

SKRIPSI

**ANALISIS ^{99}Mo *BREAKTHROUGH* DARI GENERATOR MEDIS
 $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ MENGGUNAKAN SPEKTROMETER GAMMA DENGAN
SUMBER STANDAR CAIR CAMPURAN ^{133}Ba ^{137}Cs ^{60}Co**

IDRIYANTI MIRDA

H211 16 505



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2020

**ANALISIS ^{99}Mo *BREAKTHROUGH* DARI GENERATOR MEDIS
 $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ MENGGUNAKAN SPEKTROMETER GAMMA DENGAN
SUMBER STANDAR CAIR CAMPURAN ^{133}Ba ^{137}Cs ^{60}Co**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Program Studi Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

**IDRIYANTI MIRDA
H211 16505**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

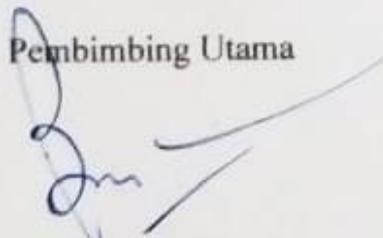
Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Idriyanti Mirda
NIM : H211 16 505
Program Studi : Fisika
Judul Skripsi : Analisis ^{99}Mo *Breakthrough* Dari Generator
Medis $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Menggunakan
Spektrometer Gamma dengan Sumber
Standar Cair Campuran ^{133}Ba ^{137}Cs ^{60}Co

Makassar, Januari 2020

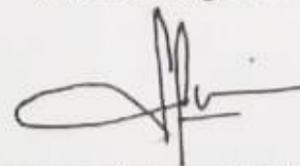
Disahkan oleh :

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng. Sc
NIP. 196300111 199002 1 001

Pembimbing Pertama



Siska Febriana, S. Si, M. Sc
NIP. 19890214 201403 2 005

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini merupakan karya orisinal saya dan sepanjang pengetahuan saya tidak memuat bahan yang pernah dipublikasi atau telah ditulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk suatu gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau di lembaga pendidikan tinggi lainnya di manapun; kecuali bagian yang telah dikutip sesuai kaidah ilmiah yang berlaku. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil kerja saya sendiri dan dalam batas tertentu dibantu oleh pihak pembimbing.

Penulis

Idriyanti Mirda

ABSTRAK

Produksi Tecnesium-99m dihasilkan dari proses elusi pada suatu sistem generator medis $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Proses elusi dilakukan selama empat hari, kemudian diukur pada spektrometer gamma dengan menggunakan sumber standar cair $^{133}\text{Ba}/^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ untuk mengetahui bahwa tidak terdapat ^{99}Mo *breakthrough* pada produksi $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Penelitian ini menghasilkan pengukuran produksi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ murni berupa elusi pada hari pertama sampai hari ketiga. Produksi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang dihasilkan dapat digunakan dalam proses diagnosis karena energi dari ^{99}Mo tidak terdeteksi pada spektrometer gamma. Pada elusi hari keempat telah terdapat energi ^{99}Mo yang terdeteksi yaitu pada energi 739,41 keV dan 777,83 keV. Sehingga aktivitas dari ^{99}Mo *breakthrough* pada produksi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dapat mengganggu kinerja dari Tecnesium-99m serta dapat memberi dampak negatif pada pasien saat proses diagnosis.

Kata Kunci : Molibdenium, Tecnesium-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, Spektrometer Gamma

ABSTRACT

Tecnesium-99m production was produced from the elution process in a $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ medical generator system. The elution process was carried out for four days, then measured on a gamma spectrometer using $^{133}\text{Ba}^{137}\text{Cs}^{60}\text{Co}$ as a standard liquid source to find out the absence of ^{99}Mo breakthrough in the production of $^{99\text{m}}\text{Tc}$. This research resulted in a measurement of pure $^{99\text{m}}\text{Tc}$ production in the form of elution of the first day till the third day. The $^{99\text{m}}\text{Tc}$ produced can be used in the diagnosis process because the energy of ^{99}Mo is not detected on the gamma spectrometer. The elution on the fourth day ^{99}Mo of energy was detected at 739.41 keV and 777.83 keV. So that the activity of ^{99}Mo breakthrough on the production of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ can interfere with the performance of Tecnesium-99m and can have a negative impact on patients during the diagnosis process.

Keywords: Molybdenium, Tecnesium-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generator, Gamma Spectrometer

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "**Analisis ^{99}Mo Breakthrough Dari Generator Medis $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Menggunakan Spektrometer Gamma dengan Sumber Standar Cair Campuran ^{133}Ba ^{137}Cs ^{60}Co** " sebagai salah satu persyaratan untuk menempuh gelar sarjana sains. Tak lupa pula penulis kirimkan salawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari alam yang gelap kea lam yang terang menderang.

Berbagai pengalaman, pembelajaran serta rintangan yang dilewati oleh penulis saat menempuh perkuliahan di Departemen Fisika, FMIPA UNHAS. Penulis berterima kasih kepada semua orang yang telah membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir, baik itu dalam memberikan ilmu, motivasi, maupun nasehat kepada penulis. Penulis ingin berterima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, ayahanda tercinta **Syamsul Rida**, ibunda tersayang **Hj. Sarmini**, tante **Suhartini**, om **H. Kamaruddin**, om **Amiruddin**, om **H. Abidin** dan tante **Hj. Naki**, seluruh kakak dan adik sepupu terkhusus untuk kak **Rhyka Rahayu** serta seluruh keluarga besar penulis, terima kasih atas motivasi, doa dan nasehat selama penulis menempuh masa perkuliahan di Departemen Fisika FMIPA UNHAS
2. Bapak **Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng. Sc**, sebagai pembimbing utama penulis dalam menyelesaikan penelitian ini, terima kasih atas bimbingan dan arahan yang diberikan kepada penulis dalam melakukan penelitian ini.
3. Ibu **Siska Febriana, S.Si., M.Sc.**, sebagai pembimbing pertama yang telah banyak meluangkan waktu selama penulis melakukan penelitian di Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka BATAN. Terima kasih atas arahan, bimbingan, ilmu, nasihat selama membimbing penulis.
4. Bapak **Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng. Sc** dan **Prof. Dr. Tasrief Surungan, M. Sc** selaku penguji penulis, terima kasih atas masukan untuk

kesempurnaan skripsi penulis.

5. Terima kasih kepada semua **Staf Pegawai PTRR-BATAN**, yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian, serta ilmu dan pengalaman yang luar biasa.
6. Bapak **Prof. Dr. Arifin, M. T** selaku Ketua Departemen Fisika Universitas Hasanuddin.
7. Bapak **Bannu, S. Si, M. Si** sebagai pembimbing akademik selama penulis menempuh studi di Departemen Fisika.
8. Jajaran staf Departemen Fisika dan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang senantiasa membantu penulis, terutama dalam hal surat dan administrasi.
9. Seluruh Kakak-kakak Fisika 2015 terkhusus untuk kak **Rahma Anugrahwidya, Mahadir Marakka, Riska Sri Wahyuni, Sri Indarwaty, Ainul Wakiah, Riswan dan Irwan** yang selalu membantu dan mengarahkan penulis selama masa perkuliahan.
10. Seluruh teman-teman **FISIKA 2016** yang telah memberikan pengalaman hidup dan memberikan semangat dalam perkuliahan.
11. HMKA (**Nurafni Julianti, Hilda Rahmawati, Novianti, Evi Afrianti, Cahaya Magfira, L.M Aldin, Ade Ilham, Patrick, Muzul, La Farras, serta Andi Anugrah**) terima kasih telah menjadi sahabat dekat penulis yang telah memberikan pengajaran yang sangat luar biasa kepada, yang penulis sering repotkan serta pengalaman yang luar biasa baik itu dalam kampus maupun di luar kampus.
12. My Ukhty (**Nurafni Julianti, Hilda Rahmawati, Novianti, Evi Afrianti, Cahaya Magfira**) yang telah menjadi tempat keluh kesah penulis saat perkuliahan maupun mengerjakan tugas akhir, yang selalu memberi pemebelajar, memotivasi penulis dalam berbagai hal, yang selalu penulis repotkan. Terima kasih untuk semuanya, tanpa kalian penulis tidak akan sampai ke tahap ini.
13. Teman-Teman **LAB OPTIK 2016** yang selalu menjadi teman patner penulis dalam perkuliahan

14. Teman seperantauan terkhusus (**Nurafni Julianti, Novianti, Kevin Adrianzah Zelon, Mawar, Evi Afrianti, dan Arsita**) terima kasih telah membantu penulis dalam mengurus administrasi pada saat penelitian, memberikan cerita hidup yang penuh dengan berbagai tantangan.
15. Teman-teman **EXQUARE** terkhusus (**Nur Aziizah Syam, Afdaliah, dan Maulina**) yang telah membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
16. Teman-teman KKN KEMENDES BARRU GEL.103 terkhusus **ANABANUASQUAD (Mala, Najad, Widi, Zahra, Rahmat dan Bayu)** yang telah memeberikan keceriaan dan pengalaman kepada penulis.
17. Teman **Sapulidi Team** yang telah memberikan semangat kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir maupun pada saat perkuliahan.
18. Teman-teman **IGOS (Indri, Riska, Nia, Wenda, Imma, Nunung, Umi, Ayu)** yang telah memberikan keceriaan dan kebahagiaan kepada penulis
19. Kepada **Muhammad Imam Hidayatullah dan Nurilmi Diniah** yang selalu memberikan semngat kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir, dan selalu penulis repotkan. Terima kasih telah menjadi teman jalan penulis.
20. Kepada **Misna, Maulina dan Dwi Riski** telah menemanipenulis sampai ke tahap ini. Terima kasih atas semngat dan motivasinya yang selalu diberikan kepada penulis.
21. Teman-teman KOS MAMI terkhusus (**Farida, Iis, Deninta, Hasna, Mba Ulya, Mba Rissa, Mba Septi, Mba Dwi, Mba Inayah**) telah memberikan pengalamana yang luar biasa kepada penulis pada saat penulis melakukan penelitian di Serpong. Tempat berbagi cerita, pengalaman dan kebahagiaan. Terima kasih untuk semuanya.
22. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satupersatu, yangtelah memberikankontribusisehingga tugas akhir inidapatterselesaikandenganbaik.

