

## PROSES UJI KUALITAS PRODUK $^{99}\text{Mo}$ HASIL BELAH $^{235}\text{U}$ DI PUSAT PRODUKSI RADIOISOTOP PERIODE 1995 -1996

Kadarisman W, Imas Komala, Adang HG., Ibon S., M.Sayad, Djoharly,  
Evi Sovilawati, Martalena, Togar M. Ritonga, Yayan Tahyan, Dadang H.,  
Herlina, Karyadi, Enny L., Endang S., Mujinah, Dede Kurniasih

### ABSTRAK

**PROSES UJI KUALITAS PRODUK  $^{99}\text{Mo}$  HASIL BELAH  $^{235}\text{U}$  DI PUSAT PRODUKSI RADIOISOTOP PERIODE 1995 -1996.** Telah dilakukan evaluasi kualitas produk  $^{99}\text{Mo}$  hasil belah  $^{235}\text{U}$ . Konsentrasi radioaktivitas, kemurnian radionuklida, pengotor radionuklida pemancar gamma dan alfa telah dibahas. Sebanyak 44 buah cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  yang diproses dari Januari 1995 sampai dengan Juni 1996 di Pusat Produksi Radioisotop - BATAN, telah diperiksa dan dievaluasi memenuhi persyaratan kualitas sesuai yang ditetapkan oleh Medy-Physics Inc dan layak digunakan untuk pembuatan generator  $^{99}\text{Mo}$  -  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  berkisar dari 280 mCi/mL sampai dengan 4500 mCi/mL pada saat kalibrasi. Konsentrasi radioaktivitas total pengotor radionuklida pemancar alfa yang ditetapkan dengan pencacah alfa Eberlin berkisar antara  $0,04 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  sampai dengan  $4,55 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ , yang menunjukkan semua produk  $^{99}\text{Mo}$  yang dianalisis memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan, maksimum  $1,0 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ .

Demikian juga konsentrasi radioaktivitas pengotor radionuklida pemancar gamma tidak ada yang melampaui persyaratan yang telah ditetapkan, yaitu  $^{131}\text{I} < 0,05 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ ,  $^{103}\text{Ru} < 0,05 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  dan total nuklida pemancar gamma yang lain  $< 0,1 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ . Konsentrasi radioaktivitas nuklida pengotor  $^{131}\text{I}$  terbesar adalah  $0,0125 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ , untuk  $^{103}\text{Ru}$   $0,032 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ , dan untuk total nuklida lainnya  $0,08031 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ . Nuklida pemancar gamma yang paling dominan mengotori produk  $^{99}\text{Mo}$  hasil belah  $^{235}\text{U}$  adalah radioiodium yang terdiri dari isotop  $^{131}\text{I}$  (dalam 42 batch),  $^{132}\text{I}$  (dalam 37 batch) dan isotop  $^{133}\text{I}$  (dalam 39 batch). Sedangkan yang paling sedikit adalah nuklida  $^{140}\text{Ba}$  dan  $^{132}\text{Te}$ , masing-masing dalam 1 batch dari jumlah 44 batch.

### ABSTRACT

**QUALITY CONTROL PROCESS OF  $^{99}\text{Mo}$  FISSION PRODUCT IN RADIOISOTOPE PRODUCTION CENTER 1995 - 1996.** Quality evaluation of  $^{99}\text{Mo}$  fission was carried out. Radioactive concentration, impurities of gamma and alpha emitting radionuclides were investigated. Fourty four batches of  $^{99}\text{Mo}$  were processed from January 1995 to June 1996 in Radioisotope Production Center - BATAN, were investigated for the agreement with the quality requirement set out by Medy-Physics Inc. and their suitability for  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  generator production. Radioactive concentration of  $^{99}\text{Mo}$  solutions were found between 280 mCi/mL to 4500 mCi/mL at calibration time. Radioactive concentration of total alpha emitting impurities were between  $0,04 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  to  $4,55 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  which complied with the impurity limit of  $1,0 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  at calibration time.

Radioactive concentration of gamma emitting impurities of all 44  $^{99}\text{Mo}$  solutions complied with quality requirements set out by Medy-Physics Inc. i.e.  $^{131}\text{I} < 0.05 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ ,  $^{103}\text{Ru} < 0.05 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  and others gamma emitter  $< 0.1 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ . The highest radioactive concentration of impurities observed were  $0.0125 \mu\text{Ci } ^{131}\text{I/mCi } ^{99}\text{Mo}$ ,  $0.032 \mu\text{Ci } ^{103}\text{Ru/mCi } ^{99}\text{Mo}$  and other was  $0.0803 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ . Major gamma emitting impurities were radioiodine, i.e.  $^{131}\text{I}$  in 42 batches,  $^{132}\text{I}$  in 37 batches and  $^{133}\text{I}$  in 39 batches, while  $^{140}\text{Ba}$  and  $^{132}\text{Te}$  were only observed in one batch.

