

PERHITUNGAN EFISIENSI DETEKTOR SINTILASI UNTUK PEMANTAUAN RADIOAKTIVITAS BETA

SULIYANTO, MURADI

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN, Serpong

Abstrak

PERHITUNGAN EFISIENSI DETEKTOR SINTILASI UNTUK PEMANTAUAN RADIOAKTIVITAS BETA. Perhitungan Efisiensi Detektor Sintilasi untuk Pemantauan Radioaktivitas Beta telah dilakukan. Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk mencari efisiensi detektor sintilasi untuk menentukan radioaktivitas beta di permukaan daerah kerja secara tidak langsung. Metoda yang digunakan adalah membandingkan hasil cacah netto sumber standar beta, dengan perhitungan aktivitasnya pada waktu itu. Peralatan yang digunakan: detektor sintilasi BP4/4A, Portable Scaler Ratemeter (PSR8) dan standar Sr-90/Y-90 pemancar radionuklida datar (planar). Detektor sintilasi BP4/4A optimal dioperasikan menggunakan PSR8 dengan parameter: Jendela pada skala 2,0; Threshold pada skala 5,0 dan Tegangan tinggi (HV) pada skala 4,3 (645 volt). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi detektor sintilasi BP4/4A untuk pemantauan radioaktivitas beta secara tidak langsung adalah $(23,60 \pm 1,44) \%$. Efisiensi detektor sintilasi BP4/4A tersebut dapat digunakan untuk pemantauan radioaktivitas beta secara tidak langsung.

Kata kunci : Radioaktivitas beta, detektor sintilasi, efisiensi

Abstract

CALCULATION OF SCINTILLATION DETECTOR EFFICIENCY FOR BETA RADIOACTIVITY MONITORING. Calculation of Scintillation Detector Efficiency For Beta Radioactivity Monitoring has been performed. The purpose of this calculation is to obtain scintillation detector efficiency for indirect beta radioactivity counting in surface area of work place. The method by comparing the results of the net count of standard beta source with the actual activity at that time. Equipment used: scintillation detector BP4/4A, Portable Scaler Ratemeter (PSR8) and standard emission of Sr-90/Y-90 radionuclide planar. Scintillation detector BP4/4A operated optimum using the PSR8 with parameters: Window on a scale of 2.0; Threshold on a scale of 5.0 and a high voltage (HV) on a scale of 4.3 (645 volts). The calculation result shows that the efficiency of scintillation detectors BP4/4A for indirect beta radioactivity monitoring is $(23.60 \pm 1.44)\%$. The efficiency of scintillation detector BP4/4A can be used for indirect beta radioactivity monitoring.

Keywords : beta radioactivity, scintillation detector, efficiency

PENDAHULUAN

Instalasi Radiometalurgi (IRM) berfungsi untuk melakukan penelitian, pengujian dan pemeriksaan terhadap elemen bakar pasca iradiasi dan komponen reaktor. Fasilitas IRM terdiri dari laboratorium dan gedung *Media & Energy Supply* (MES). Potensi bahaya pada pengoperasian IRM adalah kontaminasi alfa dan beta. Potensi bahaya kontaminasi terjadi

karena adanya bahan radioaktif yang lolos atau keluar dari pengungkung/wadah (*hot cell, glove box dan fume hood*) ke daerah kerja. Kontaminasi dapat terjadi pada lantai, dinding, langit-langit, fasilitas kerja, tempat yang dianggap potensial seperti tempat keluar masuknya material radioaktif dan terdispersi ke daerah kerja. Pencegahan adanya potensi kontaminasi ke daerah yang lebih bersih dilakukan dengan pengaturan aliran udara, pembatasan daerah kontaminasi, pemantauan

kontaminasi dan penggunaan bahan pembungkus sumber radioaktif. Peralatan atau instrumen radiasi yang diperlukan: perlengkapan proteksi radiasi, seperti: baju, sepatu kerja, sarung tangan, *masker*, baju *apron* berperisai Pb, bahan-bahan dekontaminasi dan lain lain ^[1].

