

KARAKTERISASI FAKTOR NORMALISASI PADA FASILITAS PNEUMATIK REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG UNTUK ANALISIS AKTIVASI NEUTRON

Muhayatun, Ratnawati Kukuh, Achmad Hidayat, P. Ilham, Dadang S.

E-mail : hayat@bdg.centrin.net.id

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir – BATAN

ABSTRAK

KARAKTERISASI FAKTOR NORMALISASI PADA FASILITAS PNEUMATIK REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG UNTUK ANALISIS AKTIVASI NEUTRON. Metode analisis aktivasi neutron (AAN) menggunakan pembandingan multielemen merupakan suatu metode yang umum digunakan untuk analisis multielemen. Penggunaan metode pembandingan memerlukan waktu preparasi lama dan biaya besar. Salah satu cara untuk mengefisienkan waktu dan biaya analisis, dapat dilakukan dengan menggunakan nilai faktor normalisasi (FN) posisi cuplikan dan iradiasi. Nilai FN digunakan untuk mengatasi ketidakhomogenan fluks neutron, sehingga dapat meminimalkan penggunaan standar acuan. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi faktor normalisasi pada fasilitas pneumatik reaktor TRIGA 2000 Bandung. Penentuan faktor normalisasi dilakukan pada dua posisi cuplikan (bawah dan atas) di dalam wadah iradiasi polietilen (PE). Nilai rata-rata faktor normalisasi yang diperoleh pada iradiasi cuplikan Cu selama 60, 30 dan 15 detik, daya 1500 kWatt masing-masing adalah 1,2848, 1,2908 dan 1,3348. Pada penelitian ini pengaruh fluktuasi daya reaktor pada hasil pengukuran cuplikan dan standar juga dipelajari. Fluktuasi daya reaktor di bawah 2% pada posisi cuplikan atas dan bawah memberikan simpangan rata-rata masing-masing sebesar 3,1699% dan 1,6238%. Penentuan FN telah pula dilakukan pada beberapa unsur acuan standar. Nilai rata-rata FN yang diperoleh pada iradiasi 60 detik, daya 1500 kWatt untuk unsur Ti, I, V, dan Al masing-masing adalah 1,2554; 1,2066; 1,3625 dan 1,2475. Nilai FN yang diperoleh dari penelitian ini berada pada rentang yang tidak terlalu lebar (<6,2 %). Hasil yang diperoleh tersebut dapat digunakan untuk mengembangkan penggunaan metode AAN, sehingga dapat lebih mengefisienkan waktu, tenaga dan biaya dalam melakukan analisis multielemen.

Kata kunci: aktivasi, neutron, metode Ko, multielemen

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF NORMALIZATION FACTOR IN TRIGA 2000 BANDUNG REACTOR PNEUMATIC FACILITY FOR NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS. Neutron activation analysis using synthetic multielement comparators is prevalent method for multielement analysis. This comparison method has several limitations such as preparation of synthetic standard is time consuming and needs high cost. In order to overcome such difficulties, the use of normalization factor of sample geometry and irradiation position as well need to be done. The normalization factor is used to overcome flux inhomogeneity, so that the used of standard reference material can be minimized. In this research, characterization of normalization factor in pneumatic facility of TRIGA 2000 Bandung reactor, have been done. The determination was done for two sample positions (bottom and top) using polyethylene container. The average normalization factor at 60, 30 and 15 second irradiation at 1500 kWatt for Cu sample gave values of 1.2848, 1.2908 and 1.3348 respectively. The effect of power reactor fluctuation on normalization factor was also studied. Fluctuation of power reactor under 2 % for sample position top and bottom gave deviation values of 3.1699% and 1.6238% respectively. The determination of normalization factor for Ti, I, V and Al reference standards have also been done. Normalization factor at 60 second irradiation at 1500 kWatt for Ti, I, V and Al reference standards gave mean values of 1.2554, 1.2066, 1.3625 and 1.2475 respectively. Normalization factor obtained of this research have a narrow range (<6.2%). The results obtained can be use in developing the NAA method, to minimize the spent of time, energy and cost.