## PENDAHULUAN

Produk  $^{99}\text{Mo}$  hasil belah  $^{235}\text{U}$  merupakan radioisotop andalan di Pusat Produksi Radioisotop sejak tahun 1991. Untuk itu kualitas produk itu harus dijaga dan diawasi secara sungguh-sungguh. Radionuklida  $^{99}\text{Mo}$  dari hasil fisi ini digunakan terutama untuk pembuatan generator kromatografi  $^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$  untuk memenuhi kebutuhan rumah sakit di dalam negeri. Tetapi perkembangan berikutnya ternyata daya serap seluruh rumah sakit di Indonesia masih relatif kecil dibandingkan dengan kapasitas produksi nuklida  $^{99}\text{Mo}$  sebesar 10000 Ci per tahun [1] atau 192 Ci per minggu. Penjualan generator  $^{99\text{m}}\text{Tc} - ^{99}\text{Mo}$  tercatat sebanyak 9 buah setiap minggu dengan radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$  masing-masing sebesar 415 mCi [2], yang artinya hanya 1% dari kapasitas produksi yang terserap oleh rumah sakit di dalam negeri. Karena itu produk  $^{99}\text{Mo}$  hasil belah  $^{235}\text{U}$  dicoba diekspor ke luar negeri, antara lain ke Malaysia, China, dan Philipina.

Produk  $^{99}\text{Mo}$  hasil belah  $^{235}\text{U}$  yang diproses di Pusat Produksi Radioisotop - BATAN dari awal produksi sampai saat ini belum pernah dibahas cara pemeriksaan dan evaluasi hasil analisis kualitasnya dalam makalah yang dipublikasikan, untuk itu penulis memandang amat perlu untuk memaparkan dan mengulas atau membahas masalah di atas, sehingga diharapkan makalah ini dapat merupakan salah satu acuan bagi para petugas analisis, peneliti di bidang proses produksi radioisotop dan para pembaca lainnya di masa yang akan datang.

Dalam makalah ini akan dibahas cara pemeriksaan cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  fisi  $^{235}\text{U}$  mulai dari pencuplikan dan preparasi cuplikan sampai dengan analisis dan evaluasi hasil analisis, untuk menetapkan apakah produk radiomolibdenum-99 memenuhi untuk pemasaran. Untuk itu ukuran kualitas produk akan dievaluasi terhadap spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Medy Physics Inc.



## TATA KERJA

### Bahan dan Peralatan

Bahan kimia yang digunakan dalam pemeriksaan kualitas radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  antara lain natrium hidroksida, asam klorida dengan tingkat p.a. dari Merck, air bebas ion yang dimurnikan lebih lanjut melalui Milli-Q (Waters) sampai tahanan mencapai 16 ohm, kolom Sep-Pak Alumina B Cartridges (Waters). Kertas Whatman No. 40. Sumber standar gamma untuk radionuklida pengotor yang terdiri dari  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{59}\text{Co}$  dan  $^{22}\text{Na}$  (du Pont de Nemours & Co), sumber standar Model S-13, (Oxford Instruments). Sedangkan sumber standar pemancar alfa adalah  $^{239}\text{Pu}$ , beraktivitas 19900 dpm (pada tanggal 18 Oktober 1983) (Eberline).

Peralatan penunjang yang digunakan antara lain kontainer timbal dengan faktor penurunan radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$  3,08 yang berfungsi sebagai wadah wadah cuplikan Radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  saat pengukuran untuk penetapan konsentrasi radioaktivitasnya. Untuk mengukur konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  digunakan Kamar Ionisasi Gamma (Gamma Ionization Chamber = GIC) atau Radioisotope Calibrator Model CRC R-7 (Capintec), untuk penetapan pengotor radionuklida pemancar gamma digunakan pencacah saluran ganda (Multichannel Analyzer = MCA) detektor HP-Ge tipe N (Tenelec), catu daya model PS-ORTEC 4001 M dan PS-ORTEC 495, dan amplifier model TC-244 (Tenelec). Pengolah data dilengkapi dengan program PCA II untuk mengkonversi dari luas puncak menjadi radioaktivitas. Radioisotop pengotor pemancar alfa ditetapkan dengan Scintillation Alpha Counter, Model SAC - 4, (Eberline Instrument Corporation).

### Prosedur Pemeriksaan

#### Penetapan konsentrasi radioaktivitas

100  $\mu\text{L}$  cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  dimasukkan ke dalam vial 10 mL, kemudian vial berisi cuplikan  $^{99}\text{Mo}$  itu dimasukkan lagi ke dalam kontainer timbal. Kontainer timbal beserta isinya diletakkan dalam alat ukur GIC dan radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$  diukur pada saluran energi  $^{99}\text{Mo}$  serta dicatat tanggal dan jam pengukurannya. Konsentrasi radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$  (mCi/mL) dihitung untuk saat pengukuran dan saat kalibrasi menggunakan persamaan 1. Konsentrasi radioaktivitas cuplikan  $^{99}\text{Mo}$  ditetapkan pula menggunakan spektrometer gamma (MCA). 20  $\mu\text{L}$  cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  dimasukkan ke dalam labu takar 50 mL yang sudah diisi 25 mL NaOH 0,1N.

Tip Eppendorf dicuci sebanyak 3 kali dengan larutan NaOH 0,1N dan larutan pencucinya dimasukkan ke dalam labu. Atur volume larutan di dalam labu dengan larutan NaOH 0,1N sampai tanda batas. 20  $\mu$ L cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  encer, teteskan di atas kertas saring Whatman 40, dan keringkan di atas Hot Plate, setelah kering dicacah radioaktivitasnya dengan menggunakan spektrometer gamma (MCA). Konsentrasi radioaktivitas cuplikan  $^{99}\text{Mo}$  yang diperoleh di antara dua metoda pengukuran tersebut di atas diperbandingkan dihitung perbedaannya dan persen penyimpangannya (% CV) dihitung.