Pemantauan tingkat kontaminasi di daerah kerja dilakukan melalui pengukuran radioaktivitas di udara dan di permukaan. Pemantau kontaminasi beta di permukaan daerah kerja tersedia *surveymeter* kontaminasi untuk pengukuran langsung maupun tidak langsung. Pemantauan kontaminasi zat radioaktif pada permukaan persatuan luas dengan memperhatikan sifat dan keadaan fisika serta kimia zat radioaktif tersebut. Pemantauan kontaminasi di permukaan secara tidak langsung dilakukan melalui uji usap (*smear test*), pada permukaan daerah kerja yang sulit dijangkau atau permukaan yang tidak rata. Pengambilan cuplikan dan pencacahannya dilakukan secara tidak terintegrasi, sehingga data yang dihasilkan merupakan data yang terputus. Cuplikan yang terkumpul pada kertas filter, kemudian dicacah dengan alat pencacah cuplikan secara total (*gross counting*) ^[1].

Pemantauan radioaktivitas beta secara tidak langsung dilakukan dengan mengambil cuplikan di permukaan daerah kerja maupun alat, kemudian dilakukan pencacahan menggunakan detektor sintilasi. Latar belakang masalah yang akan dibahas adalah untuk mengetahui efisiensi detektor, sebelum digunakan untuk pemantauan tingkat radioaktivitas beta secara tidak langsung. Tujuan dari kegiatan ini adalah mencari efisiensi detektor sintilasi untuk pemantauan radioaktivitas beta dengan menggunakan *Portable Scaler Ratemeter (PSR 8)*, karena cacah radioaktivitas harus diuji pada waktu yang tertentu.

TEORI

Pemantauan radioaktivitas di permukaan secara tidak langsung, dilakukan karena *surveymeter* kontaminasi tidak dapat menjangkau posisi yang sulit dan permukaan yang akan diukur tidak rata. Pengukuran tingkat radioaktivitas permukaan pada posisi tersebut, maka dilakukan dengan cara mengusap permukaan yang terkontaminasi menggunakan

kertas pencuplik khusus, pada luasan usap $\pm 100 \text{ cm}^2$ dan dicacah untuk mendapatkan cacahan total (*gross*). Fraksi yang tercuplik atau terambil pada kertas *filter* ditetapkan sebesar 10%. Kertas *filter* diusapkan ke permukaan dengan tekanan sedang (tidak merusak kertas). Tingkat radioaktivitas pada permukaan, dihitung menggunakan rumus ^[2]:

$$A_p = \frac{C}{L} \times \frac{100}{E_f} \times \frac{100}{F} \quad (1)$$

dengan

A_p = Radioaktivitas pada permukaan (Bq/cm²)

C = laju cacahan (cps)

L = luas permukaan yang diusap (100 cm²)

E_f = efisiensi pencacah (%)

F = fraksi yang terambil (10%).

Radioaktivitas adalah jumlah inti yang meluruh per satuan waktu, dituliskan dengan rumus:

$$\frac{dn}{dt} = -\lambda N \quad (2)$$

dengan :

λ = konstanta peluruhan radioaktif

N = jumlah inti radioaktif

Radioaktivitas pada suatu saat (A_t) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad (4)$$

$$A_t = A_0 \cdot \left[\frac{1}{2} \right]^{\frac{T}{T_{1/2}}} \quad (5)$$

dengan :

$T_{1/2}$ = waktu yang dibutuhkan oleh inti radioaktif untuk meluruh hingga aktivitasnya tinggal separo dari aktivitas semula.

T = selang waktu dari awal hingga saat ini dari sumber standar.

A_0 = radioaktivitas sumber standar semula.

A_t = radioaktivitas sumber standar pada saat ini (cps).

