

16*
PENGUKURAN AKTIVITAS ISOTOP N OLEH PERUBAHAN DAYA REAKTOR *)

Widarto
M.Salman Suprawardhana

Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta

ABSTRAK

16*
PENGUKURAN AKTIVITAS ISOTOP N OLEH PERUBAHAN DAYA REAKTOR. Telah dilakukan pengukuran aktivitas radiasi gamma dari isotop N-16* pada permukaan air tangki reaktor Kartini pada daya 25 kW; 50 kW; 75 kW dan 100 kW dengan menggunakan detektor NaI(Tl) berukuran (3 x 3) inchi. Posisi detektor diletakkan pada jarak 40 cm di atas permukaan air pendingin reaktor. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa aktivitas N-16* bertambah untuk daya maksimum yang semakin besar. Pada daya 100 kW (daya maksimum reaktor Kartini) Aktivitas N-168 sebesar 555 10 dps atau 15 /Uci. Dalam satuan dosis ekuivalen, paparan N-16* tersebut besarnya sekitar 0,217 mili Rem per jam. Sumbangan paparan N-16* ini masih sangat rendah sehingga pengaruhnya terhadap lingkungan masih cukup kecil.

ABSTRACT

16*
MEASUREMENTS OF N ACTIVITY ON INCREASING REACTOR POWER. The gamma radiation activity of isotop N16* on the surface of cooling water of Kartini reactor has been measured in 25 kW, 50, kW, 75 kW and 100 kW reactor power by using 3 x 3 inchi NaI(Tl) detector. The position of the detector is 40 cm over the surface of cooling water reactor. It is obtained that N16* activity is increased with power. For 100 kW power (the maximum power of Kartini reactor) the activity is (555 ± 2) 10³ dps. or 15/ Curie. In equivalent dose unit the exposure is about 0,217 milli-Rem per hour. The contribution of N16* activity is low and it does not affect the environment so much.

PENDAHULUAN

Dalam kaitannya dengan segi-segi keselamatan operasi reaktor Kartini, maka salah satu segi yang penting adalah memperhitungkan paparan radiasinya.

Pada saat pengoperasian reaktor, aktivitas sinar gamma yang terbentuk berasal dari reaksi neutron dengan berbagai macam komponen reaktor. Salah satu sumber berasal dari reaksi neutron dengan Oksigen-16. Reaksi neutron dengan Oksigen-16 membentuk Nitrogen-16 dan sinar gamma berenergi 6,29 MeV dan 7,115 MeV menurut reaksi

16 16
O (n,p)N . Oksigen yang teraktivasi berasal dari air pendingin reaktor (H₂O) dan gas Oksigen terlarut dalam air. Neutron aktivasi merupakan neutron cepat dengarn tenaga ambang 11,5 MeV danampang lintang reaksi 41 milibarn. Umur paro dari isotop N-16* ini adalah 7,35 detik. Isotop N-16* ini hanya terbentuk di dalam teras reaktor, hal ini karena populasi neutron (cepat) dianggap hanya terdapat di dalam teras reaktor. Munculnya ke permukaan air pendingin disebabkan oleh konveksi alam, yaitu air dari teras

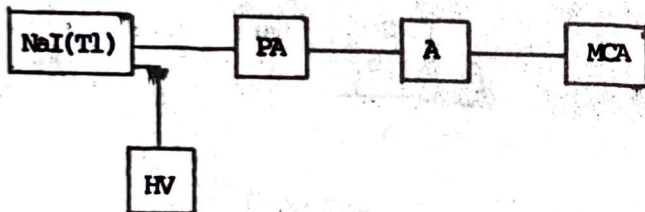
reaktor mengalir ke atas karena perbedaan rapat massa antara air di dalam teras dengan air tangki reaktor.

Pengukuran ini dimaksudkan untuk mengetahui sumbangan paparan radiasi pada saat reaktor sedang operasi.

16*

PERCOBAAN PENGUKURAN AKTIVITAS N

1. Maksud percobaan : 16*
Mengukur aktivitas N pada permukaan air pendingin reaktor untuk beberapa daya yang telah ditentukan.
2. Alat-alat yang digunakan :
 - Detektor NaI (Tl) berukuran (3x3) inchi, Pre-Amplifier (PA), Amplifier (A) dan Multi Channel Analyzer (MCA) type EG & G ORTEC 7010
 - Reaktor yang sedang dioperasikan sesuai dengan daya yang dikehendaki.
3. Rangkaian percobaan :



Gambar -1

4. Cara percobaan :
 - Setting perangkat detektor NaI(Tl) dengan sistem cacah MCA (Gambar 1)
 - Kalibrasi detektor meliputi :
 - Kalibrasi tenaga
 - Kalibrasi efisiensi detektor.
 - Dipasang detektor NaI(Tl) diatas permukaan air tangki reaktor. Dipilih posisi detektor berada pada jarak 40 cm di atas permukaan air pendingin.
 - Reaktor dioperasikan berturut-turut pada daya 25 kw, 50 kw, 75 kw dan 100 kw (daya maksimum reaktor Kartini).
 - Dipilih puncak-puncak tenaga N16* yaitu MeV 6,13 dan 7,115 MeV.
 - Dilakukan pencacahan selama 2000 detik.