Key words : activation, neutron, Ko method, multielement

PENDAHULUAN

Analisis aktivasi neutron (AAN) adalah suatu teknik analisis yang unggul, selektif, dapat menentukan unsur secara simultan dengan kepekaan tinggi dan batas deteksinya mencapai orde submikrogram. Teknik analisis ini sesuai untuk pemecahan masalah yang memerlukan data unsur dengan jumlah cuplikan yang sangat sedikit atau konsentrasinya sangat rendah, seperti cuplikan partikulat udara dan penentuan kandungan unsur runutan esensial di dalam makanan saji yang kadarnya dalam orde bagian tiap juta (mikrogram/gram).

Metode AAN menggunakan pembandingan multielemen merupakan suatu metode yang umum digunakan untuk analisis multielemen, yaitu berdasarkan pada perbandingan aktivitas spesifik dari cuplikan yang konsentrasinya tidak diketahui dengan standar yang konsentrasinya telah diketahui. Metode ini mempunyai berbagai keterbatasan baik dari segi ketepatan, waktu dan biaya seperti perlu melakukan preparasi dari berbagai standar acuan, membutuhkan waktu yang lama, dan membutuhkan biaya yang besar. *Standard reference material* (SRM) telah sering digunakan sebagai standar acuan, tetapi pada beberapa keadaan metode ini menghasilkan nilai yang berbeda, karena ketidaksesuaian karakteristik dari berbagai unsur. Pada keadaan tertentu juga tidak mungkin untuk membandingkan kondisi iradiasi standar dan cuplikan jika terjadi ketidak homogenan fluks. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengatasi berbagai keterbatasan tersebut adalah dengan menentukan nilai faktor normalisasi posisi cuplikan, daya dan waktu iradiasi.

Pengembangan metode AAN akhir-akhir ini cenderung mengarah pada penggunaan metode absolut. Penggunaan metode absolut dapat mengatasi berbagai keterbatasan yang terjadi pada penggunaan metode pembandingan. Metode absolut yang tengah berkembang dan menjadi topik yang hangat adalah metode standarisasi Ko. Penggunaan metode ini melibatkan berbagai parameter yang sangat kompleks, seperti faktor normalisasi berbagai posisi iradiasi, faktor f yang merupakan perbandingan antara fluks neutron termal dengan epitermal dan faktor α yang merupakan faktor yang terkait dengan sifat neutron yang tidak ideal. Faktor f dan α merupakan faktor yang spesifik untuk suatu jenis reaktor tertentu. Penelitian metode standarisasi Ko merupakan suatu lingkup penelitian yang luas, melibatkan berbagai parameter dan membutuhkan waktu yang lama. Oleh sebab itu dibutuhkan suatu metode alternatif yang lebih efisien. Salah satu metode alternatif yang dapat digunakan adalah penentuan faktor normalisasi pada berbagai posisi iradiasi.

Pada makalah ini akan dibahas karakterisasi faktor normalisasi posisi cuplikan pada fasilitas pneumatik reaktor TRIGA 2000 Bandung. Beberapa pengaruh yaitu waktu iradiasi, daya reaktor dan posisi cuplikan pada wadah polietilen dipelajari pada penelitian ini. Hasil yang diperoleh dari studi ini diharapkan dapat digunakan untuk mengatasi ketidak homogenan fluks. Dengan diketahuinya nilai faktor normalisasi posisi, maka pada analisis selanjutnya, dalam satu wadah iradiasi hanya dibutuhkan satu standar, sehingga sisa tempatnya dapat diisi oleh cuplikan. Keuntungan lain yang diperoleh dari penggunaan nilai faktor normalisasi adalah mampu meningkatkan kecepatan analisis dan meminimalkan penggunaan standar. Secara umum penerapan hasil penelitian ini akan sangat bermanfaat untuk kegiatan AAN di reaktor TRIGA 2000 Bandung, karena lebih efisien ditinjau dari segi waktu, tenaga dan biaya.