Radiaktivitas netto sumber standar (A_n), dapat dihitung dengan rumus:

$$A_n = \frac{A_c}{t} \quad (6)$$

dengan :

A_n = radioaktivitas sumber standar netto, cps

A_c = hasil cacah sumber standar dikurangi cacah latar

t = waktu cacah (detik)

Effisiensi pencacahan, dapat dihitung dengan rumus ^[2]:

$$E_f = \frac{A_n}{A_t} \times 100 \% \quad (7)$$

dengan :

E_f = efisiensi pencacahan

A_n = radioaktivitas sumber standar netto (cps)

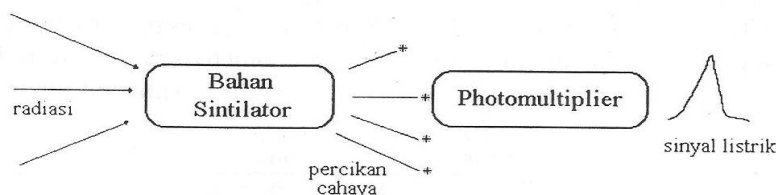
A_t = radioaktivitas sumber standar pada saat ini (cps)

Setiap alat cacah radioaktivitas dirancang dan diuji untuk mengukur suatu cakupan spesifik dari radioaktivitas. Respon terhadap adanya radioaktivitas tergantung ^[3] :

1. jenis dan energi dari sumber radiasi atau radionuklidanya.
2. efisiensi alat untuk mencacah masing-masing radionuklida, ditentukan oleh karakteristik detektor, lebar jendela dan dimensi kisi-kisi pelindung.
3. geometri pencacahan meliputi dimensi dari detektor.
4. pengaruh *noise* listrik, umur atau kondisi dari komponen alat cacah radioaktivitas.

Alat cacah radioaktivitas harus diuji pada waktu yang tertentu atau setelah perbaikan yang mungkin dapat mempengaruhi unjuk kerja alat tersebut. Sasaran hasil pengujian adalah untuk memperoleh atau mengkonfirmasi efisiensi pencacahan (efisiensi cacah per disintegrasi) dari alat cacah radioaktivitas terhadap radionuklida yang sesuai. Penggunaan efisiensi pencacahan adalah untuk mengkonversi pembacaan *count per second* atau cps (s^{-1}) ke satuan Bq.Cm². Para pengguna alat cacah radioaktivitas perlu menyimpan sertifikat uji efisiensi terakhir dan perlu melakukan pemeriksaan rutin terhadap alat tersebut.. Detektor di dekatkan pada jarak sekitar 0,5 cm dari sumber radiasi untuk memperoleh pembacaan yang akurat. *Photomultiplier* yang terdapat pada tabung *probe* sensitip terhadap kerusakan karena guncangan dan terpengaruh oleh medan magnet. Bahkan kerusakan kecil pada lapisan tipis *foil* menyebabkan radiasi yang berasal dari cahaya lingkungan dapat masuk ke *photomultiplier* ^[3].

Detektor sintilasi terdiri dari bahan sintilator dan tabung 'photomultiplier'. Bahan sintilator berfungsi untuk menangkap radiasi dan mengubah energinya menjadi percikan cahaya yang dihasilkan bahan sintilator menjadi sinyal listrik. Energi radiasi yang mengenai bahan sintilator akan diserap oleh atom-atomnya sehingga terdapat beberapa elektron yang tereksitasi (loncat ke orbit yang lebih tinggi). Beberapa saat kemudian (orde piko detik), elektron-elektron yang terksitasi tadi akan kembali ke keadaan dasarnya, melalui beberapa tingkat energi, dengan memancarkan foton (percikan cahaya). Semakin tinggi energi radiasi yang mengenainya semakin banyak elektron yang tereksitasi sehingga semakin banyak pula percikan cahaya yang dipancarkan ^[4]. Proses pembentukan sinyal listrik pada detektor sintilasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pembentukan sinyal listrik pada detektor sintilasi

