^{232} dengan neutron rendah. Demikian juga fasilitas irradiasi pipa pneumatik yang terletak pada ring F-13 teras reaktor di mana fluks neutron yang terjadi sebagian besar pada tingkat energi termal sehingga reaksi pembelahan terhadap inti-inti Th^{232} tidak optimum yang menyebabkan hasil cacah neutron kasip untuk setiap satuan berat (ppm) rendah. Dari hasil analisis menunjukkan metode APN mempunyai ketelitian yang tinggi dan tidak memerlukan waktu terpisah untuk setiap cuplikan, karena pada fasilitas irradiasi Lazy Suzan dapat untuk aktivasi 3 x 43 cuplikan dari berbagai titik analisis. Dengan demikian untuk analisis batuan Thorium dapat dilakukan aktivasi secara serentak untuk 129 cuplikan dengan berbagai ragam dan jenisnya.

Pada metode PNK analisis batuan Thorium hanya memerlukan waktu ± 12 menit untuk setiap satu cuplikan dan jumlah kandungannya langsung dapat diketahui. Posisi fasilitas Irradiasi pneumatik pada ring F-13 di mana energi neutron yang terjadi sebagian besar pada tingkat termal menyebabkan reaksi pembelahan yang terjadi pada Thorium rendah. Untuk meningkatkan kemampuan sistem analisis PNK dapat dilakukan dengan memindah posisi fasilitas Irradiasi pneumatik pada ring yang lebih tengah (Central Timble). Dari dua metode tersebut menunjukkan bahwa metode APN lebih tinggi jumlah inti Thorium yang terukur dengan ralat pengukuran 6,7 %, sedangkan metode PNK lebih cepat untuk mendapatkan hasil akhir dengan ralat pengukuran 1,39 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. KEEPIN G.R. "Physical Of Nuclear Kinetics" Addison Wessley, London 1975.
2. LAMARSH, J.R. "Introduction to Nuclear Reactor Theory" Addison Wessley, London 1966.
3. SUSETYA, WISNU "Spektrometri Gamma dan Penerapannya Dlam Analisis Pengaktipan Neutron" Gajah Mada University Press, 1988.
4. F.F. DYER "A Comprehensives Study of Neutron Activation Analysis of Uranium by Delayed Neutron Counting" OakRidge Nati

TANYA JAWAB

Imam Dahroni

- Sampai kadar berapa boron dapat dideteksi untuk bahan sampel grafit.
- Berapa tingkat kesalahannya

Soeleman

- Kemampuan sistem APN untuk analisa sampai pada orde 10 ppm
- Ketelitian rate-rate 5%

Damunir

- Apakah pada kurva hubungan antara berat dengan dengan cacah berapa garis lurus. Apakah tidak akan terjadi pembelokan pada berat Th tertentu. Kalau ada apakah kurva tersebut dapat digunakan sebagai kurva anular

Soeleman

- Pada prinsipnya jumlah cacah selalu linier dengan jumlah kandungan inti dapat belah (Th^{232}) kecuali ada perubahan kondisi cuplikan misalnya dalam perubahan suhu.