Makassar, 26 Januari 2020

Idriyanti Mirda

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Energi gamma radioisotop ^{99}Mo	7
Gambar 2.2 Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	8
Gambar 2.3 Prinsip kerja HPGe	11
Gambar 2.4 Kurva kalibrasi energi	12
Gambar 3.1 Bagan alir prosedur penelitian.....	18

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 <i>Control chart</i> ^{137}Cs pada jarak 4,5 cm (Rak 2) dari detektor	19
Grafik 4.2 Kalibrasi energi	22
Grafik 4.3 Kalibrasi efisiensi	25
Grafik 4.4 Hasil elusi pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	26
Grafik 4.5 Pengukuran aktivitas lolosan ^{99}Mo dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	28

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.1 Data hasil kalibrasi energi pada jarak 4,5 cm dari detektor	20
Tabel 4.1.2 Data hasil kalibrasi energi pada jarak 6,5 cm dari detektor	21
Tabel 4.1.3 Data hasil kalibrasi energi pada jarak 8,5 cm dari detektor	21
Tabel 4.1.4 Data hasil kalibrasi efisiensi pada jarak 4,5 cm dari detektor.....	23
Tabel 4.1.5 Data hasil kalibrasi efisiensi pada jarak 6,5 cm dari detektor.....	24
Tabel 4.1.6 Data hasil kalibrasi efisiensi pada jarak 8,5 cm dari detektor.....	24

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	33
APD.....	33
LAMPIRAN B	35
Alat Dan Bahan	35
1. Alat.....	35
2. Bahan	36
LAMPIRAN C	37
Analisis Data	37

DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR GRAFIK.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 Radioisotop.....	5
II.2 Radioaktivitas.....	5
II.3 Molibdenum (^{99}Mo).....	6
II.4 Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	7
II.5 Spektrometer Gamma.....	9
II.5.1 <i>Multi Channel Analyzer (MCA)</i>	10
II.5.2 Detektor HpGe.....	10
II.6 Resolusi Detektor.....	11
II.7 Kalibrasi Energi.....	12

II.8 Kalibrasi Efisiensi.....	13
BAB III METODE PENELITIAN.....	14
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	14
III.2 Alat dan Bahan	14
III.2.1 Alat	14
III.2.2 Bahan.....	14
III.3 Prosedur Percobaan	15
III.3.1 Uji Kestabilan Detektor.....	15
III.3.2 Kalibrasi Energi dan Efisiensi	15
III.3.3 Uji Validasi	15
III.3.4 Uji Radioaktivitas $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	16
III.4 Bagan Alur Penelitian	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
IV.1 Uji Kestabilan pada Detektor	19
IV.2 Uji Kalibrasi Energi	20
IV.3 Uji Kalibrasi Efisiensi	23
IV.4 Uji Radioaktivitas $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	26
IV.4.1 Uji Kualitatif	26
IV.1.2 Uji Kuantitatif	27
BAB V PENUTUP.....	29
V.1 Kesimpulan.....	29
V.2 Saran.....	29
DAFTAR PUSTAKA	30

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Aktivitas manusia dalam kehidupan sehari-hari tidak akan pernah lepas dari radiasi. Radiasi dapat berasal dari aktivitas kecil manusia seperti makan, minum, olahraga, dll. Radiasi merupakan energi yang dipancarkan dalam bentuk partikel atau gelombang, radiasi tersebut dapat berupa pancaran sinar alfa, beta, maupun gamma. Radiasi dibagi menjadi 2 jenis, yaitu radiasi pengion (radiasi dengan dosis yang besar) dan radiasi nonpengion (radiasi dengan dosis yang lebih rendah)^[1]. Radiasi pengion merupakan radiasi yang mampu membawa energi yang cukup untuk melepaskan elektron dari atom, sehingga mengionisasi atom tersebut. Sedangkan radiasi nonpengion merupakan radiasi yang tidak dapat menimbulkan ionisasi^[1].

Pancaran radiasi dapat dimanfaatkan dalam bidang kesehatan, bidang pertanian, bidang hidrologi maupun dalam bidang industri, akan tetapi jika pancaran sinar radiasi yang diterima manusia dalam kadar berlebih dapat membahayakan tubuh manusia^[2]. Salah satu bahaya yang ditimbulkan oleh paparan radiasi tersebut adalah penyakit kanker. Penyakit kanker merupakan salah satu penyebab kematian terbesar di dunia karena keterlambatan penanganan pengobatannya. Metode untuk mendeteksi adanya kanker secara cepat dalam tubuh manusia adalah dengan menggunakan radioisotop. Radioisotop merupakan suatu isotop yang mampu memancarkan radiasi. Radioisotop yang banyak digunakan dalam dunia kedokteran nuklir untuk mendiagnosis suatu penyakit yaitu radioisotop Teknesium-99m^[3].

Teknesium-99m (^{99m}Tc) merupakan radioisotop metastabil dengan pemancar gamma murni yang memiliki waktu paruh yang pendek yaitu 6 jam. Radioisotop ini digunakan untuk tujuan diagnosis, karena dalam suatu diagnosis diperlukan radioisotop yang dapat segera habis setelah proses diagnosis selesai sehingga dampak negatif dari pancaran radiasi tersebut dapat diminimalisir. Oleh sebab itu,

^{99m}Tc dianggap sangat tepat sebagai radioisotop diagnosis. ^{99m}Tc hanya dapat menembus jaringan biologis tanpa memberi dampak negatif karena memiliki energi yang rendah dan dapat ditangkap dengan mudah oleh detektor radiasi dari luar tubuh^[4].

Radioisotop ^{99m}Tc merupakan hasil luruh dari radioisotop ^{99}Mo . Radionuklida ^{99}Mo dapat diperoleh dari senyawa MoO_3 yang berasal dari alam. Senyawa MoO_3 di iradiasi untuk menghasilkan radioisotop ^{99}Mo dalam waktu yang cukup lama. Radionuklida ^{99}Mo yang terbentuk kemudian dipisahkan untuk menghasilkan radioisotop ^{99m}Tc melalui suatu generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ ^[4]. Prinsip pemisahan ^{99m}Tc dari ^{99}Mo pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ yaitu menggunakan teknik kromatografi kolom, karena metode ini sangat sederhana. Peluruhan ^{99m}Tc dari ^{99}Mo terjadi pada energi 141 keV dengan intensitas 89%. Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ berbasis kolom alumina dapat digunakan untuk menyerap ^{99}Mo yang memiliki aktivitas spesifik yang tinggi, yaitu $> 10.000 \text{ Ci/g}$ ^[4,5]. Aktivitas spesifik suatu radionuklida dapat diukur dengan spektrometer gamma. Spektrometer gamma merupakan alat ukur yang relatif dapat digunakan untuk menganalisis radioaktivitas suatu radioisotop dan mengidentifikasi unsur atau isotop-isotop radioaktif yang ada di dalamnya^[6].

Menurut penelitian I. Septiama, dkk (2015)^[7], material penyerap ^{99}Mo menggunakan *Zirconium-Based Material (ZBM)* divariasikan dengan NaOCl memiliki kapasitas penyerap yang rendah pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$. *Zirconium-Based Material (ZBM)* hanya mampu menghasilkan eluat ^{99m}Tc hingga 70%, sehingga kandungan lolosan ^{99}Mo (*^{99}Mo breakthrough*) yang dihasilkan masih besar yang mencapai lebih dari 30%. Sedangkan pada pemakaian penyerap material alumina dapat menurunkan atau meminimalisir kurang dari 1% kandungan lolosan ^{99}Mo menurut penelitian dari Sulaiman, dkk (2018)^[8]. Pengukuran lolosan ^{99}Mo sangat perlu untuk diketahui karena apabila terdapat lolosan ^{99}Mo dapat mengganggu atau mempengaruhi kinerja dari ^{99m}Tc dalam proses diagnosis. Apabila terjadi lolosan ^{99}Mo dapat memberi dampak negatif bagi tubuh manusia karena memiliki waktu paruh yang cukup lama yaitu 66 jam^[4].

Menurut standar US Pharmacopoeia syarat batas maksimum aktivitas yang masih diperbolehkan pada kandungan lolosan ^{99}Mo dari suatu generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$

yaitu $<0,15 \mu\text{Ci}^{99}\text{Mo}/\text{mCi}^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^[24]. Aktivitas tersebut sangat kecil sekitar $0,15 \mu\text{Ci}$, sehingga pada saat di lakukan pengukuran menggunakan *dose calibration* aktivitas yang terlalu kecil sering tidak terbaca. Pada saat pengukuran dihasilkan nilai aktivitas sama dengan aktivitas *background*, hal tersebut dianggap tidak ada lolosan ^{99}Mo yang terjadi. Pengukuran aktivitas menggunakan *dose calibration* juga dapat dipengaruhi oleh lingkungan kerja (laboratorium) radioisotop aktif yang memiliki aktivitas besar seperti iodium dan samarium. Hal tersebut dapat mempengaruhi pengukuran pada *dose calibration* dengan mendapatkan hasil pengukuran aktivitas pada *background* yang besar, sehingga dapat dianggap tidak ada lolosan ^{99}Mo yang terjadi. Namun terdapat tambahan aktivitas dari radioisotop yang lain pada produk $^{99\text{m}}\text{Tc}$ di lolosan ^{99}Mo -nya, sehingga dapat merugikan pasien pada saat melakukan pengobatan karena mendapatkan dosis lebih yang tidak dibutuhkan^[9].

Pada penelitian ini dilakukan uji coba sebagai bentuk kendali kualitas generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan spektrometer gamma untuk memastikan tidak ada ^{99}Mo *breakthrough* pada produk $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Pengukuran dilakukan menggunakan spektrometer gamma karena alat tersebut sangat sensitif sehingga aktivitas yang sangat kecil dapat terdeteksi, namun yang perlu diperhatikan sebelum menggunakan spektrometer gamma adalah kalibrasi energi dan efisiensi.

Dengan demikian penelitian ini dilakukan dengan menganalisis kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi. Pengukuran kalibrasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan pengukuran sumber standar cair dan sumber standar titik, namun pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sumber cair karena radionuklida ^{99}Mo yang diukur dalam bentuk cair jadi pengukuran ini harus menggunakan geometri yang sama, untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih efisien^[9]. Serta menganalisis profil elusi $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ secara kualitatif dan kuantitatif dari suatu sistem generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Sehingga radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang dihasilkan memenuhi standar dan dapat digunakan untuk proses diagnosis.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis kualitatif profil elusi $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$?
2. Bagaimana analisis kuantitatif lolosan $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari suatu sistem generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisis secara kualitatif profil elusi $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$.
2. Menganalisis secara kuantitatif lolosan $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari suatu sistem generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Radioisotop

Radioisotop atau yang biasa juga disebut radionuklida adalah isotop dari zat radioaktif yang mampu memancarkan radiasi. Radionuklida dapat terjadi secara alami atau bisa dibuat oleh manusia dalam reaktor penelitian. Karakteristik dari radioisotop menyangkut 3 hal utama yaitu waktu paruh, jenis radiasi nuklir yang dibebaskan dan energi radiasi nuklir tersebut. Secara alami, isotop radioaktif yang tidak stabil dapat berubah ke arah yang lebih stabil akibat adanya peluruhan radioaktif dan adanya emisi dari berbagai jenis radiasi^[3].