KALIBRASI TENAGA.

Kalibrasi tenaga dimaksudkan untuk menentukan jangkau tenaga spektrum sinar gamma pada alat pencacah (MCA). Tinggi pulsa yang dihasilkan oleh detektor dan penguat sebanding dengan tenaga sinar gamma yang mengenai detektor. Cacah pulsa-pulsa yang mempunyai tinggi sama dicatat dalam suatu salur dengan nomor salur tertentu.

Dengan demikian, nomor salur penganalisa salur ganda juga sebanding dengan tenaga sinar gamma. Hubungan antara nomor salur pencacah dengan tenaga radiasi sinar gamma dinyatakan dalam persamaan regresi linier :

$$Y = aX + b \tag{1}$$

di mana ; Y = tenaga radiasi sinar gamma
X = nomor salur pencacah

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n Y_i \sum_{i=1}^n X_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n Y_i \sum_{i=1}^n X_i Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

n = jumlah puncak tenaga

Percobaan kalibrasi tenaga radiasi sinar gamma versus nomor salur MCA digunakan sumber radiasi antara lain :

37 S, 60 Co, 137 Cs, 49 Ca, 27 Mg dan 65 Mn. Hasil kalibrasi ditulis pada tabel-1 berikut :

Tabel-1
Tenaga gamma versus nomor salur

Isotop	E (keV), Y_i	Nomor salur, X_i
Cs	662	333
Mg	844	419
Co	1172	590
	1332	615
Mn	1810	898
	2112,8	1050
Ca	3083	1538
S	3102,4	1554

Substitusi dengan persamaan (1) diperoleh harga $a = 1,99697$ dan $b = 5,58573$ sehingga persamaan regresi linier menjadi :

$$Y = 1,99697 X + 5,58573 \quad (2)$$

Untuk isotop N-16* dengan tenaga radiasi sinar gamma sebesar 7,115 MeV dan 6,13 MeV, maka puncak tenaga masing-masing berada pada nomor salur 3639 dan 3067.

KALIBRASI EFISIENSI DETEKTOR (ϵ)

Detektor radiasi gamma yang digunakan yaitu NaI(Tl) berbentuk silinder dengan ukuran (3 x 3) inchi. Besar efisiensi detektor NaI(Tl) tersebut untuk beberapa tenaga sinar gamma dituliskan pada tabel-2 berikut:

Tabel-2
Tenaga gamma versus efisiensi

E (keV)	Efisiensi (ϵ)
963	4,713 10 ⁻²
1173	5,052 10 ⁻²
1332	4,547 10 ⁻²
1408	3,477 10 ⁻²

Harga efisiensi detektor merupakan fungsi tenaga gamma. Dari tabel-2 dapat didekati menurut bentuk persamaan :

$$\epsilon = 5,175 10^{-2} e^{-0,097E_\gamma} \quad (3)$$

Jadi untuk mengukur aktivitas radiasi isotop N16* dengan tenaga gamma 7,115 MeV, besar efisiensi detektor :

$$\epsilon = 2,595 10^{-2}$$

PENGUKURAN CACAH RADIASI ISOTOP N^{16*}

Detektor NaI(Tl) diletakkan di atas permukaan air pendingin pada jarak 40 cm. Pengamatan aktivitas N16* dipilih nomor salur untuk tenaga gamma 7,115 MeV yaitu nomor salur 3639 (sesuai dengan hasil kalibrasi tenaga).

Hasil cacah radiasi dituliskan pada tabel-3 sebagai berikut :

Tabel-3

Tenaga (kW)	Cacah perdetik
25	10
50	19
75	32
100	55

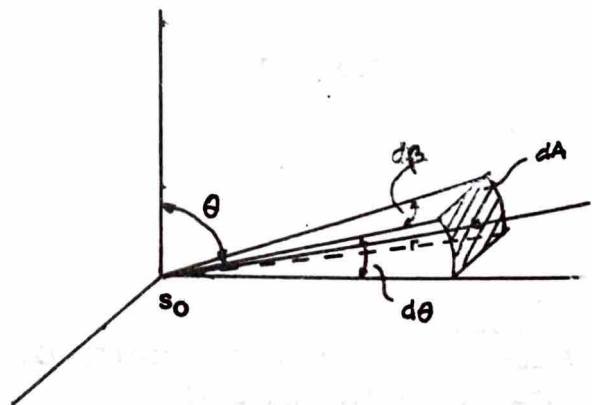
PEMBAHASAN

Akan dihitung aktivitas dan paparan radiasi gamma dari isotop N16* dengan memanfaatkan data pada tabel-3.