LANDASAN TEORI

Analisis aktivasi neutron adalah suatu analisis unsur yang didasarkan pada pengukuran keradioaktifan imbas, jika suatu cuplikan disinari dengan neutron. Sebagai akibat iradiasi dengan neutron, maka sebagian dari unsur-unsur yang berada dalam cuplikan menjadi radioaktif. Besarnya keradioaktifan imbas dapat dinyatakan dengan persamaan (1).

$$A = N\phi\sigma(1 - e^{-\lambda_i t_i})e^{-\lambda_r t_p} \quad (1)$$

di mana N adalah banyaknya inti atom yang disinari, ϕ fluks neutron, σ penampang lintang, t_i lamanya iradiasi, t_p lamanya pendinginan dan λ tetapan peluruhan radionuklida yang terbentuk. Untuk satu inti yang sama, besarnya keaktifan imbas yang terbentuk sebanding dengan banyaknya atom-atom yang diiradiasi, juga sebanding dengan berat unsur dalam cuplikan W. Bila cuplikan diiradiasi bersama-sama dengan standar yang mengandung unsur sama dengan cuplikan dan jumlahnya

diketahui dengan teliti, maka berat unsur yang hendak ditentukan dapat diperoleh menggunakan persamaan (2).

$$W_x = \frac{A_x}{A_s} W_s \quad (2)$$

di mana A_x dan A_s masing-masing adalah keaktifan radionuklida unsur yang hendak ditentukan dalam cuplikan dan standar. Sedangkan W_s dan W_x adalah berat standar yang disinari dan berat cuplikan.

Salah satu keunggulan metode AAN yang menonjol adalah teknik analisis ini dapat mencapai kepekaan yang sangat tinggi dengan nilai batas deteksi mencapai orde nanogram. Keunggulan lain yang tidak dijumpai pada cara-cara analisis mikro lainnya adalah kebebasan terhadap kontaminasi laboratorium. Untuk analisis kadar yang sangat rendah, kontaminasi yang berasal dari zat-zat pereaksi, gelas kimia atau udara merupakan persoalan yang sangat sulit diatasi. Pada metode AAN, kontaminasi yang relatif tinggi tidak akan menimbulkan kesalahan analisis, asalkan kontaminasi tersebut terjadi pada tahap setelah iradiasi selesai.

Dewasa ini pengembangan AAN telah mengarah pada metode absolut yang lebih dikenal dengan metode standarisasi K_0 . Penelitian K_0 dimulai pada tahun 1965, di mana Girardi dkk. yang dikutip dari [1], mendefinisikan suatu konstanta k yang isinya melibatkan konstanta-konstanta inti. Konstanta k tersebut dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$k = \frac{M\gamma^*\varepsilon^*\theta^*\sigma^*}{M^*\gamma\varepsilon\theta\sigma} \quad (3)$$

di mana M adalah nomor massa, γ persen kelimpahan, ε efisiensi energi dari pengukuran sinar γ oleh detektor, θ kelimpahan isotop, σ penampang lintang, dan $*$ mengacu pada standar tunggal. Dengan mengetahui nilai k , maka jumlah cuplikan yang tidak diketahui (w), dapat dihitung dengan melakukan iradiasi cuplikan dan pembanding secara bersama-sama. Nilai w dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$w = k \frac{A_p S^* D^* w^*}{A_p^* S D} \quad (4)$$

di mana A_p adalah cacahan spesifik, S faktor kejenuhan, dan D faktor peluruhan. Penggunaan faktor k tersebut hanya dapat diterapkan pada suatu keadaan di mana kondisi iradiasi termal dan posisi geometri berada pada keadaan tertentu dengan sedikit perubahan. Untuk membuat faktor k lebih fleksibel, de Corte dkk., pada tahun 1969 [2] memperkenalkan faktor k dengan persamaan berikut.

$$k = \frac{A_{sp}}{A_{sp}^*} = \frac{M^* \gamma \epsilon \theta \sigma_0 (\phi_{th} / \phi_c) + I_0}{M \gamma^* \epsilon^* \theta^* \sigma_0^* (\phi_{th} / \phi_c) + I_0^*} \quad (5)$$

di mana A_{sp} adalah aktivitas spesifik dari radionuklida di dalam cuplikan, A_{sp}^* mengacu pada rata-rata cacahan yang telah dinormalisasi ke dalam 1 μg pembanding, σ_0 penampang lintang neutron termal dan I_0 integral resonansi. Faktor k pada persamaan (5) masih melibatkan faktor eksperimen, seperti pengaturan pencacahan. Untuk mengganti parameter yang melibatkan variabel eksperimen, pada tahun 1975 oleh Simonits dkk. yang dikutip dari [1], memperkenalkan faktor K_0 dan didefinisikan menurut persamaan berikut.

$$k_0 = \frac{M^* \theta \gamma \sigma}{M \theta^* \gamma^* \sigma^*} = \frac{A_{sp} (\phi_{th} / \phi_c) + (I_0 / \sigma_0)^* \epsilon^*}{A_{sp}^* (\phi_{th} / \phi_c) + (I_0 / \sigma_0) \epsilon} \quad (6)$$

Perbedaan antara faktor k dan K_0 adalah pada K_0 hanya melibatkan parameter inti yang nilainya telah terdefinisi dengan baik, seperti $(M, \theta, \gamma, M^*, \theta^*, \gamma^*)$, sedangkan pada faktor k masih melibatkan faktor eksperimen.