### **Penetapan Pengotor Radionuklida Pemancar Gamma**

Sejumlah tertentu (15  $\mu$ L - 20  $\mu$ L dengan aktivitas antara 10 - 30 mCi) cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  dimasukkan ke dalam kolom Sep-Pak untuk memisahkan Radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  dengan radionuklida pengotor pemancar gamma, kemudian dielusi menggunakan larutan salin dan eluat ditampung di dalam vial vakum, setelah diperoleh eluat sebanyak 60 mL elusi dihentikan. Eluat di dalam vial dicacah menggunakan MCA dan dihitung konsentrasi radioaktivitasnya untuk masing-masing radionuklida pengotor pemancar gamma menggunakan persamaan 2. Percobaan ini diulang sebanyak 2 kali.

### **Penetapan Pengotor Radionuklida Pemancar Alfa**

Sejumlah tertentu (100  $\mu$ L) cuplikan  $^{99}\text{Mo}$  encer dengan aktivitas diketahui (terukur) ditetaskan di atas plat aluminium, dikeringkan di atas Hot Plate, setelah kering dicacah radioaktivitas pemancar alfa dengan pencacah alfa Eberline. Konsentrasi pengotor radionuklida pemancar alfa dihitung menggunakan persamaan 3 dalam satuan  $\mu\text{Ci}/\text{mCi}$   $^{99}\text{Mo}$ , saat pengukuran dan saat kalibrasi. Percobaan ini diulang sebanyak 3 kali.

## **PENDEKATAN TEORI**

Konsentrasi radioaktivitas cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  dari saat pengukuran ke waktu kalibrasi -- waktu yang ditetapkan oleh produsen saat produk  $^{99}\text{Mo}$  diproses menjadi generator atau dikirim keluar negeri sebagai acuan perhitungan konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  -- dihitung menggunakan persamaan ;



$$A_1 = A_0 e^{-0,693 \times t_p/t_{1/2}} [3,4,5,6] \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- $A_1$  = radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$  saat kalibrasi (mCi/mL),
- $A_0$  = konsentrasi radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$  saat pengukuran (mCi/mL),
- $t_p$  = waktu atau lama peluruhan (jam) dari saat pengukuran sampai saat kalibrasi dan  $t_{1/2}$  waktu paro nuklida  $^{99}\text{Mo}$  (jam).

Penetapan konsentrasi pengotor radionuklida pemancar gamma dalam cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  menggunakan persamaan ;

$$P = (FP \times Ca / (Int \times Eff \times FK \times Am)) [7,8,9] \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- $P$  = konsentrasi radioaktivitas radionuklida pengotor pemancar gamma ( $\mu\text{Ci}/\text{mCi}$   $^{99}\text{Mo}$ ),
- $FP$  = faktor pengenceran cuplikan,
- $Ca$  = cacahan nuklida pengotor (cps),
- $Int$  = Intensitas nuklida pengotor,
- $Eff$  = Efisiensi pencacahan MCA terhadap radionuklida pengotor,
- $FK$  = faktor konversi (Bq ke  $\mu\text{Ci}$ ),
- $Am$  = konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  saat kalibrasi (mCi/mL).

Sedangkan untuk menghitung konsentrasi radioaktivitas pengotor radionuklida pemancar alfa digunakan persamaan di bawah ini;

$$Al = (Ca \times FP \times AS) / (CS \times Am) [1,9] \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- $Al$  = konsentrasi radioaktivitas nuklida pemancar alfa ( $\mu\text{Ci}/\text{mCi}$   $^{99}\text{Mo}$ ),
- $Ca$  = cacahan cuplikan total (cps),
- $FP$  = faktor pengenceran,
- $AS$  = radioaktivitas sumber standar  $^{239}\text{Pu}$  ( $\mu\text{Ci}$ ),
- $CS$  = cacahan sumber standar (cps),
- $Am$  = konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  saat kalibrasi (mCi/mL).

Untuk memperkecil kesalahan pengukuran konsentrasi radioaktivitas cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  menggunakan spektrometer gamma dengan hasil sebenarnya dilakukan kalibrasi.

Kalibrasi MCA dilakukan dengan mencacah sumber standar pemancar gamma campuran adapun efisiensi pencacahan untuk setiap energi atau radionuklida dapat dilihat dalam Tabel 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan dalam makalah ini meliputi cara perhitungan konsentrasi radioaktivitas (mCi/mL) produk nuklida  $^{99}\text{Mo}$  saat pengukuran dan kalibrasi, pengotor radionuklida pemancar gamma dan alfa (dalam  $\mu\text{Ci}/\text{mCi}$   $^{99}\text{Mo}$ ). Untuk itu, sebagai contoh perhitungan diambil data untuk proses produksi tanggal 19 Juni 1996, dengan nomor batch RI-124. Adapun perhitungan itu dapat diterangkan seperti di bawah ini; Pada penetapan konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  dengan GIC 148,5 mCi pada 19 Juni 1996, jam : 20:26. Konsentrasi radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$  saat pengukuran adalah =  $148,5 \times 3,08 \times 10 \text{ mCi/mL} = 4573,8 \text{ mCi/mL}$ . Konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  saat kalibrasi (20 Juni 1996 jam 09:00), dapat dihitung dengan persamaan (1), maka diperoleh konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  sebesar 4008,569 mCi/mL.