Di dalam photomultiplier terdapat photokatoda yang akan melepaskan elektron

bila dikenai percikan cahaya (efek fotolistrik). Bila antara fotokatoda dan beberapa dinoda

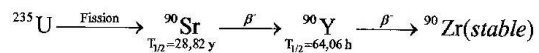
diberi beda potensial secara bertingkat, misalnya photokatoda 0 Volt; dinode pertama 100 Volt; dinode kedua 200 Volt dan seterusnya, maka elektron yang dilepaskan oleh fotokatoda akan dipercepat menuju ke anode pertama sehingga ketika elektron yang berenergi tersebut menubruknya, maka akan dilepaskan beberapa elektron demikian seterusnya sampai beberapa buah dinoda (biasanya 10 buah). Pada dinoda terakhir akan terkumpul elektron dengan jumlah yang sangat banyak. Kumpulan elektron tersebut dapat diukur sebagai tegangan (pulsa) ataupun arus listrik. Pada detektor sintilasi, tegangan tinggi diperlukan untuk membuat beberapa tingkat perbedaan potensial bagi beberapa dinoda, biasanya menggunakan rangkaian "voltage divider". Semakin tinggi tegangan yang diberikan perbedaan potensial antar dinoda semakin besar sehingga multiplikasi elektron semakin banyak. Hal ini selain menyebabkan jumlah muatan yang semakin banyak (pulsa semakin tinggi) juga akan menyebabkan kemungkinan pelepasan elektron secara spontan semakin besar (terbentuk pulsa-pulsa palsu yang bukan karena radiasi). Tegangan operasi detektor sintilasi biasanya ditentukan dengan mencari tegangan tinggi [4].

Probe beta tipe BP4/4A adalah detektor sintilasi dengan daerah peka sebesar 19,6 cm² untuk memantau kontaminasi beta. Sintilasi fosfor yang direkatkan di belakang jendela detektor, merupakan suatu lapisan *anthracene*. Pipa *photomultiplier* dan jaringan film resistor dipasang di tangkai *probe* BP4/4A tersebut. Efisiensi detektor merupakan persentase deteksi dari partikel beta yang dipancarkan didalam 2π *steradians* terhadap distribusi permukaan yang sama (daerah yang sama) dengan kisi-kisi permukaan *probe* berjarak 4 mm dari permukaan sumber. *Probe* beta tipe BP4/4 direkomendasikan untuk digunakan dengan [5]: *Ratemeter*, *Portable Contamination Monitor* dan *Contamination Monitor*. *Probe* sintilasi beta sensitivitas tinggi digunakan untuk radiasi energi beta rendah, sedang dan tinggi. Spesifikasi *probe* sintilasi beta, sebagai berikut:

1. Efisiensi dengan sumber standar C14 (% emisi permukaan): BP4/4A 24%; BP4/4B 15%; BP4/4C 11%.
2. Efisiensi dengan sumber standar Co60 (% emisi permukaan): BP4/4A 36%; BP4/4B 25%; BP4/4C 21%.

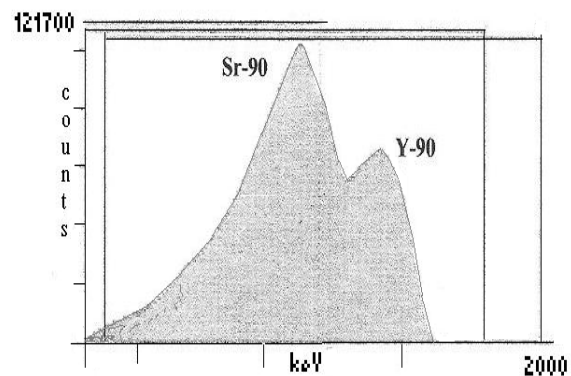
3. Efisiensi dengan sumber standar Cl36 (% emisi permukaan): BP4/4A 44%; BP4/4B 32%; BP4/4C 25%.
4. Efisiensi dengan sumber standar Sr90/Y90 (% emisi permukaan): BP4/4A 46%; BP4/4B 34%; BP4/4C 27%.