Sumber radiasi terbuka yang berasal dari disintegrasi inti radionuklida (radioisotop) buatan untuk tujuan diagnostik melalui pemantauan proses fisiologi dan biokimia, pengobatan dan juga penelitian di bidang kedokteran. Pancaran radiasi dapat dimanfaatkan dalam pengobatan kanker yang meliputi 2 cara, yaitu *brachytherapy* atau peletakkan sumber radioaktif yang berada di dekat penyakit, dan radioterapi eksternal atau dengan memfokuskan radiasi yang dipancarkan oleh sumber eksternal ke lokasi penyakit. Pelayanan kedokteran nuklir merupakan pelayanan yang bersifat multidisipliner, karena dalam pelaksanaannya melibatkan berbagai disiplin ilmu yaitu ilmu kedokteran, instrumentasi dan radiofarmasi^[3].

Radioisotop dapat digunakan dalam bidang kesehatan yaitu untuk terapi radiasi, seperti terapi kelainan tiroid dan leukimia. Selain itu, radioisotop juga dapat digunakan untuk diagnosis seperti diagnosis fungsi dan anatomi organ tubuh, serta sirkulasi dan kehilangan darah. Selain itu radioisotop juga banyak digunakan dalam bidang pertanian, bidang hidrologi maupun bidang industri^[2].

II.2 Radioaktivitas

Aktivitas radiasi menyatakan jumlah peluruhan yang terjadi per detik. Aktivitas tidak berhubungan dengan jenis radiasi dan energi radiasi, namun hanya

berhubungan dengan jumlah peluruhan per satuan waktu^[10]. Satuan untuk aktivitas suatu sumber radioaktif dinyatakan dengan Becquerel (Bq).

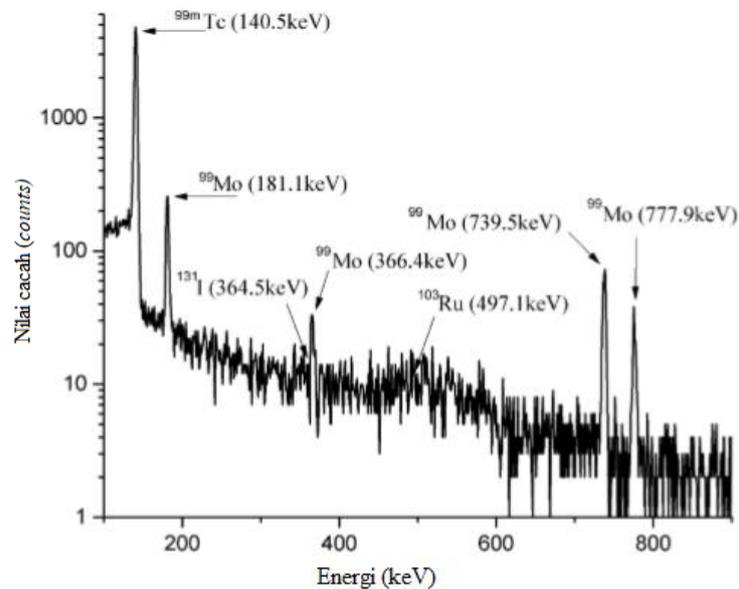
1 Bq= 1 disintegrasi (peluruhan) per sekon (detik) atau dps.

Satuan Becquerel merupakan sistem satuan internasional (SI) yang mulai dipakai sejak tahun 1976. Sebelum satuan ini dipakai, telah digunakan satuan Curie (Ci). Satuan Curie didefinisikan sebagai aktivitas dalam 1 gram radium (²²⁶Ra). Jumlah disintegrasi per sekon dalam 1 gram radium adalah 37×10^{10} . Hubungan antara satuan Curie dan Becquerel: $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ atau $1 \text{ Bq} = 27,027 \times 10^{12} \text{ Ci}$ ^[10].

Pada umumnya untuk aktivitas yang tinggi digunakan satuan Ci, sedangkan untuk aktivitas rendah digunakan satuan Bq. Besaran lain yang berkenaan dengan aktivitas adalah waktu paruh, yaitu interval waktu aktivitas radiasi sehingga berkurang menjadi separuhnya^[11,10].

II.3 Molibdenum (⁹⁹Mo)

Molibdenum (⁹⁹Mo) adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Mo dan nomor atom 42. Sebagian besar senyawa molibdenum memiliki kelarutan rendah dalam air, tetapi ketika mineral ⁹⁹Mo terkena oksigen dan air yang dihasilkan cukup larut. Radioisotop ⁹⁹Mo memiliki waktu paruh 66 jam, jauh lebih panjang dari waktu paruh ^{99m}Tc. Radioisotop ⁹⁹Mo memiliki energi gamma dilihat pada Gambar 2.1 energi gamma radioisotop ⁹⁹Mo^[4, 5]. Radioisotop ^{99m}Tc dapat diperoleh dengan memisahkannya dari radioisotop induk ⁹⁹Mo. ^{99m}Tc terus terbentuk dari ⁹⁹Mo, sehingga setelah dipisahkan, radioisotop ^{99m}Tc yang baru akan terakumulasi kembali. Setelah radioaktivitas ^{99m}Tc dinilai cukup, ^{99m}Tc dapat dipisahkan kembali dari ⁹⁹Mo^[5].



Gambar 2.1 Energi gamma radioisotop ^{99}Mo [5].

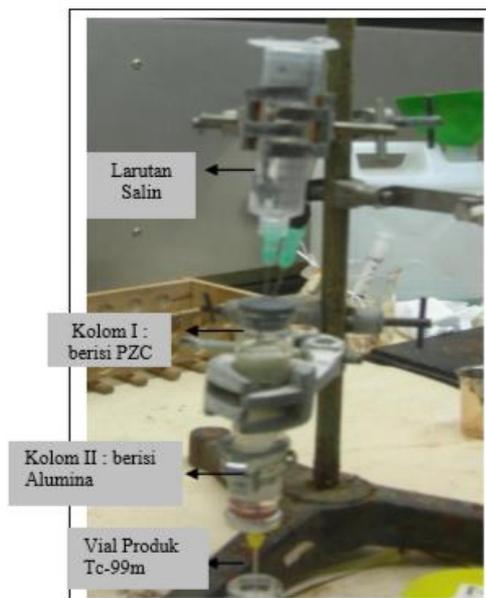
Proses peluruhan radioisotop dari radioisotop ^{99}Mo menjadi ^{99m}Tc , ^{99m}Tc dan akhirnya menjadi ^{99}Ru . ^{99m}Tc hanya memancarkan radiasi gamma, tidak memancarkan radiasi lainnya. Untuk tujuan diagnosis, radiasi yang dipancarkan oleh radioisotop diharapkan segera habis setelah proses diagnosis selesai sehingga dampak yang mungkin terjadi dapat diminimalisir. Oleh sebab itu, sebagai pemancar gamma murni 140,5 keV dengan waktu paruh pendek 6 jam, ^{99m}Tc dinilai tepat sebagai radioisotop diagnosis. Radiasi gamma dengan energi yang relatif rendah ini tidak memberikan dampak yang besar kepada tubuh, namun cukup besar untuk menembus jaringan dan dapat ditangkap dengan mudah oleh detektor radiasi dari luar tubuh. Oleh sebab itu, sebaran radioisotop ini di dalam tubuh dapat diamati dengan mudah [4].

II.4 Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$

Sebagian besar pasokan generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ di seluruh dunia akhir-akhir ini disediakan sebagai generator kromatografi menggunakan kolom alumina yang diisi dengan ^{99}Mo radioaktivitas jenis tinggi dalam bentuk molibdat. Saat ini, sumber ^{99}Mo radioaktivitas jenis tinggi dari reaktor riset dengan menggunakan reaksi fisi

nuklir dengan uranium pengayaan tinggi (U-235 > 93%), (*High Enriched Uranium* = HEU)^[12]. Proses pemisahan ⁹⁹Mo dari hasil fisi ²³⁵U membutuhkan teknologi yang amat rumit dan persyaratan infrastruktur yang hanya mungkin dimiliki oleh negara-negara yang mempunyai teknologi nuklir canggih. Selain itu, ada pembatasan penggunaan HEU dalam masa datang, yang disebabkan tragedi 11 September di New York AS dan gerakan NPT Internasional yang dipimpin AS menyebabkan sulitnya untuk memperoleh HEU^[7].

. Seiring dengan adanya pembatasan penggunaan HEU melalui amandemen Kongres Amerika Serikat, maka produksi ⁹⁹Mo di Indonesia hanya dapat dilakukan melalui iradiasi Mo alam (⁹⁸Mo) dengan menggunakan neutron termal di reaktor nuklir (⁹⁸Mo (n,γ) ⁹⁹Mo). Namun demikian, ⁹⁹Mo yang dihasilkan dari reaksi tersebut, memiliki aktivitas spesifik yang rendah (kelimpahan isotop ⁹⁸Mo = 24,2%)^[13].



Gambar 2.2 Generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc^[14].

Prinsip pemisahan ^{99m}Tc dari ⁹⁹Mo pada generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc yaitu menggunakan teknik kromatografi kolom. Adsorben yang biasa digunakan untuk generator ini yaitu alumina. Generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc berbasis kolom alumina dapat digunakan untuk menyerap ⁹⁹Mo yang memiliki aktivitas spesifik yang tinggi, yaitu > 10.000 Ci/g. ⁹⁹Mo dengan aktifitas spesifik tinggi diperoleh dari hasil reaksi fisi

U-235^[14,15]. Pengembangan ⁹⁹Mo radioaktivitas jenis rendah yang diproduksi dengan menggunakan reaksi inti (n,γ) untuk digunakan dalam generator ^{99m}Tc terus meningkat^[14].