Konsentrasi radioaktivitas cuplikan  $^{99}\text{Mo}$  dengan MCA diperoleh pencacahan (cps) sebesar 29541,34 (19 Juni 1996 jam 21:09). Konsentrasi radioaktivitas cuplikan  $^{99}\text{Mo}$  dihitung dengan persamaan (2), dan diperoleh konsentrasi radioaktivitas sebesar 4628,22 mCi/mL pada saat pengukuran. Kemudian dihitung konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  saat kalibrasi (tanggal 20 Juni 1996 jam 09:00) menggunakan persamaan (1), maka diperoleh aktivitas sebesar 4086,89 mCi/mL.

Penetapan pengotor radionuklida pemancar gamma, digunakan cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  dengan aktivitas radioaktif sebesar 25,5 mCi (pada 19 Juni 1996 jam 20:30). Dari pencacahan menggunakan MCA diperoleh pengotor radionuklida  $^{105}\text{Rh}$  (318,9 keV),  $^{131}\text{I}$  (364,26 keV),  $^{103}\text{Ru}$  (496,98 keV),  $^{133}\text{I}$  (529,68 keV),  $^{82}\text{Br}$  (554,01 keV) dan  $^{132}\text{I}$  (667,38) dengan masing-masing cacahan per detik (cps); 1,097, 0,337, 0,383, 1,027, 1,197 dan 0,593 (Gambar 1 menunjukkan spektrum radionuklida pemancar gamma latar belakang, yaitu pada 145,41 ( $^{145}\text{Ce}$ ), 364,35 ( $^{131}\text{I}$ ) dan 765,44 ( $^{95}\text{Nb}$ ) dan Gambar 2 menunjukkan spektrum pengotor radionuklida pemancar gamma, CTRD keV artinya energi gamma dalam keV dan Net C/S artinya cacahan radionuklida bersih per detik). Konsentrasi radioaktivitas pengotor radionuklida pemancar gamma dihitung menggunakan persamaan (2), maka dapat diperoleh konsentrasi radioaktivitas untuk masing-masing isotop pada saat kalibrasi sebagai berikut; 0,005209, 0,0,000494, 0,00053, 0,000984, 0,001661 dan  $1,72 \times 10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{mCi}$   $^{99}\text{Mo}$ .



Demikian juga untuk penetapan konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  dan pengotor radionuklida pemancar gamma untuk produk  $^{99}\text{Mo}$  nomor batch lainnya. Hasil selengkapnya dapat dilihat dalam Tabel 3.

Konsentrasi radioaktivitas pengotor nuklida pemancar alfa dapat diterangkan seperti berikut ini; Dari percobaan diperoleh, cacahan latar belakang 49 cps, cacahan sumber standar alfa  $^{239}\text{Pu}$  yang beraktivitas  $8,96 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}$  sebesar 6258,33 cps, sedangkan cacahan cuplikan 55 cps.

Konsentrasi radionuklida pengotor pemancar alfa ditetapkan dengan persamaan (3), maka dapat diperoleh konsentrasi radioaktivitas total pengotor radionuklida pemancar alfa sebesar  $4,3 \times 10^{-9} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ . Demikian juga untuk produk  $^{99}\text{Mo}$  lainnya dan hasilnya dapat dilihat dalam Tabel 2.

Persentase perbedaan pengukuran konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  antara pengukuran dengan GIC dan MCA dihitung.

Di dalam Tabel 2 terlihat bahwa ada beberapa cuplikan (19 cuplikan dari 44 buah cuplikan) selisih hasil konsentrasi radioaktivitas kedua pengukuran itu menunjukkan lebih besar dari 5% dan paling besar 12,66 (%CV), sedangkan yang mencapai perbedaan terkecil satu buah cuplikan, yaitu 0 (RI-083), hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan besar terjadi kesalahan pada saat pengenceran cuplikan untuk pengukuran menggunakan MCA, untuk itu para petugas analisis harus lebih hati-hati lagi dalam melakukan pengenceran cuplikan untuk penetapan konsentrasi aktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  ini. Sehingga diharapkan perbedaan hasil pengukuran radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  tidak terlalu besar, yang selanjutnya fungsi saling pengecekan kebenaran konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  terjamin.

Hasil penetapan konsentrasi nuklida pengotor pemancar alfa menggunakan pencacah alfa Eberlin dan menggunakan cara perhitungan ini menunjukkan tidak ada produk  $^{99}\text{Mo}$  dari 44 buah yang dianalisis yang lebih besar dari persyaratan yang telah ditetapkan, yaitu sebesar  $1,0 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ , bahkan paling besar  $5,04 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  untuk produk  $^{99}\text{Mo}$  dengan nomor RI-098, dan terkecil  $0,08 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  untuk produk  $^{99}\text{Mo}$  dengan nomor RI-086 (lihat Tabel 2).

Hasil penetapan konsentrasi radioaktivitas nuklida pengotor pemancar gamma menunjukkan tidak ada satupun produk  $^{99}\text{Mo}$  yang tidak memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh Medy-Physics Inc, yaitu pengotor nuklida  $^{131}\text{I} < 0,05 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ ,  $^{103}\text{Ru} < 0,05 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  dan total nuklida pemancar gamma yang lain  $< 0,1 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ . Terlihat bahwa konsentrasi radioaktivitas terbesar untuk nuklida pengotor  $^{131}\text{I}$  adalah  $0,0125 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ , untuk  $^{103}\text{Ru}$   $0,032 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ , dan untuk total nuklida lainnya  $0,08031 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ .

Nuklida pemancar gamma yang paling dominan mengotori produk  $^{99}\text{Mo}$  hasil belah  $^{235}\text{U}$  adalah radioiodium yang terdiri dari isotop  $^{131}\text{I}$  (dalam 42 batch dari jumlah 44 batch),  $^{132}\text{I}$  (dalam 37 batch dari jumlah 44 batch) dan isotop  $^{133}\text{I}$  (dalam 39 batch dari jumlah 44 batch). Sedangkan yang paling sedikit masing-masing adalah nuklida  $^{140}\text{Ba}$  dan  $^{132}\text{Te}$ , masing-masing dalam 1 batch dari jumlah 44 batch.

## KESIMPULAN

Hasil pembahasan menunjukkan bahwa 44 buah cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  hasil belah isotop  $^{235}\text{U}$  yang diproses dari Januari 1995 sampai dengan Juni 1996 di Pusat Produksi Radioisotop - BATAN, semua memenuhi persyaratan kualitas yang telah ditetapkan oleh Medy-Physics Inc dan layak digunakan untuk pembuatan generator  $^{99}\text{Mo}$  -  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  berkisar dari 280 mCi/mL sampai dengan 4500 mCi/mL pada saat kalibrasi.

Total konsentrasi radioaktivitas pengotor radionuklida pemancar alfa yang ditetapkan dengan pencacah alfa Eberlin berkisar antara  $0,04 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  sampai dengan  $4,55 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ . Konsentrasi radioaktivitas pengotor radionuklida pemancar gamma tidak ada yang melampaui persyaratan yang telah ditetapkan. Konsentrasi radioaktivitas nuklida pengotor  $^{131}\text{I}$  terbesar adalah  $0,0125 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ , untuk  $^{103}\text{Ru}$   $0,032 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ , dan untuk total nuklida lainnya  $0,08031 \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ . Nuklida pemancar gamma yang paling dominan mengotori produk  $^{99}\text{Mo}$  hasil belah  $^{235}\text{U}$  adalah radioiodium yang terdiri dari isotop  $^{131}\text{I}$  (dalam 42 batch),  $^{132}\text{I}$  (dalam 37 batch) dan isotop  $^{133}\text{I}$  (dalam 39 batch). Sedangkan yang paling sedikit adalah nuklida  $^{140}\text{Ba}$  dan  $^{132}\text{Te}$ , masing-masing dalam 1 batch dari jumlah 44 batch.

## DAFTAR PUSTAKA

1. MUHAMMAD RIDWAN, "Produksi dan Aplikasi Radioisotop di Indonesia Selama Periode 1965 - 1985", Proceeding Seminar 20 tahun Memasyarakatkan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPTN - BATAN, Bandung (Feb. 1985), ( 7 ).
2. ADANG HG., M. SUBUR, "Konsultasi pribadi", Mei 1998.
3. MARSONGKOHADI Drs., "Dasar-Dasar Fisika Inti, Pengantar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir", Jakarta ( 1978 ), ( 26 ).
4. BERNARD G. HARVEY, "Introduction to Nuclear Physics and Chemistry", Prentice Hall Inc., New Jersey USA, (1962 ), ( 30 ).



5. GEHART FRIEDLANDER, JOSEPH W. KENNEDY, EDWARD S. MACIAS, JULIAN MALCALM MILLER, "Nuclear and Radiochemistry", John Wiley & Sons, New York, ( 1981 ), ( 5 ).
6. ARNIKAR HARI JEEVAN, "Essentials Nuclear Chemistry", Wiley Eastern Limited, New Delhi, India, ( 1983 ), ( 93 ).
7. MEDY-PHYSICS Inc. AS, "Quality Control Manual Fission Product  $^{99}\text{Mo}$ ", 1982, I-1 s/d III-34.
8. DE (WESLEY) WU, SHELDON L. and GEORGE F. VANDEGRIFT, "Guide Notes for Technical Discussions on  $^{99}\text{Mo}$  Production Using Leu USA", ( 1995 ).
9. IMAS KOMALA, ADANG HG. dan IBON SUPARMAN, "Pengujian Kualitas pada Produk  $^{99}\text{Mo}$  Hasil Belah  $^{235}\text{U}$ ", Hasil Penelitian Pusat Produksi Radioisotop, Nomor 1, (1994 ), ( 61 - 69 ).

**Tabel 1.** Efisiensi pencacahan radionuklida pemancar gamma untuk sumber cair menggunakan MCA di PPR pada jarak 5 cm.

NO.	RADIONUKLIDA PENGOTOR	ENERGI (keV)	INTENSITAS	EFISIENSI (%)
1	Te-132	228,16	0,880	0,0008612
2	As-77	239,00	0,016	0,000827
3	Rh-105	318,90	0,192	0,0006421
4	In-115m	336,30	0,467	0,0006093
5	I-131	364,49	0,824	0,0005719
6	Ru-103	497,04	0,911	0,0004361
7	I-133	529,50	0,873	0,0004126
8	Ba-140	537,60	0,244	0,0004072
9	Br-82	554,35	0,706	0,0003964
10	Ag-112	617,40	0,420	0,0003608
11	I-132	667,68	0,987	0,0003369
12	Mo-99	739,50	0,130	0,0003081
13	Zr-95	756,87	0,546	0,0003019
14	Nb-95	765,84	0,998	0,0002988
15	Eu-156	811,77	0,101	0,000284
16	Cs-136	818,50	0,997	0,000282
17	Sn-125	1067,10	0,090	0,0002236
18	La-140	1496,60	0,954	0,0001572
19	I-135	1260,41	0,209	0,0001933



**TABEL 2** Konsentrasi radioaktivitas produk  $^{99}\text{Mo}$  yang diperoleh dari pencacahan GIC & MCA dan konsentrasi nuklida pemancar alfa.