Bahwa luasan permukaan air pendingin reaktor merupakan sumber radiasi berbentuk bidang lingkaran.

Berawal dari asumsi suatu sumber titik, maka fluks radiasi gamma ϕ_γ yang berjarak r (cm) dari sumber titik S ditulis :

$$\phi_\gamma = \frac{S}{A} \quad (4)$$



Gambar 2

di mana $A = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} r^2 \sin \theta d\theta d\phi = 4\pi r^2$
Jadi fluks gamma pada jarak r (cm) dari sumber titik S besarnya

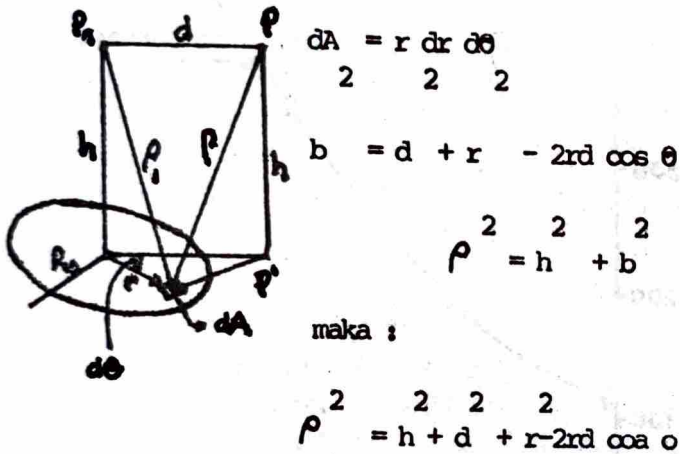
$$\phi_\gamma = \frac{S}{4\pi r^2} \quad (\text{foton cm}^{-2} \text{ s}^{-1}) \quad (5)$$

Dengan demikian, dianggap bahwa sumber bidang merupakan kumpulan titik-sumber titik yang terdistribusi merata dengan elemen luar dA , sehingga dapat ditulis :

$$d\phi = \frac{S dA}{4\pi r^2} \quad (6)$$

di mana $\frac{S}{A}$ = kuat sumber tiap satuan luas.

Gambar-3 berikut menunjukkan sumber radiasi berbentuk luasan bidang lingkaran.



Sehingga rapat fluks foton di titik P menjadi :

$$\phi = \frac{S}{4\pi} \int_0^R \int_0^{2\pi} \frac{r dr d\theta}{(h^2 + d^2 + r^2 - 2rd \cos \theta)^2} \quad (7)$$

diasumsikan bentuk integral :

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\theta}{1 + a \cos \theta} = \frac{2\pi}{\sqrt{1 - a^2}} \text{ untuk : } a < 1$$

maka persamaan (7) menjadi :

$$\phi = \frac{S}{2A} \int_0^R \frac{r dr}{\sqrt{(h^2 + d^2 + r^2)^2 - 4r^2 d^2}}$$

misalkan : $r^2 = x$ maka persamaan menjadi P

$$\phi = \frac{S}{4A} \int_0^{R^2} \frac{dx}{\sqrt{x^2 + 2(h-d)x + (h+d)^2}}$$

Penyelesaian akhir menjadi :

$$\phi = \frac{S}{4A} \ln \left[\frac{2x + (h-d) + \sqrt{(2x + (h-d))^2 + 4dh}}{2h} \right] \quad (8)$$

Dipilih posisi detektor simetris di atas permukaan sumber bidang yaitu di titik P1 (Gambar-3), sehingga $d = 0$, maka persamaan (8) menjadi :

$$\phi_r = \frac{S}{4} \ln \left[\frac{R^2 + h}{2h} \right] \quad (9)$$

Untuk mengukur aktivitas radiasi, perlu diketahui faktor efisiensi detektor (). Efisiensi detektor ditulis :

$$\epsilon = \frac{C}{A} \quad (10)$$

di mana : C = laju cacah (cacah perdetik)
A = Aktivitas radiasi (foton perdetik)

Besar aktivitas radiasi pada medium seluas detektor, L_d (cm^2) dengan fluks radiasi gamma, ϕ_γ (foton $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) adalah :

$$A = \phi_\gamma L_d \rightarrow \phi_\gamma = \frac{C}{\epsilon L_d} \quad (11)$$

Substitusi persamaan (9), (10) dan (11) menjadi :

$$\frac{S}{A} = \frac{4C}{\epsilon L_d} \ln \left[\frac{R^2 + h}{2h} \right] \quad (\text{foton } \text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}) \quad (12)$$