Sumber standar yang digunakan untuk penentuan efisiensi detektor sintilasi BP4/4A ini adalah Sr90/Y90. Skema peluruhan Sr-90/Y-90 dapat dilihat pada Gambar 2 [6].



Gambar 2. Skema peluruhan Sr-90/Y-90

Spektrum beta dari sumber standar Sr-90/Y-90 merupakan 2 komponen beta di dalam susunan spektra (Sr-90/Y-90). Kanal energi yang digunakan di antara 50 -800 keV. Spektra beta dari sumber standar Sr-90/Y-90 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektra beta dari Sumber standar Sr-90/Y-90

Alat cacah cuplikan *Portable Scaler ratemeter (PSR 8)* adalah suatu *ratemeter* portabel yang menyediakan fungsi-fungsi penting untuk pencacahan integral atau penganalisa pulsa saluran tunggal dari detektor radiasi. Alat *PSR 8* merupakan kombinasi dari suatu ketelitian, kesederhanaan dan keandalan operasi berderajat tinggi di dalam suatu unit yang portabel. Alat *PSR 8* berisi suatu unit tegangan tinggi, *amplifier*, penganalisa saluran tunggal, *scaler*, pengatur waktu, serta *ratemeter analog*. Pada alat *PSR 8* terdapat 2 konektor yaitu untuk detektor sintilasi dan *probe GM*, dimana sinyal detektor diumpan secara langsung ke dalam *amplifier* sepanjang kabel yang memasok tegangan tinggi ke *probe*. Suatu eksternal *preamplifier* tidak diperlukan detektor

sintilasi, seluruh pembesaran dilakukan di dalam alat *PSR 8*. Penganalisa dapat digunakan dengan 2 mode sebagai berikut^[7] :

Moda *INTEGRAL* jika suatu keluaran sinyal diproduksi kapan saja kelebihan sinyal detektor yang diperbesar adalah level *THRESHOLD*.

Moda *DIFERENSIAL* jika suatu keluaran dihasilkan ketika kepalsuan sinyal detektor yang diperbesar di dalam 'jendela' yang digambarkan oleh level *Threshold* dan lebar jendela .

Keluaran pulsa dari penganalisis diberi umpan ke suatu *ratemeter* (yang memberi suatu indikasi yang kontinyu dari laju cacah dalam cacah per sekon/cps).

TATA KERJA

Metode yang digunakan untuk mencari efisiensi detektor adalah membandingkan hasil cacah netto standar beta dengan perhitungan aktivitasnya pada waktu itu. Peralatan yang digunakan digunakan untuk mencari efisiensi detektor: detektor sintilasi BP4/4A, *Portable Scaler Ratemeter (PSR 8)* dan standar Sr-90/Y-90 pemancar radionuklida datar (planar). Langkah kerja untuk mencari efisiensi detektor sintilasi BP4/4A, sebagai berikut^[7] :

1. Pengaturan *PSR 8*:
 - a. Detektor sintilasi dihubungkan ke soket *SCINT*, semua tombol diputar ke posisi *OFF* dan tegangan (*HV*) ke posisi 0.
 - b. Putar tombol *HV* diputar ke posisi *HV CHECK* kemudian dinaikkan ke posisi skala 1,50.
 - c. Moda *DIFERENSIAL* dipilih, *GAIN* diatur ke posisi X1 dan *RATEMETER* ke posisi 10^3 ,
 - d. Tombol *JENDELA* dan *THRESHOLD* diputar pada skala yang tepat,
 - e. Sumber Sr-90/Y-90 diletakkan tepat didepan detektor, tombol *HV ON (RATE)* diputar,
 - f. *HV* dinaikkan perlahan sampai diperoleh laju cacah puncak dan dinaikkan lagi seperlunya,
 - g. Pada puncak laju cacah yang dipilih, kemudian rem tombol *HV* dikunci.
2. Pencacahan radioaktivitas background (latar):
 - a. detektor sintilasi diletakkan tanpa sumber standar,