Pada tahun 2001, Ramakrishna [1] melakukan pengembangan faktor K_0 untuk menentukan perhitungan konsentrasi unsur dalam cuplikan, menggunakan persamaan berikut:

$$I(\mu\text{g/g}) = \frac{A^i}{A_s^* \cdot K_{anal}} \quad (7)$$

di mana A^i = luas puncak dari elemen i setelah dikoreksi terhadap faktor kejenuhan, pendinginan, dan peluruhan selama pencacahan. Sedangkan A_s^* adalah luas puncak dari standar. Mengingat penggunaan nilai absolut K_0 membutuhkan suatu rangkaian penelitian yang kompleks, maka Ramakrishna menggunakan K_{anal} sebagai suatu kontanta yang masih melibatkan faktor eksperimen dan besarnya diperoleh dari persamaan (8).

$$K_{anal} = \frac{K_0(f + Q_0(\alpha)) \cdot \varepsilon}{(f + Q_0(\alpha))^* \cdot \varepsilon^*} \quad (8)$$

di mana f adalah rasio fluks termal terhadap epitermal, sedangkan $Q_0(\alpha)$ adalah perbandingan antara integral resonansi terhadap penampang lintang neutron termal [3,4]. Adapun nilai $Q_0(\alpha)$ dapat diperoleh dari persamaan (9).

$$Q_0(\alpha) = \frac{0,4264}{(2\alpha + 1) \cdot 0,55^\alpha} + \frac{(Q_0 - 0,4264)}{E_r^\alpha} \quad (9)$$

Dengan menentukan nilai f dan α yang spesifik untuk suatu jenis reaktor nuklir tertentu, maka konsentrasi unsur dapat dihitung menggunakan persamaan (7). Beberapa unsur isotop tunggal yang konstanta intinya telah terdefinisi dengan baik, disarankan sebagai standar tunggal, seperti Au, Co dan Mn [5].

TATA KERJA

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan CuO 6,6 mgr/100 mL, larutan standar tritisol Ti 25 mgr/100mL, V 0,2 mgr/100mL, Al 20 mgr/100mL, I 8 mgr/100mL, kertas saring Whatman no 1 dan plastik.

Alat

Peralatan yang digunakan adalah alat pencacah *multi channel analyzer* (MCA), lampu infra merah, penggaris, jangka sorong, gunting, alat pencatat waktu, dan tabung iradiasi polietilen.

Pengukuran dimensi cuplikan dan wadah iradiasi polietilen

Pengukuran dimensi cuplikan dan wadah iradiasi polietilen dilakukan untuk mengetahui posisi geometri cuplikan. Pengukuran dilakukan pada diameter kertas saring yang digunakan sebagai tempat cuplikan serta pengukuran dimensi luar dan dalam wadah iradiasi polietilen, menggunakan penggaris dan jangka sorong. Hasil pengukuran diameter posisi cuplikan atas dan bawah ($n = 47$) masing-masing berada pada nilai rata-rata $5,1710 \pm 0,1936$ cm dan $5,1968 \pm 0,2008$ cm, sedangkan hasil pengukuran dimensi wadah iradiasi polietilen adalah $2,05 \times 12,02$ cm (luar) dan $1,76 \times 11,40$ cm (dalam).