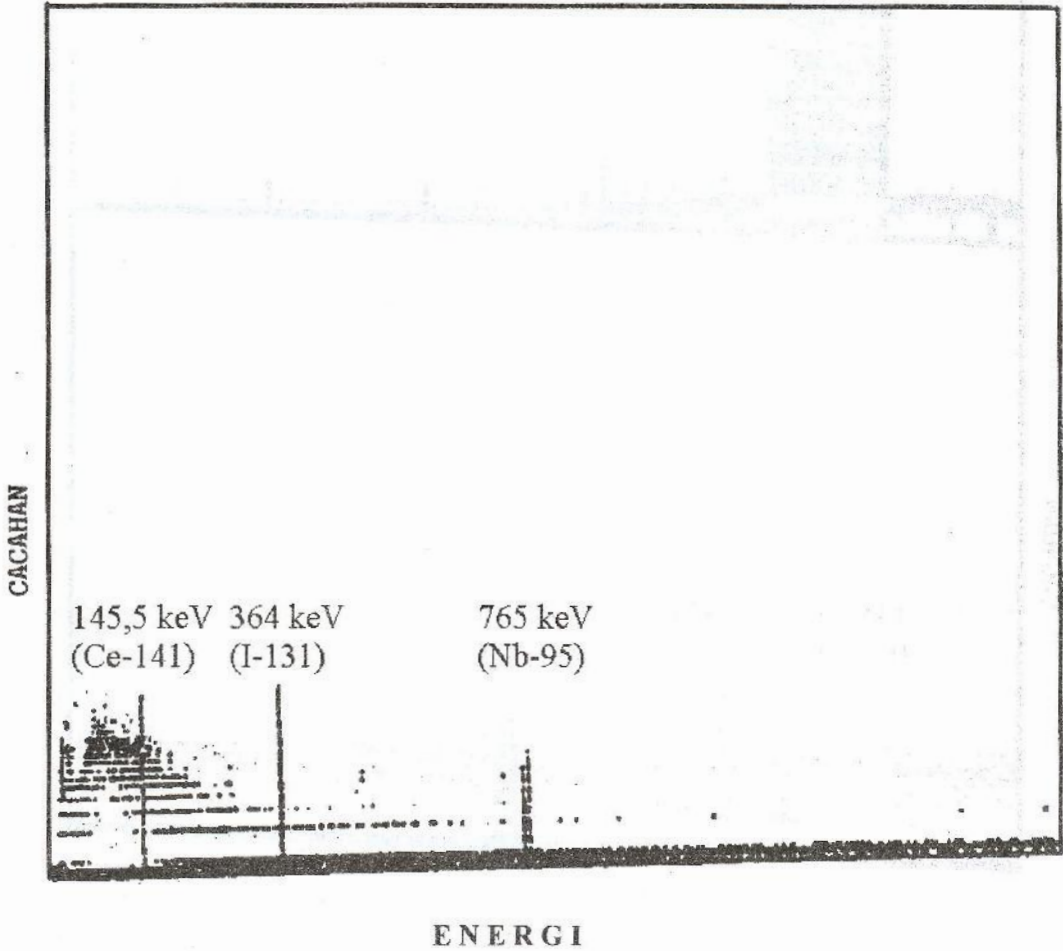
No. Batch	Tgl. Produksi	Konsentrasi radioaktivitas $^{99}\text{Mo}$ (mCi/mL)		Selisih		Ket.	Konsentrasi pengotor pemancar $\alpha$ ( $\mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ ) $\times 10^{-7}$
		GIC	MCA	RATA	%CV		
RI-081	25-01-95	1462,20	1398,76	1430,96	2,22		1,75
RI-082	09-02-95	4500,73	4451,73	4475,23	0,55		1,02
RI-083	21-02-95	280,45	280,73	280,45	0		4,55
RI-084	16-03-95	488,38	495,56	491,97	0,73		0,52
RI-085	30-03-95	642,67	630,50	636,59	0,96		0,46
RI-086	12-04-95	1453,89	1508,50	1481,20	1,84		0,08
RI-087	26-04-95	563,00	563,09	563,05	0,01		1,28
RI-088	09-05-95	979,07	818,43	898,75	8,94	x	2,51
RI-089	16-05-95	598,64	570,80	584,72	2,38		2,44
RI-090	14-06-95	1479,74	1398,80	1439,27	2,81		0,58
RI-091	21-06-95	1734,06	1774,55	1754,30	1,15		3,91
RI-092	27-06-95	1588,63	1244,60	1416,62	12,14	x	0,15
RI-093	04-07-95	1089,18	960,22	1024,70	6,29	x	0,14
RI-094	11-07-95	424,19	420,19	422,19	0,47		1,26
RI-097	23-08-95	1425,00	1353,43	1389,22	2,58		1,21
RI-098	29-08-95	1621,24	1405,42	1513,33	7,13	x	5,04
RI-099	27-09-95	1670,05	1310,94	1490,50	12,05	x	0,60
RI-100	04-10-95	1233,57	1094,02	1163,80	5,60	x	1,41
RI-101	10-10-95	1052,06	1239,76	1145,91	8,19	x	1,06
RI-102	18-10-95	893,09	861,72	887,41	1,79		0,49
RI-103	24-10-95	1183,72	1020,40	1102,06	7,41	x	0,78
RI-104	01-11-95	1042,83	1016,98	1029,91	1,25		0,46
RI-105	15-11-95	1974,15	1671,50	1822,83	8,30	x	3,64
RI-106	22-11-95	3671,44	3053,06	3362,25	9,20	x	2,49
RI-107	29-11-95	1639,49	1616,59	1628,04	0,70		0,36
RI-108	06-12-95	3094,43	2861,17	2977,80	3,92		2,17
RI-109	24-01-96	2677,53	2298,80	2488,17	7,61	x	1,85
RI-110	31-01-96	2768,36	2327,15	2547,76	8,66	x	3,30
RI-111	07-02-96	3079,99	2666,32	2873,16	7,19	x	3,66
RI-112	14-02-96	1264,66	1188,50	1226,58	3,10		2,16
RI-113	20-03-96	3112,35	3108,71	3110,53	0,06		1,77
RI-114	27-03-96	1552,07	1667,01	1609,54	3,57		1,02
RI-115	03-04-96	1625,38	2018,47	1821,93	10,79	x	2,14
RI-116	10-04-96	1599,36	1531,00	1565,18	2,18		0,68
RI-117	17-04-96	2669,49	2069,70	2369,60	12,66	x	1,40
RI-118	01-05-96	1898,87	1857,84	1878,36	1,09		1,14
RI-119	08-05-96	1379,80	1186,15	1282,98	7,55	x	0,32
RI-120	15-05-96	2063,14	1740,45	1901,80	8,48	x	2,65
RI-121	22-05-96	3895,16	3870,28	3882,72	0,32		2,09
RI-122	29-05-96	1876,60	1691,30	1783,95	5,19	x	0,97
RI-123	12-06-96	1492,94	1574,45	1533,70	2,66		0,39
RI-124	19-06-96	4008,57	4628,22	4318,40	7,17	x	2,74
RI-125	26-06-96	2072,47	2102,36	1988,07	4,25		0,92