- b. tombol *PRESET TIME* diatur pada posisi 1 menit,
 - c. pencacahan latar dilakukan 10 kali,
 - d. masing-masing laju cacah dicatat.
3. Pencacahan radioaktivitas Sr-90/Y-90:
 - a. detektor sintilasi BP4/4 diletakkan pada jarak $\pm 0,5$ cm diatas sumber standar Sr-90/Y-90,
 - b. tombol *PRESET TIME* diatur pada posisi 1 menit,
 - c. pencacahan sumber beta dilakukan 10 kali,
 - d. masing-masing laju cacah dicatat.
 4. Perhitungan radioaktivitas sumber standar Sr-90/Y-90 netto hasil pencacahan,
 5. Perhitungan radioaktivitas sumber standar Sr-90/Y-90 berdasarkan koreksi waktu paro pada waktu itu.
 6. Perhitungan persentase efisiensi detektor BP4/4 dengan membandingkan radioaktivitas sumber standar Sr-90/Y-90 netto hasil pencacahan dengan radioaktivitasnya berdasarkan koreksi waktu paro pada waktu itu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat ukur radiasi yang yang dicari efisiensinya adalah: detektor sintilasi tipe BP4/4 nomor seri 5391 dengan luas probe $\pm 21,23$ cm², menggunakan *Ratemeter PSR8* nomor seri 310 dan Sumber standar Sr-90/Y-90 yang mempunyai aktivitas awal sebesar 220 Bq dengan luas permukaan sekitar 150 cm². Arah detektor tegak lurus pada sumbu berkas radiasi dengan medan radiasi 2π dengan jarak hampir menempel ($\pm 0,5$ cm). Pengoperasian detektor sintilasi BP4/4A menggunakan *PSR 8* optimal dengan mengatur: Jendela pada skala 3,2; *Threshold* pada skala 5,0, sedangkan puncak Tegangan tinggi (*HV*) untuk pencacahan sumber standar Sr-90/Y-90 diperoleh pada skala 4,3 (645 volt). Hasil penentuan tegangan operasi sumber standar Sr-90/Y-90 tersebut dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan grafik tegangan operasi vs laju cacah Sr-90/Y-90 dapat dilihat pada Gambar 4.

Perhitungan aktivitas Sr-90/Y-90 :

$$T_{1/2} = 28,79 \text{ tahun} = 10508,35 \text{ hari}$$

$$A_0 = 220 \text{ Bq, pada 2 Maret 1992}$$

Tanggal penentuan efisiensi detektor 14 Mei 2009, $T = 6277$ hari.

Radioaktivitas sumber standar Sr-90/Y-90 pada tanggal 14 Mei 2009 = $220 \times (1/2)^{T/T_{1/2}}$
= 145,41 cps.

Hasil pengukuran laju cacah sumber standar Sr-90/Y-90 dan latar dapat dilihat pada Tabel 2.

Aktivitas sesungguhnya dari sumber standar Sr-90/Y-90 rata-rata = $(34,32 \pm 2,09)$ cps.