Prototipe generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc berbasis kolom MBZ-alumina ini merupakan pengembangan dari generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc berbasis alumina. Kelebihan prototipe ini yaitu menggunakan sistem kolom kering, yaitu setelah proses elusi, larutan saline yang tertinggal di dalam kolom, baik kolom MBZ ataupun kolom alumina, dikeluarkan dengan menggunakan vial vakum sampai kolom benar-benar kering^[13,23]. Penggunaan sistem kolom kering ini dimaksudkan untuk mencegah radiolisis air yang disebabkan oleh radiasi. Jika air pada eluen mengalami radiolisis, maka akan mengakibatkan pembentukan hidrogen peroksida (H₂O₂) dan radikal bebas perhidroksil atau disebut sebagai oksidan. Jika pada eluat ^{99m}Tc mengandung oksidan, maka akan mengganggu pada pembentukan kompleks radiofarmaka ^{99m}Tc yang akan digunakan sebagai obat di rumah sakit ^[15].

Generator radioisotop yang ideal harus memenuhi beberapa karakteristik, yaitu desain sederhana, nyaman dan mudah untuk digunakan, menghasilkan *yield* radioisotop yang tinggi dan memenuhi persyaratan radioisotop medis, harus dikemas dengan baik untuk meminimalkan paparan radiasi, dan kokoh saat pengiriman^[14,15].

II.5 Spektrometer Gamma

Spektrometer gamma merupakan salah satu alat ukur yang relatif dapat digunakan untuk menganalisis radioaktivitas radioisotop dan mengidentifikasi unsur atau isotop-isotop radioaktif yang ada di dalamnya. Pengukuran menggunakan spektrometer gamma dapat dilakukan dengan dua cara yaitu analisis secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis secara kualitatif dilakukan dengan menganalisis unsur radioaktif yang memancarkan energi gamma, setiap unsur radioaktif memiliki energi yang berbeda dan bersifat spesifik. Sedangkan analisis secara kuantitatif dilakukan dengan cara kalibrasi efisiensi berdasarkan nilai cacahan dari spektrum yang dipancarkan^[6]. Spektrometri gamma dapat didefinisikan sebagai suatu cara pengukuran dan identifikasi zat-zat radioaktif

dengan jalan mengamati spektrum karakteristik yang ditimbulkan oleh interaksi foton gamma yang dipancarkan oleh zat-zat radioaktif tersebut dengan detektor. Interaksi foton gamma dengan detektor akan menghasilkan signal pulsa. Tinggi pulsa yang dihasilkan detektor bersesuaian dengan energi foton gamma yang mengenai detektor. Selanjutnya pulsa-pulsa tersebut diproses secara elektronik dalam serangkaian peralatan yang membentuk perangkat spektrometer gamma^[16].

Spektrometer gamma bekerja berdasarkan berbagai interaksi radiasi gamma (energi foton) dengan bahan detektor. Jika sinar gamma mengenai suatu materi maka sinar-gamma akan menyerahkan seluruh atau sebagian energinya pada unsur radioaktif tersebut. Interaksi yang paling umum dibicarakan pada proses ini dikenal dengan efek fotolistrik, efek compton, dan produksi pasangan (*pair production*). Melalui ketiga proses ini, sinar gamma menyerahkan sebagian atau seluruh tenaganya pada bahan detektor dan sebagai hasilnya dilepaskan elektron-elektron bebas yang dipergunakan dalam proses deteksi^[11,16].

II.5.1 Multi Channel Analyzer (MCA)

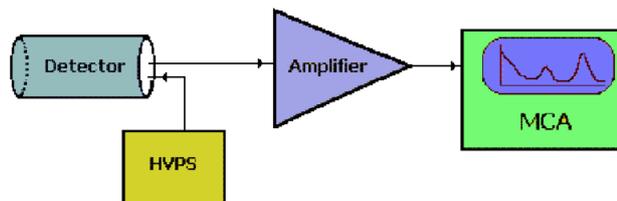
Multi Channel Analyzer (MCA) disebut sebagai penganalisis salur ganda yang biasa dianggap gabungan dari banyak penganalisis salur tunggal dan dapat membuat spektrum gamma secara sekaligus dalam sekali pengukuran. Fungsi utama *MCA* adalah mengolah dan membuat grafik spektrum tinggi pulsa dengan isi cacah setiap *channel*. Pulsa yang dihasilkan pada detektor akan diperkuat atau lebih tepat dipertinggi (*amplifier*)^[16]. Pulsa yang telah dibentuk dan diperkuat itu dikirim menuju suatu alat yang dapat memilah-milahkan pulsa menurut tingginya. Alat tersebut mempunyai banyak penyimpanan yang dinyatakan dalam cacah salur (*channel*) yang dimilikinya. Pulsa dengan tinggi tertentu akan dicatat jumlah cacahnya dalam *channel* dengan nomor *channel* tertentu. Data numerik hasil pencacahan tersebut setiap saat diakumulasikan dalam *channel* tersebut sampai waktu pencacahan selesai^[16, 20].

II.5.2 Detektor HpGe

Detektor yang digunakan pada spektrometer gamma adalah detektor germanium kemurnian tinggidan memiliki efisiensi yang tinggi untuk mengukur

radiasi gamma. Germanium dianggap sebagai kristal murni ideal atau kristal yang sama sekali tidak mengandung zat pengotor (*impurity*)^[17]. Kualitas kerja detektor HPGe terdiri dari dua karakteristik utama yaitu efisiensi dan resolusi. Sedangkan karakteristik lain yang terkait yaitu P/C rasio dan Gaussian rasio. Efisiensi detektor bergantung pada energi radiasi, jarak antara cuplikan dan detektor, serta volume aktif kristal detektor^[17,10].

Karena kesenjangan tenaga dalam kristal germanium sangat kecil, maka untuk mengatasi arus bocor balik, detektor harus dioperasikan pada suhu yang rendah^[22]. Detektor didinginkan dengan nitrogen cair. Apabila hal ini tidak dilakukan arus bocor akan merusak kemampuan detektor untuk memisahkan dua puncak energi gamma yang berdekatan. Hal ini mempengaruhi elektron akan bergerak ke arah potensial yang tinggi sedangkan lubang akan bergerak ke arah potensial yang rendah, demikian hal ini berlangsung terus-menerus. Beda potensial inilah yang akan menimbulkan pulsa. Tinggi pulsa yang dihasilkan akan sebanding dengan energi foton gamma yang berinteraksi dengan detektor^[11]. Detektor HPGe merupakan detektor semikonduktor yang mempunyai resolusi atau kemampuan memisahkan dua peak jauh lebih baik daripada NaI(Tl). Prinsip kerja dari detektor HPGe dapat ditunjukkan pada gambar sebagai berikut^[18]:



Gambar 2.3 Prinsip kerja HPGe^[10].

II.6 Resolusi Detektor

Daya pisah atau resolusi detektor didefinisikan sebagai kemampuan detektor untuk memisahkan dua puncak spektrum gamma yang mempunyai tenaga berdekatan. Daya pisah detektor adalah fungsi energi sinar gamma, semakin tinggi energi sinar gamma semakin rendah daya pisah detektornya. Ukuran daya pisah detektor dinyatakan dengan lebar setengah tinggi maksimum atau FWHM (*Full Width Half Maximum*), dimana satuan yang digunakan adalah keV atau dinyatakan

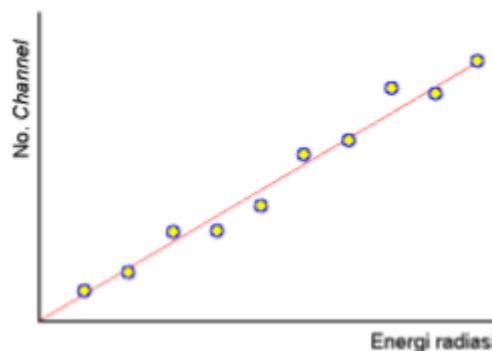
dalam % terhadap tenaga. Sehingga dapat dimasukkan dalam Persamaan 2.1 berikut^[16]:

$$Resolusi = \frac{FWHM}{E} \times 100\% \quad (2.1)$$

dengan E adalah tenaga puncak dari sumber referensi. Nilai resolusi yang semakin kecil menunjukkan resolusi yang semakin baik. Detektor yang memiliki resolusi yang tinggi adalah detektor yang mampu memisahkan dua puncak tenaga yang sangat berdekatan^[16, 18].

II.7 Kalibrasi Energi

Dalam sistem spektroskopi terdapat beberapa langkah konversi pada pengolahan setiap radiasi menjadi pulsa listrik dan akhirnya menjadi satu spektrum distribusi energi radiasi. Kalibrasi energi dilakukan untuk menentukan hubungan antara nomor salur (*channel*) dan energi radiasi gamma pada kondisi kerja yang sama. Kalibrasi energi pada sistem pencacah spektrometer gamma diperlukan untuk tujuan analisis kualitatif. Secara umum pengukuran kalibrasi energi menggunakan sumber standar yang diukur pada spektrometer gamma, sehingga dihasilkan hubungan antara nomor salur (*channel*) dengan energi gamma (keV) merupakan hubungan yang linier dan biasanya disebut dengan kurva kalibrasi energi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 4^[21].



Gambar 2.4 Kurva kalibrasi energi^[10].

Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$Y = a + bx \quad (2.2)$$

dengan:

Y adalah energi gamma (keV), a dan b adalah bilangan konstanta linier, dan x adalah nomor salur (*channel*)^[10].

II.8 Kalibrasi Efisiensi

Pada pengukuran sumber radioaktif menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, yaitu jenis detektor yang digunakan, daya pisah detektor dan efisiensi detektor. Suatu sumber radioaktif selalu memancarkan sinar radioaktif ke segala arah sehingga sebenarnya hanya sebagian saja dari sinar yang dipancarkan oleh cuplikan yang terdeteksi^[11]. Pada kalibrasi energi hanya tergantung pada materi detektor dan energi radiasi. Oleh karena itu diperlukan kalibrasi efisiensi untuk menentukan hubungan antara energi dan efisiensi. Kalibrasi efisiensi ini digunakan untuk tujuan analisis kuantitatif. Efisiensi tiap-tiap energi gamma mempunyai nilai tertentu dan untuk menghitung efisiensi tiap-tiap energi digunakan Persamaan 2.3^[19].

$$\varepsilon = \frac{cps}{dps \times Y(E)} \quad (2.3)$$

dengan:

ε adalah efisiensi mutlak pada energi gamma

cps adalah laju pencacahan yang dihasilkan pada pengukuran

dps adalah aktivitas standar pada saat pengukuran dilakukan (Bq)

Y (E) adalah intensitas atau *yield* suatu radionuklida sebagai fungsi energi gamma (%)

Pengukuran nilai efisiensi ditentukan oleh beberapa faktor yaitu dari segi geometri meliputi jarak antara sumber radionuklida ke detektor, bentuk dan ukuran cuplikan, volume aktif detektor, resolusi atau daya pisah perangkat elektronik. Hasil pengukuran kalibrasi efisiensi spektrometer gamma dengan diperoleh kurva antara efisiensi dan energi sinar gamma. Kurva kalibrasi efisiensi dibuat dengan melakukan pengukuran dan perhitungan efisiensi suatu radionuklida yang memiliki energi gamma dari energi rendah sampai tinggi^[19].