Catatan : x = perbedaan pengukuran konsentrasi radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$  menggunakan MCA dengan GIC lebih besar dari 5%

TABEL 3. Konsentrasi radioaktivitas total nuklida pengotor pemancar  
 ( $\mu\text{Ci}/\text{mCi } ^{99}\text{Mo}$ ).

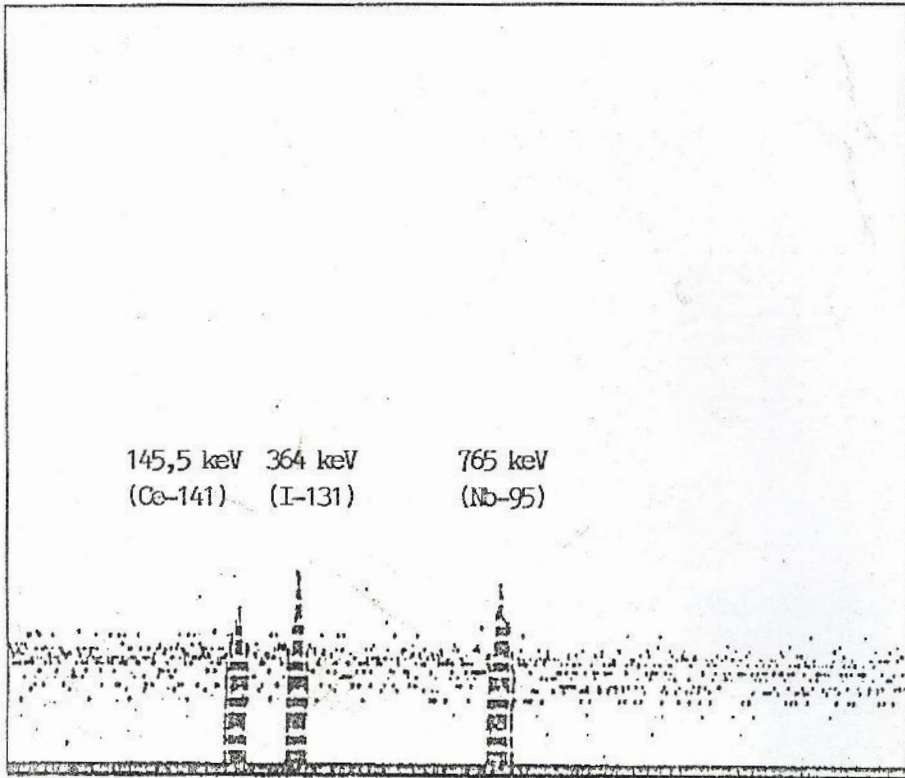
No. Batch	Tgl. Produksi	Konsentrasi radionuklida pengotor pemancar gamma ( $\mu\text{Ci}/\text{mCi } ^{99}\text{Mo}$ ) ( $\times 10^{-5}$ )											Total lain ( $\times 10^{-5}$ )	Ket.
		$^{131}\text{I}$	$^{105}\text{Rh}$	$^{105}\text{Ru}$	$^{95}\text{Nb}$	$^{95}\text{Zr}$	$^{140}\text{La}$	$^{132}\text{I}$	$^{82}\text{Br}$	$^{133}\text{I}$	$^{140}\text{B}$ a	$^{132}\text{T}$ e		
RI-081	25-01-95	-	31,4	4,21	-	-	-	-	47,2	64,7	-	-	143,30	
RI-082	09-02-95	47,0	78,3	92,8	33,2	66,1	-	-	63,4	-	-	-	241,06	
RI-083	21-02-95	64,7	1,6	-	0,24	-	-	-	1,29	-	-	-	3,13	
RI-084	16-03-95	445	-	-	-	-	-	302	68,5	2720	-	-	3090,50	
RI-085	30-03-95	311	-	-	-	-	-	-	237	401	-	-	638,00	
RI-086	12-04-95	17,3	-	-	-	-	-	1,95	89,7	77,2	-	-	168,85	
RI-087	26-04-95	23,5	-	-	-	-	-	24,1	15,6	109	-	-	148,70	
RI-088	09-05-95	282	117	546	-	-	-	-	1360	650	-	-	2127,00	
RI-089	16-05-95	87,9	111	-	-	-	-	-	30,3	44,7	-	-	186,00	
RI-090	14-06-95	8,46	4,42	6,13	-	-	-	-	1,01	1,23	-	-	6,66	
RI-091	21-06-95	-	-	20,8	-	-	11,2	0,28	-	10,1	-	-	21,58	
RI-092	27-06-95	-	16,1	107	-	-	-	-	19,5	-	-	-	35,60	
RI-093	04-07-95	32,5	7770	452	-	-	0,66	-	-	-	-	-	7770,66	
RI-094	11-07-95	845	1070	282	-	-	-	0,30	3350	873	-	-	5293,30	
RI-097	23-08-95	1250	-	-	-	-	-	-	112	42,3	-	-	154,30	
RI-098	29-08-95	17,6	17,3	7,43	-	-	-	-	26,1	34,7	-	-	78,10	
RI-099	27-09-95	121	0,36	815	-	-	-	0,77	66,9	130	-	-	198,03	
RI-100	04-10-95	235	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
RI-101	10-10-95	153	56,5	10,4	-	-	-	-	19,9	141	-	-	217,40	