Perhitungan efisiensi detektor sintilasi BP4/4, sebagai berikut :

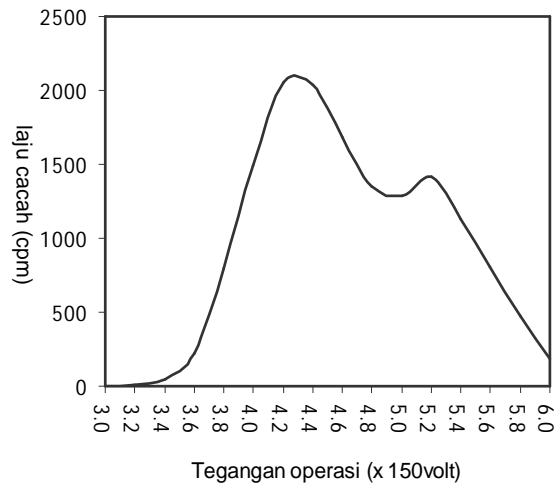
$$E_f = \frac{A_n}{A_t} \times 100 \% = (23,60 \pm 1,44) \%$$

Tabel 1. Penentuan tegangan operasi sumber standar Sr-90/Y-90

Tegangan operasi (x 150 volt)	Laju cacah (cpm)
3,0	0
3,2	12
3,4	42
3,6	224
3,8	793
4,0	1495
4,2	2059
4,4	2035
4,6	1688
4,8	1355
5,0	1288
5,2	1419
5,4	1129
5,6	805
5,8	476
6,0	185

Efisiensi detektor sintilasi BP4/4A untuk pemantauan radioaktivitas beta adalah $(23,60 \pm 1,44) \%$, sedangkan efisiensi sumber standar Sr-90/Y-90 (% emisi permukaan) dari spesifikasi peralatan sintilasi beta BP4/4A adalah 46%. Efisiensi detektor sintilasi BP4/4A tersebut dapat digunakan untuk pemantauan radioaktivitas beta secara tidak langsung,

menggunakan *Portable Scaler Ratemeter (PSR 8)*.



Gambar 4. Tegangan operasi vs laju cacah Sr-90/Y-90

Tabel 2. Hasil pengukuran radioaktivitas sumber standar Sr-90/Y-90 dan cacah latar

Radioaktivitas Sr-90/Y-90 (cpm)	Cacah latar (cpm)
2059	31
2121	33
2060	32
2033	32
2135	30
2137	34
2088	32
2082	31
2158	33
2038	30

KESIMPULAN

Pengoperasian detektor sintilasi BP4/4A menggunakan *PSR 8* optimal dengan mengatur: Jendela pada skala 3,2; *Threshold* pada skala 5,0, sedangkan puncak Tegangan tinggi (HV) untuk pencacahan sumber standar Sr-90/Y-90 diperoleh pada skala 4,3 (645 volt). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi detektor sintilasi BP4/4A untuk pencacahan sumber standar Sr-90/Y-90 adalah $(23,60 \pm$

1,44) %. Detektor sintilasi BP4/4A dapat digunakan untuk pemantauan radioaktivitas beta di permukaan daerah kerja dan peralatan secara tidak langsung (*smear test*) dengan menggunakan PSR 8.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada rekan-rekan Bidang Keselamatan - Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, yang telah membantu penyusunan makalah ini mulai dari persiapan, pencarian pustaka, serta pelaksanaan kegiatan.

DAFTAR PUSTAKA

1. BATAN, PTBN, "Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Radiometalurgi", revisi 6, PTBN, Serpong, 2006.
2. MARTIN A. and HARBINSON S.A., *An introduction to radiation protection*, London, 1986.
3. IAEA, International Atomic Energy Agency, *practical radiation technical manual, workplace monitoring for radiation and contamination*, Vienna, 2004.
4. BATAN, Instrumentasi nuklir dan spektroskopi, Diklat Keahlian Dasar XIII, Pusat Pendidikan dan Latihan, 1997.
5. ANONIM, *instruction manual for beta probe type BP4/4, NE TECHNOLOGY LIMITED*, Reading England, 1989.
6. BARRIO G., OSSO J.A., *Development of methodology for the preparation of ^{90}Sr - ^{90}Y generators*, *International Nuclear Atlantic Conference-INAC 2007*, Barzil, 2007.
7. ANONIM, *Portable Scale Ratemeter PSR 8 manual, nuclear enterprises limited*, England, 1986.