BAB III

METODE PENELITIAN

III.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR) BATAN, kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 11, Tangerang Selatan, Banten, 15310. Penelitian ini dimulai pada tanggal 16 September 2019 sampai tanggal 27 November 2019.

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- | | |
|---|---|
| 1. Spektrometer Gamma dengan
Coaxial Detektor HPGe No.
GMX15p4-70 | 9. <i>Cover Plastic</i> |
| 2. <i>Shielding</i> Biru | 10. <i>Crimper</i> |
| 3. <i>Glass Vials</i> 2mL | 11. Penutup <i>glass vials</i> karet dan
aluminium |
| 4. <i>Glass Vials</i> 10mL | 12. Pinset |
| 5. <i>Dose Calibration</i> | 13. Tisu |
| 6. <i>Syringe</i> 10mL | 14. Penggaris |
| 7. <i>Eppendorf</i> 5 μ L | 15. Keranjang |
| 8. <i>Eppendorf</i> 100 μ L | 16. <i>Fume Hood</i> Aktif |

III.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Sumber Standar Cair Campuran ^{133}Ba , ^{137}Cs , dan ^{60}Co 10mL
2. Sumber Standar Titik ^{137}Cs
3. Larutan *Saline*
4. ^{99}Mo (Molibdenium) aktif

III.3 Prosedur Percobaan

III.3.1 Uji Kestabilan Detektor

Kestabilan detektor diuji untuk mengetahui kestabilan pada detektor. Pengukuran dilakukan dengan menyiapkan alat dan bahan. Kemudian melakukan pengukuran uji kestabilan sumber standar titik ^{137}Cs menggunakan Spektrometer Gamma dengan Coaxial Detektor HPGe No. GMX15p4-70, pengukuran dilakukan 30 kali dengan waktu 300 detik pada jarak 2,5 cm (rak 2) dari detektor. Menentukan resolusi detektor. Menyimpan data hasil pengukuran, kemudian menganalisis data dengan membuat *control chart* dan *chisquare*.

III.3.2 Kalibrasi Energi dan Efisiensi

Pengukuran kalibrasi energi dan efisiensi dengan mengukur *background* menggunakan kosongan *shielding* biru pada setiap jarak (rak) dari detektor yang akan digunakan. Melakukan pengukuran uji kalibrasi energi dan efisiensi sumber standar cair campuran ^{133}Ba , ^{137}Cs , dan ^{60}Co 10 mL dengan *shielding* biru menggunakan Spektrometer Gamma dengan Coaxial Detektor HPGe No. GMX15p4-70, pengukuran dilakukan masing-masing 3 kali pada jarak 4,5 cm (rak 2), 6,5 cm (rak 3) dan 8,5 cm (rak 4) dari detektor. Menentukan resolusi detektor. Menyimpan dan menganalisis data hasil pengukuran.

III.3.3 Uji Validasi Sumber Standar Cair Campuran ^{133}Ba ^{137}Cs ^{60}Co 10mL

Uji validasi dilakukan untuk memastikan sumber standar yang digunakan masih dalam keadaan standar yang ditetapkan. Pengujian validasi dilakukan dengan mengukur *background* menggunakan kosongan *shielding* biru pada setiap jarak (rak) dari detektor yang akan digunakan. Melakukan pengukuran uji validasi sumber standar cair campuran ^{133}Ba , ^{137}Cs , dan ^{60}Co 10 mL dengan *shielding* biru menggunakan Spektrometer Gamma dengan Coaxial Detektor HPGe No. GMX15p4-70, pengukuran dilakukan masing-masing 1 kali pada jarak 4,5 cm (rak 2), 6,5 cm (rak 3) dan 8,5 cm (rak 4) dari detektor dengan waktu 3600 detik. Menyimpan data hasil pengukuran kemudian dilakukan menganalisis data.

III.3.4 Uji Radioaktivitas $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

III.3.4.1 Uji Kualitatif

Uji kualitatif dilakukan untuk mengetahui hasil elusi yang terjadi pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, dengan menyiapkan alat dan bahan. Kemudian mengukur *background* pada *dose calibration*. ^{99}Mo aktif yang telah di iradiasi di cuplik 100 μL kedalam *bulk*, kemudian dilakukan penyerapan ^{99}Mo menggunakan nano alumina pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ selama 24 jam. Kemudian hasil penyerapan ^{99}Mo (elusi hari pertama) di ukur pada *dose calibration*. Kemudian dilakukan pengukuran hasil elusi menggunakan spektrometer gamma dengan Coaxial Detektor HPGe No. GMX15p4-70, pada jarak 2,5 cm (rak 2), 4,5 cm (rak 3), dan 6,5 cm (rak 4) dari detektor yang telah terkalibrasi, masing-masing 3 kali pengulangan dengan waktu 300 detik. Menyimpan dan menganalisis hasil pengukuran. Kemudian menyimpan sampel hasil elusi di *fume hood* aktif. Melakukan langkah 1-7 pada pengukuran elusi hari kedua, elusi hari ketiga dan elusi hari keempat.

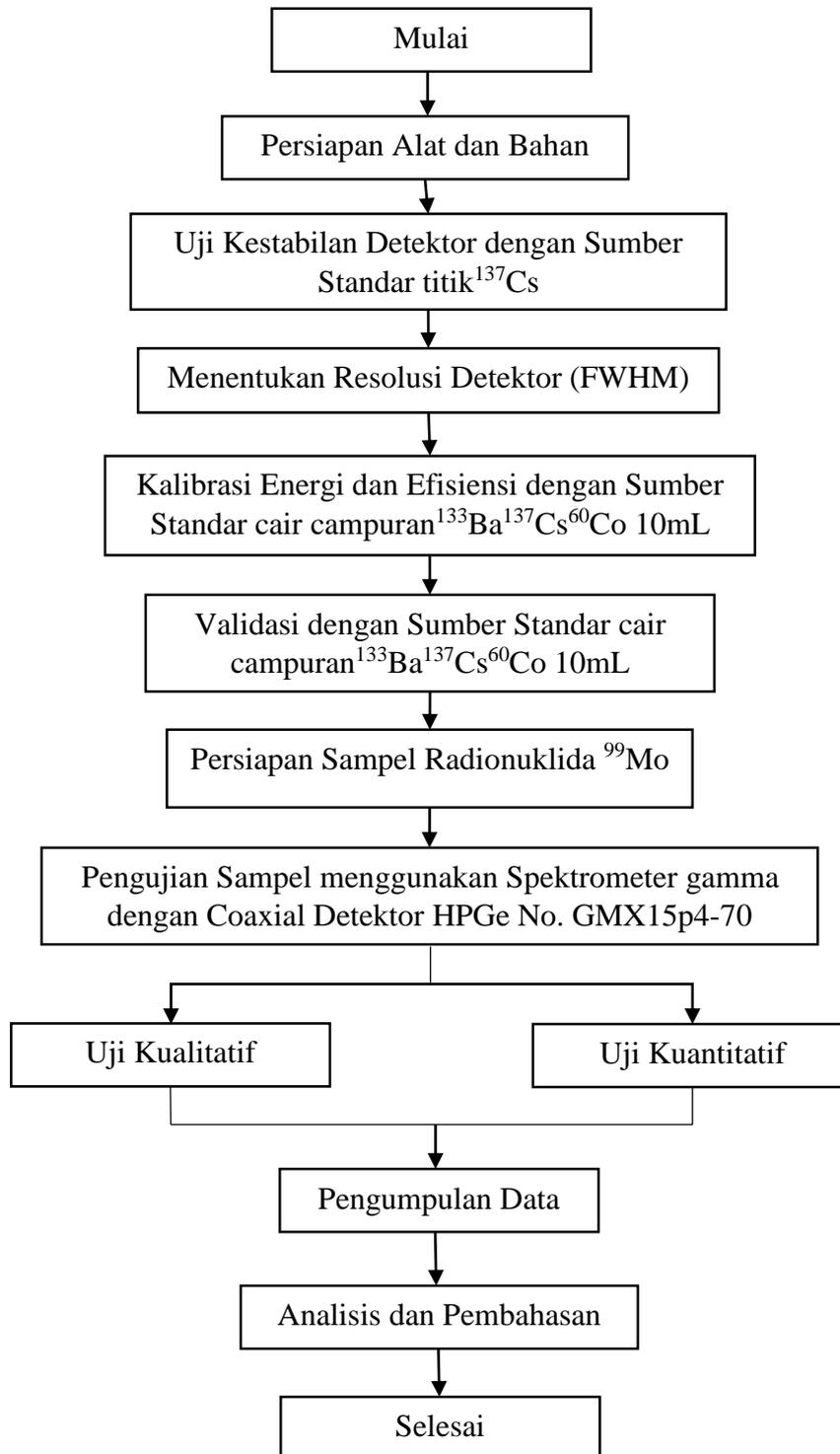
III.3.4.2 Uji Kuantitatif

Uji kuantitatif untuk mengetahui aktivitas lolosan ^{99}Mo yang terjadi. Pengukuran dilakukan dengan menyiapkan alat dan bahan. Kemudian mengukur *background* pada *dose calibration*. Menyuplik *bulk* ^{99}Mo sebanyak 100 μL menggunakan *ependorf* 100 μL , kemudian memasukkan kedalam wadah *glass vials* 2mL untuk dijadikan *bulk* ke 2. Mengukur radioaktivitas ^{99}Mo di *dose calibration*. Mencatat waktu dan hasil pengukuran radioaktivitas. Menyiapkan 1 *glass vials* 10 mL, kemudian diisi dengan larutan *saline* sebanyak 10 mL menggunakan *Syringe* 10mL. Mengambil 5 μL larutan *saline* pada *glass vials* menggunakan *ependorf* 5 μL . Menyuplik 5 μL ^{99}Mo pada *bulk* ke 2, kemudian memasukkan ke dalam *glass vials* yang larutan salinnya sudah dicuplik 5 μL . Menutup *glass vials* yang telah berisi ^{99}Mo aktif dengan penutup karet dan aluminium, kemudian di *crimper*. Menempatkan *glass vials* yang sudah di *crimper* kedalam *cover plastic*, kemudian memasukkan kedalam *shielding* biru. Kemudian diukur dengan spektrometer gamma dengan Coaxial Detektor HPGe No.