Preparasi cuplikan

Preparasi cuplikan dilakukan dengan membuat larutan CuO pada konsentrasi 6,6 mgr/100mL dan beberapa campuran standar Ti 25 mgr/100mL, V 0,2 mgr/100mL, Al 20 mgr/100mL dan I 8 mgr/100mL. Penyiapan tempat cuplikan dilakukan dengan menggunting kertas Whatman no 1 seseragam mungkin dan dilanjutkan dengan mengukur diameternya. Larutan cuplikan Cu diteteskan pada beberapa wadah cuplikan berupa kertas saring, masing-masing sebanyak 50 μ L dan dikeringkan menggunakan lampu infra merah. Hal yang sama dilakukan untuk menyiapkan cuplikan standar campuran. Penyiapan standar campuran dilakukan dengan meneteskan masing-masing standar Ti, V, Al dan I sebanyak 100 μ L, pada kertas saring Whatman dan selanjutnya dikeringkan menggunakan lampu infra merah.

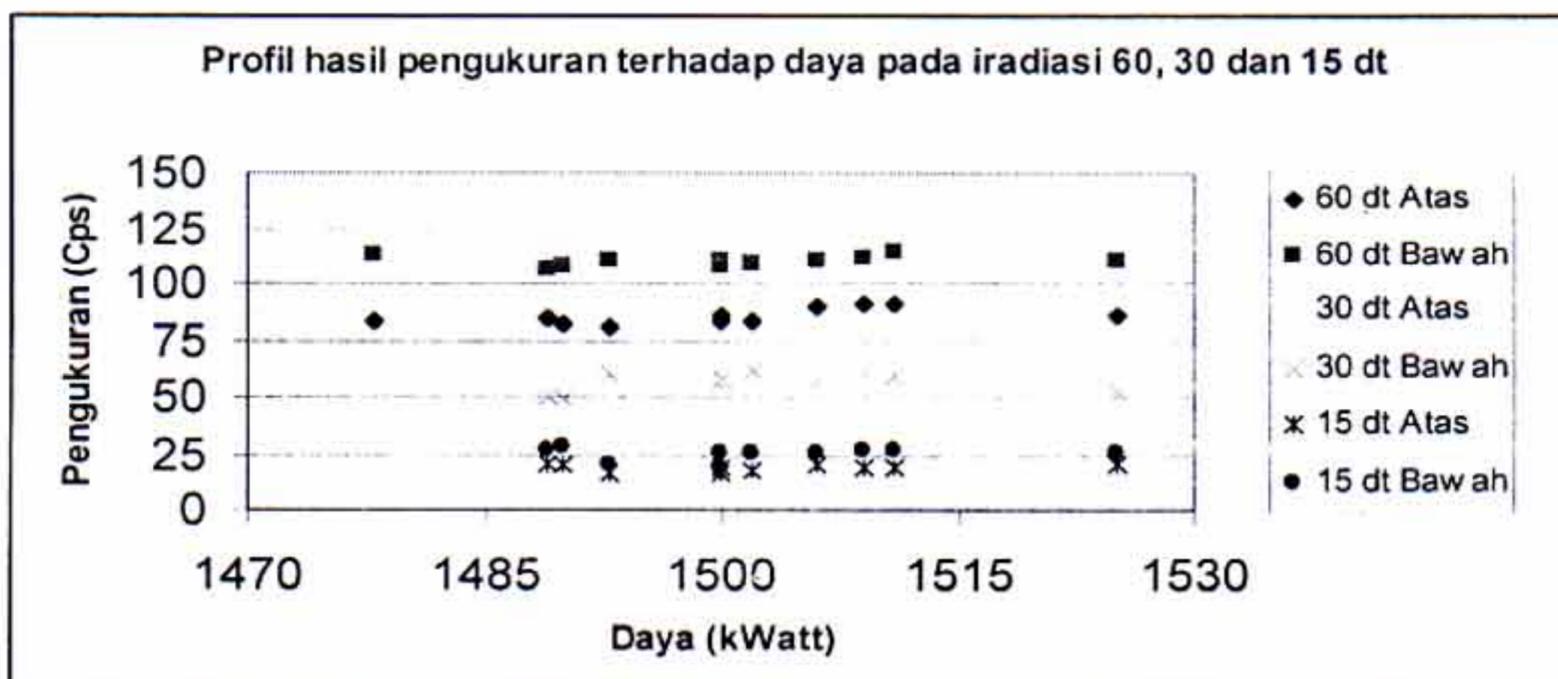
Tahap selanjutnya, cuplikan yang telah dipersiapkan tersebut *diseal* dalam kantong plastik, diukur diameternya dan dimasukkan ke dalam tabung iradiasi polietilen. Penempatan cuplikan pada wadah iradiasi polietilen diusahakan berada di tengah diameter wadah. Dalam satu wadah iradiasi diletakkan dua cuplikan (atas dan bawah). Kemudian cuplikan diletakkan pada fasilitas iradiasi pneumatik dan diiradiasi selama beberapa macam waktu, selama 60, 30 dan 15 detik. Setiap melakukan iradiasi cuplikan, daya reaktor yang digunakan dicatat. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh fluktuasi daya reaktor terhadap hasil pengukuran. Selama proses iradiasi, daya reaktor diusahakan berada pada daerah 1500 kWatt. Cuplikan yang telah diiradiasi dicacah selama 100 detik dengan pencacah sinar γ multi saluran yang digabungkan dengan pengolah spektrum Aptec OSQ/Profesional. Selanjutnya data spektrum yang diperoleh diolah dengan Excell untuk memperoleh karakterisasi faktor normalisasi fasilitas pneumatik. Penentuan posisi geometri cuplikan harus dilakukan seakurat mungkin karena hasil yang diperoleh pada penelitian ini akan digunakan untuk menghitung nilai faktor normalisasi yang pada akhirnya digunakan sebagai nilai acuan dalam mengoreksi ketidak homogenan fluks neutron selama iradiasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini ditentukan faktor normalisasi beberapa posisi cuplikan pada fasilitas pneumatik reaktor TRIGA 2000 Bandung. Penentuan faktor normalisasi dilakukan pada dua posisi cuplikan, dengan waktu iradiasi bervariasi selama 60, 30, 15 detik dan pada daya reaktor 1500 kWatt. Dalam satu wadah iradiasi polietilen diisi 2 posisi cuplikan yang selanjutnya disebut posisi bawah dan atas. Posisi bawah mengacu pada posisi cuplikan yang berada pada dasar wadah iradiasi PE, sedang posisi atas terletak di atas posisi cuplikan bawah.