RI-102	18-10-95	145	424	49,4	-	-	-	48,7	30,7	37,4	-	-	540,80	
RI-103	24-10-95	79,6	168	22,4	-	-	25,4	-	25,7	33,9	-	-	253,00	
RI-104	01-11-95	17,6	92,7	13,6	-	-	-	0,69	-	5,99	-	-	99,38	
RI-105	15-11-95	498	567	64,9	-	-	-	17,6	138	1530	-	-	2252,60	
RI-106	22-11-95	0,89	0,47	0,04	-	-	-	0,02	0,24	2,76	-	-	3,49	
RI-107	29-11-95	267	2,60	39,0	-	-	-	0,50	0,68	1,92	-	-	5,70	
RI-108	06-12-95	33,0	32,5	3020	-	-	-	-	5520	2100	-	-	7652,50	
RI-109	24-01-96	7,20	-	-	-	-	-	0,39	0,35	8030	-	-	8030,74	
RI-110	31-01-96	194	-	-	-	-	-	2,08	32,9	531	-	-	565,98	
RI-111	07-02-96	74,2	31,5	31,1	20,4	-	1,24	-	95,5	213	-	-	361,64	
RI-112	14-02-96	30,6	549	53,4	31,9	25,7	-	-	34,5	21,0	-	-	662,10	
RI-113	20-03-96	25,1	87,4	21,9	-	-	-	-	47,4	20,1	-	-	154,90	
RI-114	27-03-96	251	-	108	23,9	-	-	0,20	8,00	20,8	-	-	52,90	
RI-115	03-04-96	75,3	171	14,5	5,00	-	-	0,40	40,1	53,7	-	-	270,20	
RI-116	10-04-96	423	-	13,8	3,90	11,0	-	0,30	8,90	8,90	-	-	33,00	
RI-117	17-04-96	67,2	704	-	6,20	-	-	1,10	91,6	40,1	-	-	843,00	
RI-118	01-05-96	117	-	7,10	3,50	3,50	14,0	0,40	0,42	118	0,66	-	139,82	
RI-119	08-05-96	354	85,2	21,5	7,20	-	-	0,50	33,1	49,0	-	56,0	175,00	
RI-120	15-05-96	135	3170	132	-	-	-	-	26,1	15,8	-	-	3211,90	
RI-121	22-05-96	177	186	25,9	-	-	-	3,00	105	268	-	-	562,00	
RI-122	29-05-96	294	1530	103	5,30	-	-	-	70,8	167	-	-	1773,10	
RI-123	12-06-96	6,30	189	49,1	70,4	73,4	2,50	4,20	1,42	108	-	-	448,90	
RI-124	19-06-96	49,4	295	19,7	-	-	-	0,60	58,1	35,3	-	-	389,00	
RI-125	26-06-96	115	180,9	-	-	-	-	1,20	83,0	248,1	-	-	513,20	





**Gambar 1.** Spektrum energi gamma (keV) Pencacahan latar belakang pada pemeriksaan produk  $^{99}\text{Mo}$  dengan nomor batch RI-124 menggunakan MCA

CACAHAN



ENERGI

**Gambar 2.** Spektrum energi gamma (keV) nuklida pengotor cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  dengan nomor batch RI-124 menggunakan MCA