GMX15p4-70 pada jarak 2,5 cm (rak 2), 4,5 cm (rak 3), dan 6,5 cm (rak 4) dari detektor yang telah terkalibrasi, masing-masing 3 kali pengulangan dengan waktu 300 detik. Mencatat hasil pengukuran. Kemudian menyimpan sampel di *fume hood* aktif. Melakukan langkah 1-12 untuk pengukuran hari ke 2 sampai hari ke 6.

III.4 Bagan Alur Penelitian

Adapun bagan alur penelitian sebagai berikut:

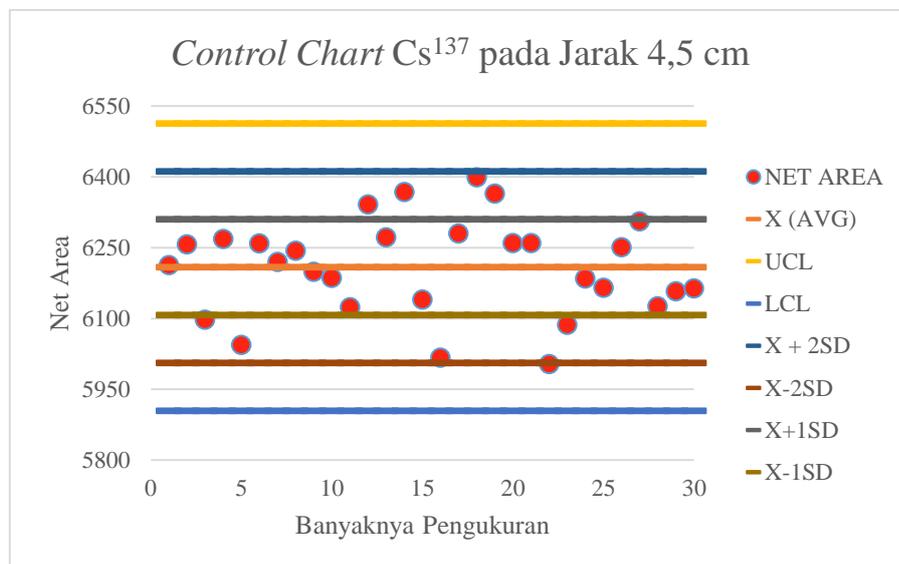


Gambar 3.1 Bagan alir prosedur penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Uji Kestabilan pada Detektor Menggunakan Sumber Standar Titik Cs¹³⁷

Pengukuran kestabilan pada detektor dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari detektor spektrometer gamma. Pengukuran dilakukan pada jarak 4,5 cm, 6,5 cm dan 8,5 cm, karena untuk menyesuaikan geometri pada pengukuran aktivitas ⁹⁹Mo yang akan dianalisis. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin jauh jarak yang digunakan dari detektor semakin bagus karena sumber ⁹⁹Mo yang akan diukur aktivitasnya sangat kecil sehingga jarak yang digunakan dekat dengan detektor. Akan tetapi, apabila jarak yang digunakan terlalu dekat dengan detektor dapat menyebabkan deadtimenya besar dan tidak akurat untuk pengukuran/uji kuantitatif karena kesalahan yang terjadi besar sekali. Hasil pengukuran kestabilan dapat di lihat dari grafik dibawah ini:



Grafik 4.1 Control chart ¹³⁷Cs pada jarak 4,5 cm (Rak 2) dari detektor.

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa hasil pengukuran kestabilan dari detektor dengan menggunakan sumber standar titik ¹³⁷Cs dengan energi 661,51 keV dan aktivitas sebesar 0,1 μ Ci, dapat dinyatakan bahwa kestabilan dari detektor masih bagus atau stabil. Nilai dari *net area upper control limit (UCL)* yang telah didapatkan yaitu 6513,106222, sehingga data yang diperoleh dari hasil pengukuran

tidak ada yang melewati nilai *net areaupper control limit (UCL)* karena nilai *net area* terbesar yaitu 6399 ± 81 . Sedangkan nilai *net area* yang diperoleh pada *lower control limit (LCL)* yaitu 5094,36, sehingga dapat dilihat pada Grafik 4.1 bahwa tidak ada nilai *net area* yang melewati *lower control limit (LCL)* karena nilai *net area* terendah yang didapatkan dari hasil pengukuran yaitu 6004 ± 79 .

Pengujian kestabilan detektor menggunakan ^{137}Cs yaitu dengan pembuatan grafik *control chart* seperti pada Grafik 4.1, sehingga dapat ditentukan persentase kestabilan detektor dengan menentukan nilai *chisquare* (x^2). Nilai *chisquare* yang diperoleh dari pengukuran yaitu 48,08 dengan persentase mencapai 95% yang didapatkan melalui tabel *chisquare*. Hal tersebut menandakan bahwa detektor tersebut masih stabil.

IV.2 Uji Kalibrasi Energi dengan Sumber Standar Cair Campuran $^{133}\text{Ba}^{137}\text{Cs}^{60}\text{Co}$ pada Spektrometer Gamma

Kalibrasi energi pada sistem pencacah spektrometer gamma diperlukan untuk tujuan analisis kualitatif. Kalibrasi energi dilakukan pada jarak 4,5 cm, 6,5 cm, dan 8,5 cm dari detektor spetrometer gamma. Hasil pengukuran kalibrasi energi dapat di lihat pada Tabel IV. 1. 1, Tabel IV. 1. 2, dan Tabel IV. 1. 3.

IV. 1. 1 Tabel Data Hasil Kalibrasi Energi pada Jarak 4,5 cm dari Detektor

Radioisotop	Nilai Cacah					Channel	Energi
	Bq	X ₁	X ₂	X ₃	Rata-rata		
^{133}Ba	11	676	73	39	251.6666667	1449	276.2
	29	2271	2163	2057	2134.666667	1586	302.89
	6	21605	19415	19760	20254	1865	356.08
	23	3787	3329	3217	3421.333333	2011	383.92

^{137}Cs	33	71836	70044	70032	70604.33333	3467	661.59
^{60}Co	23	41020	40554	40064	40523	6148	1173.13
	0	38534	38159	37737	38143.33333	6984	1332.72

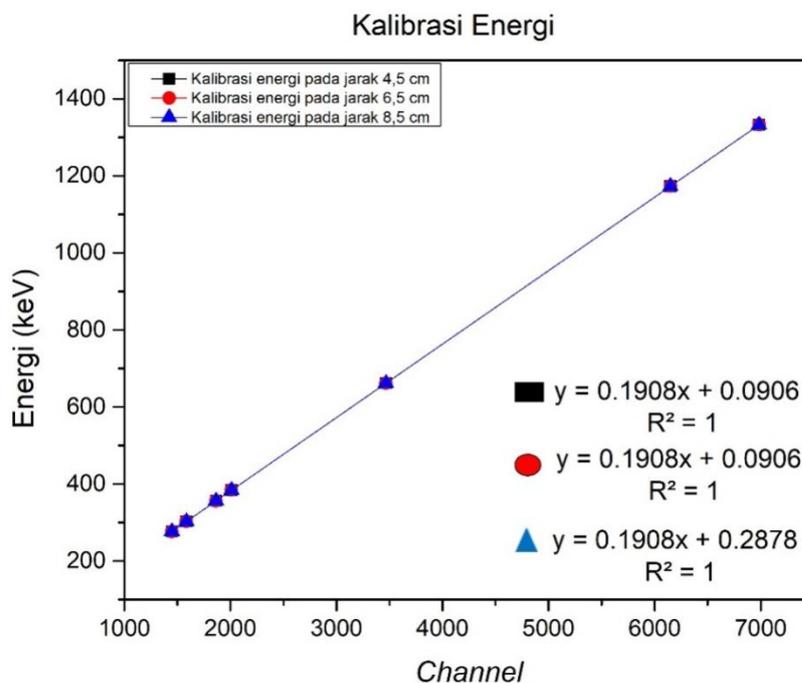
IV.1.2 Tabel Data Hasil Kalibrasi Energi pada Jarak 6,5 cm dari Detektor

Radioisotop	Nilai Cacah					Channel	Energi
	Bq	X ₁	X ₂	X ₃	Rata-rata		
^{133}Ba	25	413	608	167	371	1449	276.2
	0	1985	1553	1985	1841	1586	302.89
	0	13705	13462	13705	13624	1865	356.08
	0	2595	2465	2596	2552	2011	383.92
^{137}Cs	47	45734	46200	45734	45842.33333	3467	661.59
^{60}Co	13	26607	26549	26607	26574.66667	6148	1173.13
	22	25913	25786	25913	25848.66667	6984	1332.72

IV.1.3 Tabel Data Hasil Kalibrasi Energi pada Jarak 8,5 cm dari Detektor

Radioisotop	Nilai Cacah					Channel	Energi
	Bq	X ₁	X ₂	X ₃	Rata-rata		
^{133}Ba	7	160	159	264	187.3333333	1449	276.77
	2	2504	2667	2357	2507.333333	1585	302.7
	0	21056	20917	21367	21113.33333	1865	356.08
	6	4110	4005	4105	4067.333333	2010	383.73
^{137}Cs	137	70899	70367	70946	70600.33333	3468	661.78
^{60}Co	34	40813	40646	40860	40739	6148	1173.13
	0	38855	38801	38876	38844	6984	1332.72

Dari tabel di atas telah didapatkan nilai energi yang telah dikalibrasi menggunakan radioisotop ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{60}Co pada spektrometer gamma. Dari tabel di atas menyatakan bahwa semakin besar energi yang dihasilkan maka nilai *channel* juga semakin besar. Semakin dekat jarak sumber ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{60}Co dengan detektor, maka energi ^{133}Ba pada 276,2 keV memiliki nilai cacah yang tidak stabil. Sedangkan energi ^{133}Ba pada 302,89 keV, 356,08 keV, 383,92 keV memiliki nilai cacah yang stabil, walaupun jaraknya berbeda. Begitupun pada energi ^{137}Cs dan ^{60}Co memiliki nilai cacah yang stabil karena pada pengukuran menunjukkan nilai cacah yang tidak terlalu berbeda. Sehingga hasil pengukuran yang dihasilkan membentuk kurva kalibrasi linier yang telah di plot pada Grafik IV. 2.