Posisi cuplikan dalam wadah iradiasi PE bergantung pada diameter kertas saring Whatmann no 1 yang digunakan sebagai tempat cuplikan. Diameter rata-rata kertas saring yang digunakan untuk posisi cuplikan atas dan bawah masing-masing adalah $5,1710 \pm 0,1936$ cm ($n=47$) dan $5,1968 \pm 0,2008$ cm ($n=47$). Mengingat deviasi pada diameter kertas saring yang digunakan di kedua posisi tersebut tidak terlalu lebar, maka penentuan posisi cuplikan secara umum hanya dibagi menjadi 2, yaitu posisi bawah dan atas dengan mengabaikan perbedaan diameter pada masing-masing kertas saring yang digunakan.

Daya reaktor yang digunakan pada penelitian ini diusahakan berada pada kisaran 1500 kWatt. Untuk melihat pengaruh fluktuasi daya terhadap hasil cacahan, dilakukan pemantauan perubahan daya pada setiap proses iradiasi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pengaruh fluktuasi daya di bawah 2% pada posisi cuplikan atas dan bawah, masing-masing memberikan simpangan rata-rata sebesar 3,1699 % dan 1,6238 %. Korelasi fluktuasi daya terhadap hasil pengukuran disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Korelasi daya reaktor TRIGA 2000 Bandung terhadap hasil pengukuran

Perhitungan luas puncak hasil pengukuran dilakukan menggunakan persamaan 1 dengan melibatkan waktu iradiasi dan waktu pendinginan. Sedangkan perhitungan faktor normalisasi dilakukan dengan membandingkan posisi cuplikan atas terhadap posisi cuplikan bawah. Hasil cacahan cuplikan Cu untuk waktu iradiasi 60, 30 dan 15 detik pada daya disekitar 1500 kWatt, disajikan dalam Tabel 1. Nilai cacahan rata-rata untuk posisi cuplikan atas dan bawah pada iradiasi 60 detik masing-masing adalah $85,6645 \pm 3,4342$ ($n=11$) dan $110,0600 \pm 2,2742$ ($n=11$) cacah/detik. Berdasarkan pada nilai rata-rata di dua posisi cuplikan tersebut, dengan membandingkan cacahan atas dan bawah diperoleh nilai faktor normalisasi posisi FN sebesar 1,2848. Pada iradiasi selama 30 detik diperoleh, masing-masing adalah $43,3529 \pm 3,1843$ ($n=10$) dan $55,9612 \pm 4,3520$ ($n=10$) cacah/detik. Dengan membandingkan nilai rata-rata di kedua posisi tersebut, diperoleh nilai faktor normalisasi posisi sebesar 1,2908. pada iradiasi selama 15 detik, diperoleh nilai cacahan rata-rata sebesar $18,9830 \pm 1,6089$ ($n=10$) dan $25,3384 \pm 2,8574$ ($n=10$) cacah/detik masing-masing untuk posisi cuplikan atas dan bawah. Dengan cara yang sama diperoleh nilai faktor normalisasi posisi sebesar 1,3348. Nilai FN yang diperoleh dari ke tiga waktu iradiasi tersebut berada pada rentang yang tidak terlalu lebar. Profil hasil cacahan terhadap waktu pengukuran dapat dilihat pada Gambar 2.