Diketahui bahwa permukaan air pendingin reaktor merupakan sumber radiasi berbentuk bidang lingkaran. Jika kuat sumber tiap satuan air pendingin $R = 95 \text{ cm}$, maka aktivitas total di luas adalah S (foton $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) dan jari-jari A

seluruh permukaan air pendingin tersebut adalah :

$$A_p = \pi R^2 S \quad (13)$$

di mana :

$$A_p = \text{aktivitas total (foton s}^{-1}\text{)}$$

Dan paparan radiasi ditulis :

$$D = S \times 0,123521 \times 10^{-4} \mu_e E_\gamma \text{ (Rem s}^{-1}\text{)} \quad (14)$$

di mana : $\mu_e = \text{atenuasi udara} = 3,5 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$
 $E_\gamma = 7,115 \text{ MeV}$

Tabel 4 berikut ini menunjukkan hasil-hasil perhitungannya

Tabel 4

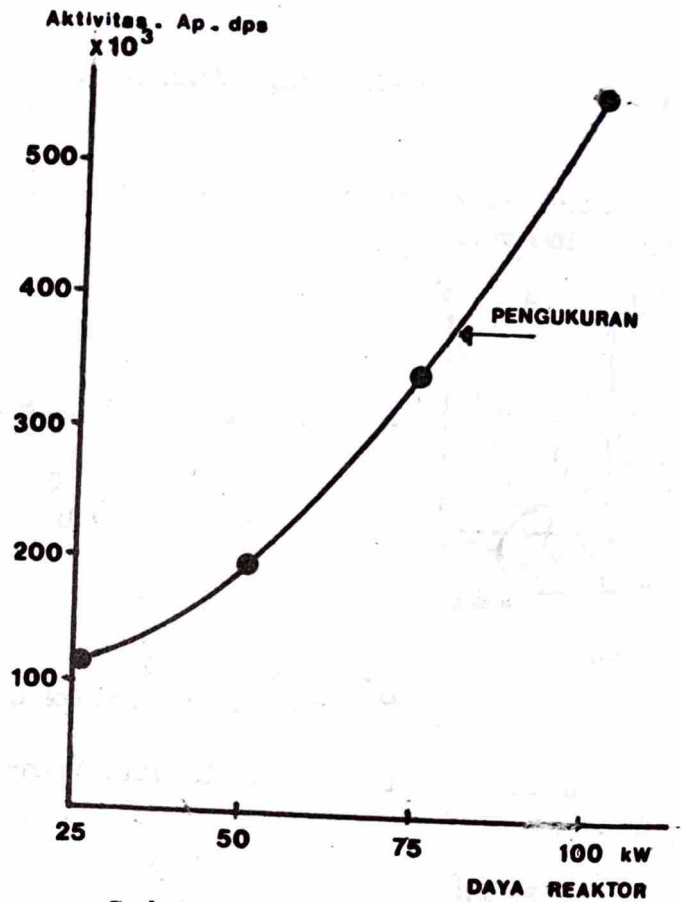
Daya (kW)	C (cacah S ⁻¹)	S _A (foton s ⁻¹ cm ⁻²)	A _p (foton s ⁻¹)	D (mili rem/Jam)
25	10	3.831	108,631 10 ³	0,042
50	19	6.673	189,187 10 ³	0,074
75	32	11,613	329,238 10 ³	0,129
100	55	19,570	554,846 10 ³	0,217

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan (Tabel-4) menunjukkan bahwa :

- Aktivitas N16* bertambah untuk daya yang semakin besar.
- Pada daya 100 kW (daya maksimum reaktor Kartini) paparan radiasi 0,217 mili rem per jam.
- Dengan demikian sumbangan radiasi dari isotop N16* ini masih sangat rendah sehingga pengaruhnya terhadap lingkungan masih sangat kecil.

Secara grafik, hasil perhitungan dari aktivitas radiasi N-16* di seluruh permukaan air pendingin reaktor dapat ditunjukkan pada gambar-4 sebagai berikut :



Gambar 4 : Aktivitas Versus Daya

DAFTAR PUSTAKA

1. "Handbook on Nuclear Activation Cross Section". Technical Report Series No.156, IAEA, Vienna, 1974 (pp.91)
2. Kenneth R. Kose and Walter R. Nelson. "Concepts of Radiation Dosimetry", (pp. 111 - 112). Department of Radiation Therapy Joint Centre for Radiation Therapy, Harvard Medical School.
3. Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi "Keputusan Dirjen BATAN No.24/DJ/II/1983. (pp.10-14)
4. Sri Kuncoro, UI. 1984 "Pengamatan Aktivitas N16* pada awal operasi reaktor dan kemungkinan hubungannya dengan kelarutan oksigen dalam air pendingin".
5. Spiegel Murray R. "Mathematical Handbooks of Formula and Tables" (pp.96)