Grafik 4.2 Kalibrasi energi pada jarak 4,5 cm, 6,5 cm dan 8,5 cm dari detektor.

Dari grafik di atas didapatkan persamaan kalibrasi energi dari jarak 4,5 cm, 6,5 cm, dan 8,5 cm dari detektor dengan nilai r-square (R^2) yaitu 1. Oleh sebab itu dari persamaan di atas sudah bagus karena dapat di lihat dari nilai r-square sama dengan 1, maka angka tersebut menunjukkan garis regresi cocok dengan data secara sempurna. Nilai R^2 dijadikan sebagai pengukuran seberapa baik garis regresi mendekati nilai data asli yang telah dibuat melalui model dari suatu grafik. Dari

grafik 4.2 dihasilkan hubungan dari nilai channel yang didapatkan berbanding lurus dengan energi dari sumber $^{133}\text{Ba}^{137}\text{Cs}^{60}\text{Co}$.

IV.3 Uji Kalibrasi Efisiensi dengan Sumber Standar Cair Campuran $^{133}\text{Ba}^{137}\text{Cs}^{60}\text{Co}$ pada Spektrometer Gamma

Kalibrasi efisiensi pada sistem pencacah spektrometer gamma diperlukan untuk tujuan analisis kuantitatif. Pengukuran kalibrasi efisiensi diukur menggunakan sumber standar cair campuran $^{133}\text{Ba}^{137}\text{Cs}^{60}\text{Co}$ menggunakan spektrometer gammadengan lama pencacahan yang ditentukan. Kalibrasi efisiensi dilakukan pada jarak 4,5 cm, 6,5 cm, dan 8,5 cm dari detektor spetrometer gamma. Hasil pengukuran kalibrasi energi dapat di lihat pada Tabel IV. 1. 4, Tabel IV. 1. 5, dan Tabel IV. 1. 6.

IV.1.4 Tabel Data Hasil Kalibrasi Efisiensi pada Jarak 4,5 cm dari Detektor

Radioisotop	X Rata-Rata	Energi	DPS (Bq)	CPS	Intensitas	Efisiensi
^{133}Ba	251.6667	276.2	44418.23	0.1398	7.16%	4.394×10^{-5}
	2134.667	302.89	44418.23	1.1859	18.33%	1.456×10^{-4}
	20254	356.08	44418.23	11.252	62.05%	4.083×10^{-4}
	3421.333	383.92	44418.23	1.9007	8.94%	4.787×10^{-4}
^{137}Cs	70604.33	661.59	37252.48	39.224	86.00%	1.224×10^{-3}
^{60}Co	40523	1173.13	22612.14	22.512	99.88%	9.968×10^{-4}
	38143.33	1332.72	22612.14	21.190	99.99%	9.373×10^{-4}

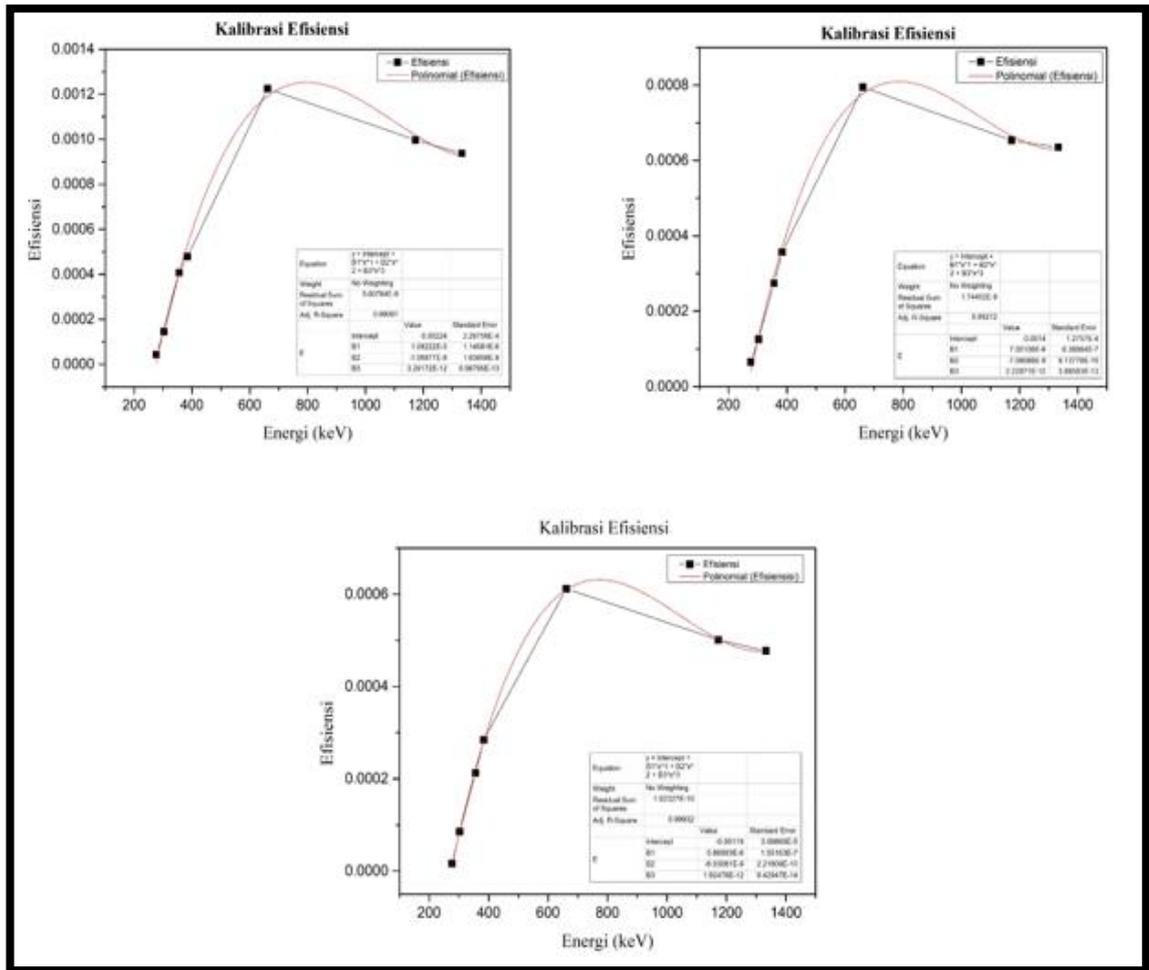
IV. 1. 5 Tabel Data Hasil Kalibrasi Efisiensi pada Jarak 6,5 cm dari Detektor

Radioisotop	X Rata-Rata	Energi	DPS (Bq)	CPS	Intensitas	Efisiensi
¹³³ Ba	371	276.2	44418.23	0.2061	7.16%	6.478x10 ⁻⁵
	1841	302.89	44418.23	1.0227	18.33%	1.256x10 ⁻⁴
	13624	356.08	44418.23	7.5688	62.05%	2.746x10 ⁻⁴
	2552	383.92	44418.23	1.4177	8.94%	3.570x10 ⁻⁴
¹³⁷ Cs	45842.33	661.59	37252.48	25.467	86.00%	7.949x10 ⁻⁴
⁶⁰ Co	26574.67	1173.13	22612.14	14.763	99.88%	6.537x10 ⁻⁴
	25848.67	1332.72	22612.14	14.360	99.99%	6.352x10 ⁻⁴

IV.1.6 Tabel Data Hasil Kalibrasi Efisiensi pada Jarak 8,5 cm dari Detektor

Radioisotop	X Rata-rata	Energi	DPS (Bq)	CPS	Intensitas	Efisiensi
¹³³ Ba	187.3333	276.77	44418.23	0.0520	7.16%	1.64x10 ⁻⁰⁵
	2507.333	302.7	44418.23	0.6964	18.33%	8.55x10 ⁻⁰⁵
	21113.33	356.08	44418.23	5.8648	62.05%	2.13x10 ⁻⁰⁴
	4067.333	383.73	44418.23	1.1298	8.94%	2.85x10 ⁻⁰⁴
¹³⁷ Cs	70600.33	661.78	37252.48	19.611	86.00%	6.12x10 ⁻⁰⁴
⁶⁰ Co	40739	1173.13	22612.14	11.316	99.88%	5.01x10 ⁻⁰⁴
	38844	1332.72	22612.14	10.79	99.99%	4.77x10 ⁻⁰⁴

Dari tabel di atas kalibrasi efisiensi dapat dilihat dari grafik di bawah ini.



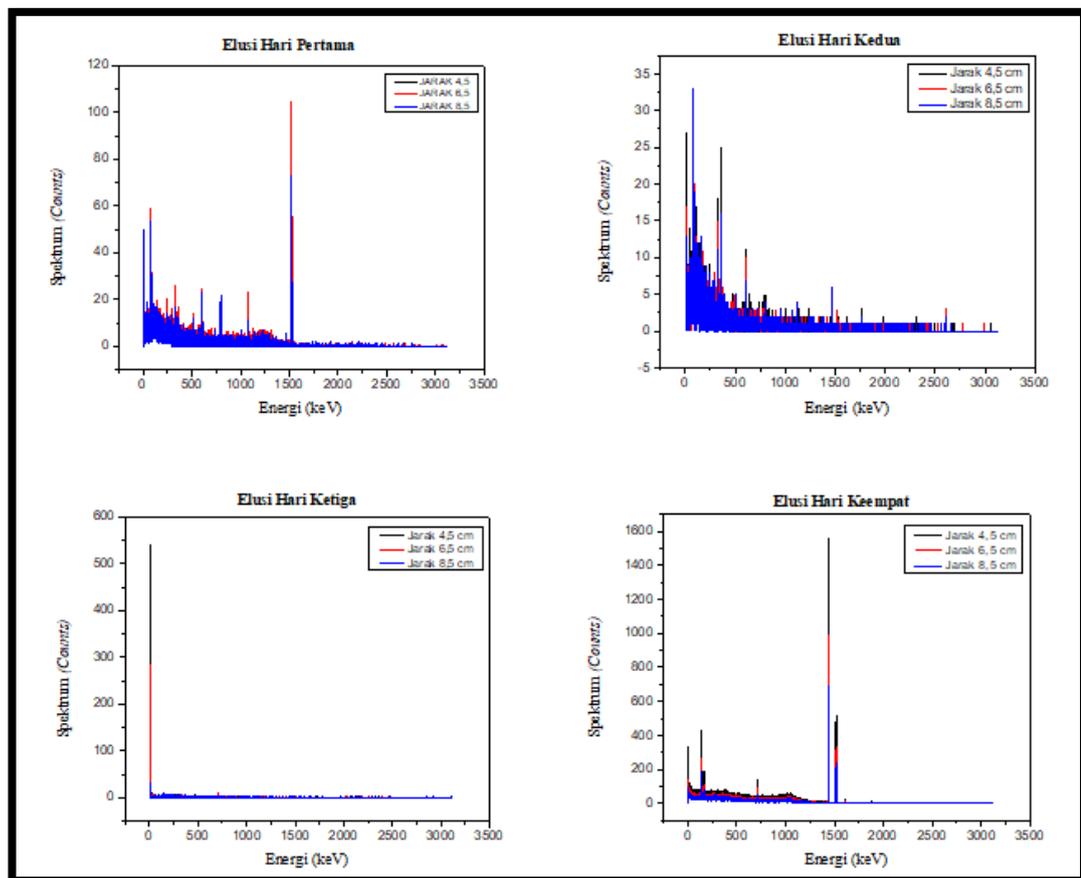
Grafik 4.3 Kalibrasi efisiensi pada jarak 4,5 cm, 6,5 cm dan 8,5 cm dari detektor.