Secara umum hasil pengukuran yang diperoleh relatif konstan dan berada pada rentang yang tidak terlalu lebar. Pada beberapa pengukuran diperoleh hasil yang berada di atas atau bahkan di bawah nilai rata-rata. Fluktuasi hasil pengukuran tersebut di kedua posisi cuplikan atas dan bawah mempunyai kecenderungan yang sama, sehingga tidak mempengaruhi nilai FN yang diperoleh.

Tabel 1. Hasil pengukuran Cu pada posisi cuplikan atas dan bawah dengan waktu iradiasi 60, 30 dan 15 detik.

Pengukuran	Cacahan Iradiasi 60 detik		Cacahan Iradiasi 30 detik		Cacahan Iradiasi 15 detik	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	86,2507	109,8289	42,2792	52,0469	20,7111	26,1430
2	90,0227	110,3459	41,1165	55,8509	20,2548	25,8749
3	90,4888	111,3036	44,1978	59,4107	18,8595	26,2983
4	90,8311	114,6783	44,6743	59,5774	19,4416	26,6652
5	80,6331	110,8226	47,9122	59,9573	16,2964	20,8019
6	83,2280	107,4517	44,2710	57,0565	16,3501	19,4656
7	82,4109	107,8825	40,1612	49,6407	19,9847	28,3082
8	85,1366	106,0925	37,1871	49,6886	20,7104	27,4778
9	85,5811	110,7990	46,1762	54,7463	18,7732	26,2011
10	83,7539	109,2151	45,5532	61,6368	18,4488	26,1476
11	83,9729	112,2404				



Gambar 2. Profil hasil pengukuran terhadap waktu iradiasi selama 60, 30 dan 15 detik, daya 1500 kWatt

Pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan faktor normalisasi menggunakan beberapa standar acuan. Standar campuran yang disiapkan mengandung unsur Ti, V, Al dan I. Berbeda dengan penyiapan larutan Cu yang dilakukan dengan cara meneteskan sebanyak 50 μL untuk tiap cuplikan, maka pada penyiapan standar campuran dilakukan dengan cara meneteskan masing-masing standar Ti, V, Al dan I sebanyak 100 μL . Perbedaan volume tersebut dapat menyebabkan terjadinya perbedaan dalam migrasi partikel, sehingga dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Hasil yang diperoleh pada pengukuran standar campuran Al, V, I dan Ti disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran standar Al, V, I dan Ti di posisi cuplikan atas dan bawah dengan waktu iradiasi 60 detik pada daya 1500 kWatt

Posisi cuplikan	Pengukuran	Cacahan standar (Cacah/detik)			
		Al	V	I	Ti
Bawah	1	628,4572	41,4869	77,8516	21,9010
	2	620,0917	42,0152	74,2381	26,7205
	3	629,7317	40,4730	72,5105	23,4287
	4	648,8502	39,5233	71,3717	
	5	642,2196			
Atas	1	501,8557	29,4116	58,2956	19,4237
	2	509,1915	32,7224	60,7910	16,5541
	3	509,3009	29,2423	63,9817	21,4166
	4	517,1866	28,6182	62,2229	
	5	502,9357			

Hasil pengukuran rata-rata posisi cuplikan bawah untuk standar Al, V, I dan Ti masing-masing adalah $633,8701 \pm 11,515$ ($n=5$); $40,8746 \pm 1,1050$ ($n=4$); $73,9930 \pm$

2,8295 (n=4) dan $24,0167 \pm 2,0110$ (n=3) cacah/detik. Untuk posisi cuplikan atas nilai cacahan rata-rata standar Al, V, I dan Ti masing-masing adalah $502,0941 \pm 6,1413$ (n=5); $29,9986 \pm 1,8476$ (n=4); $61,3228 \pm 2,4032$ (n=4) dan $19,1315 \pm 2,4444$ (n=3) cacah/detik. Berdasarkan hasil yang diperoleh tersebut, dilakukan perbandingan kedua posisi cuplikan masing-masing unsur standar untuk mendapatkan besarnya nilai faktor normalisasi posisi cuplikan. Nilai faktor normalisasi yang diperoleh untuk standar Al, V, I dan Ti masing-masing adalah 1,2475 ; 1,3625 ; 1,2066 dan 1,2554. Nilai FN yang diperoleh berada pada daerah nilai FN yang diperoleh sebelumnya. Hasil penentuan nilai FN yang diperoleh dari penelitian ini berada pada rentang yang tidak terlalu lebar (<6,2 %). Hasil yang diperoleh tersebut menunjukkan bahwa penentuan nilai FN menggunakan Cu dapat diaplikasikan untuk penentuan berbagai unsur lain. Hal tersebut telah dibuktikan dengan pengukuran nilai FN menggunakan beberapa standar dan diperoleh nilai FN pada orde yang tidak jauh berbeda. Dari hasil yang diperoleh tersebut menunjukkan bahwa perbedaan volum yang digunakan pada persiapan kedua cuplikan di atas masih berada pada suatu daerah kerja yang sama dan tidak berbeda secara nyata.

Hasil faktor normalisasi yang diperoleh pada penelitian ini dapat digunakan untuk mengembangkan penggunaan metode AAN pada fasilitas pneumatik. Penentuan faktor normalisasi posisi iradiasi dapat dimanfaatkan juga untuk meminimalkan jumlah standar yang digunakan dalam metode komparatif. Pada satu wadah iradiasi PE dapat ditempatkan 2 tingkat cuplikan yang terletak dalam wadah kertas saring yang telah di *seal* dengan bungkus plastik, dan dalam satu tingkat dapat ditempatkan 2 cuplikan. Pada metode pembanding, di setiap tingkat ditempatkan 1 cuplikan dan 1 standar, sehingga pada 1 wadah iradiasi PE berisi 2 buah cuplikan dan 2 buah standar. Dengan diaplikasikannya nilai faktor normalisasi posisi iradiasi, maka dalam 1 wadah iradiasi polietilen hanya diperlukan 1 standar sehingga jumlah cuplikan yang dianalisis dapat lebih banyak, penggunaan standar dapat ditekan dan kecepatan analisis dapat

ditingkatkan. Penentuan faktor normalisasi posisi iradiasi sangat bermanfaat ditinjau dari segi efisiensi waktu, tenaga dan biaya.

KESIMPULAN

Karakterisasi faktor normalisasi pada fasilitas pneumatik reaktor TRIGA 2000 Bandung telah dilakukan dan beberapa hasil yang diperoleh adalah :

1. Nilai rata-rata faktor normalisasi yang diperoleh pada iradiasi selama 60, 30 dan 15 detik, daya 1500 kWatt masing-masing adalah 1,2848, 1,2908 dan 1,3348.
2. Pengaruh fluktuasi daya di bawah 2% pada posisi cuplikan atas dan bawah memberikan simpangan rata-rata masing-masing sebesar 3,1699 % dan 1,6238 %. Penentuan FN telah pula dilakukan pada beberapa unsur acuan standar.
3. Nilai rata-rata FN yang diperoleh pada iradiasi 60 detik, daya 1500 kWatt untuk unsur Ti, I, V, dan Al masing-masing adalah 1,2554; 1,2066; 1,3625 dan 1,2475.

Hasil yang diperoleh tersebut dapat digunakan untuk mengembangkan penggunaan metode analisis aktivasi neutron, sehingga dapat lebih mengefisienkan waktu, tenaga dan biaya dalam melakukan analisis multielemen.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Natalia, Lenny Kumalasari, Dedi Sumarna dan seluruh anggota operasi reaktor, atas segala bantuan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. 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