Pada pengukuran kalibrasi efisiensi dihasilkan persamaan yang ditunjukkan pada grafik di atas. Pengukuran kalibrasi efisiensi dilakukan pada jarak 4,5 cm, 6,5 cm dan 8,5 cm dari detektor. Pada Grafik IV.2 dihasilkan nilai *r-square* (R^2) yaitu 0,99. Oleh sebab itu dari persamaan persamaan di atas memenuhi titik-titik pengukuran dengan baik sehingga persamaan yang diperoleh dapat digunakan untuk perhitungan kuantitatif dengan kesalahan pengukuran yang seminimal mungkin karena karena nilai *r-square* yang didapatkan menghampiri nilai 1, maka angka tersebut menunjukkan garis regresi cocok dengan data secara sempurna. Nilai R^2 dijadikan sebagai pengukuran seberapa baik garis regresi mendekati nilai data asli yang telah dibuat melalui model dari suatu grafik.

IV.4 Uji Radioaktivitas $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

IV.4.1 Uji Kualitatif

Pengukuran radioaktivitas $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan cara pengujian kualitatif dengan menganalisis hasil elusi yang dilakukan pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Proses elusi dilakukan selama 4 hari berturut-turut. Pengukuran ini dilakukan untuk memastikan bahwa produksi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang dihasilkan murni tanpa adanya lolosan ^{99}Mo yang terdapat pada produk $^{99\text{m}}\text{Tc}$. hasil pengukuran dapat dilihat dari grafik di bawah ini.



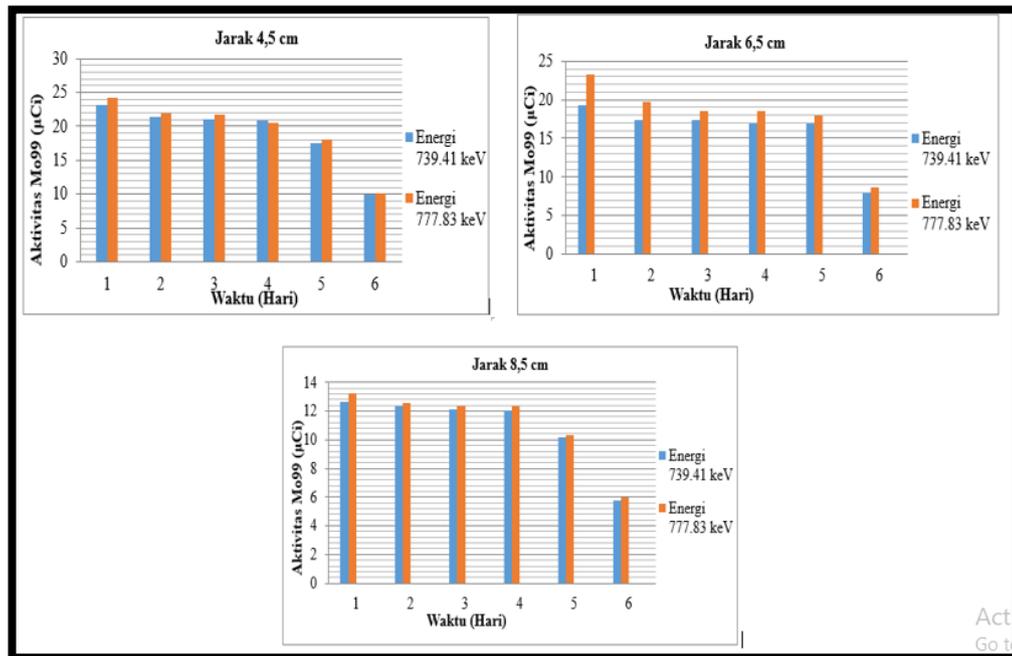
Grafik 4.4 Hasil elusi pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa proses elusi pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, menunjukkan bahwa generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ masih dalam kendali yang baik untuk memproduksi $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Pada elusi hari ketiga dilihat dengan jelas bahwa tidak ada energi dari suatu radioaktivitas ^{99}Mo yang muncul pada energi 739,43 keV dan

777,83 keV hal tersebut menandakan bahwa ^{99m}Tc yang diproduksi masih berada dalam keadaan murni dan dapat digunakan untuk proses diagnosis di rumah sakit. Sedangkan pada elusi hari pertama dan hari kedua yang dihasilkan dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ dilihat dari grafik tidak ada radioaktivitas dari energi ^{99}Mo yang muncul, namun masih ada berbagai macam radioisotop yang di deteksi pada spektrometer gamma seperti radioisotop iodium dan samarium. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya radioisotop lain yang terkontaminasi pada pengukuran di spektrometer gamma sehingga dapat di deteksi pada radioaktivitas $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ yang di ukur. Selanjutnya pada pengukuran elusi hari keempat sudah ada energi ^{99}Mo yang muncul, hal ini menandakan sudah ada lolosan ^{99}Mo yang terdapat pada produksi ^{99m}Tc . Lolosan ^{99}Mo dapat terjuga terjadi karena apabila ditinjau dari segi materialnya kemampuan dari bahan penyerap sudah maksimal sampai hari ke empat elusi sehingga banyak Mo yang lolos di hari ke empat, sehingga mempengaruhi produksi ^{99m}Tc .

IV.1.2 Uji Kuantitatif

Uji kuantitatif dilakaukan untuk mengetahui aktivitas ^{99}Mo *breaktrough* yang terjadi pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$. Pengukuran ini dilakukan dengan membiarkan aktivitas radioisotop ^{99}Mo semakin kecil, karena pada saat pengukuran aktivitas di *dose calibration* masih terbaca. Namun pada saat dilakukan pengukuran di spektrometer gamma, detektor tidak mampu menerima radioisotop dengan aktivitas yang tinggi. Hal tersebut ditandai dengan *dead time* yang cukup tinggi. Pengukuran lolosan ^{99}Mo dilakukan selama 6 hari berturut-turut dimulai dari pasca iradiasi dan proses penyerapan ^{99}Mo ke dalam kolom material penyerap ^{99}Mo dengan jarak dari detektor yaitu 4,5 cm, 6,5 cm dan 8,5 cm. Hasil pengukuran dapat dilihat dari grafik di bawah ini.



Grafik 4.5 Pengukuran aktivitas lolosan ⁹⁹Mo dari generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc.

Pada grafik diatas dijelaskan bahwa aktivitas lolosan ⁹⁹Mo yang terjadi pada generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc. Pengukuran aktivitas lolosan ⁹⁹Mo dilihat dari energi ⁹⁹Mo yang dihasilkan yaitu 739,41 keV dan 777,83 keV. Pengukuran pada jarak 4,5 cm dari detektor dengan nilai aktivitas tertinggi pada pengukuran di hari pertama dengan nilai aktivitas yaitu 23,21 µCi dan 24,25 µCi yang dihasilkan dari aktivitas ⁹⁹Mo masih besar dari generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc, sedangkan nilai aktivitas yang paling rendah di peroleh pada pengukuran hari ke 6 yaitu dengan lolosan aktivitas ⁹⁹Mo yaitu 10 µCi dan 10,13 µCi. Pengukuran aktivitas ⁹⁹Mo *breakthrough* menunjukkan dari grafik di atas bahwa aktivitas ⁹⁹Mo di elusi hari pertama, kedua dan ketiga sama atau mendekati Bq maka dikatakan tidak terdapat ⁹⁹Mo *breaktroughnya* di elusi pertama, kedua, ketiga tapi ternyata hari ke empat aktivitasnya muncul lebih besar setelah dikurangi dengan Background atau jauh dari nilai bq dibanding elusi hari 1,2 dan 3. Pengukuran juga dilakukan pada jarak 6,5 cm dan 8,5 cm dan dihasilkan bahwa aktivitas yang di peroleh yaitu semakin lama pengukuran yang dilakukan maka aktivitas semakin kecil dapat dilihat dari Grafik IV.4. Dengan demikian dapat juga disimpulkan bahwa semakin besar energi radioisotop ⁹⁹Mo yang didapatkan, maka aktivitasnya semakin besar.

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Elusi ^{99}Mo menghasilkan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ murni yang dapat digunakan untuk mendiagnosis dalam bidang kedokteran. Produksi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang dapat digunakan yaitu dilihat dari hasil elusi hari pertama sampai elusi hari ketiga karena tidak ada ^{99}Mo yang terdeteksi.
2. Pengukuran aktivitas lolosan $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari suatu sistem generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ diperoleh semakin lama pengukuran maka aktivitas yang dihasilkan semakin kecil, hal tersebut disebabkan aktivitas $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ sudah mulai habis.

V.2 Saran

1. Pengukuran pencacahan suatu radionuklida pada spektrometer gamma sebaiknya dilakukan dengan waktu yang cukup lama.
2. Pengukuran sebaiknya dilakukan dengan menggunakan geometri yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Muqmiroh, dkk. "The Radiation Dose Profile in Pediatric Interventional Cardiology to Estimate the Stochastic Effect Risk: Preliminary Study". *Journal of Vocational Health Studies*, No. 1:107-112, 2018.
- [2] Z. Alatas, dkk. Buku Pintar Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
- [3] S. Sunarhadijoso. Radioisotop dan Radiofarmaka: Dari Teori Atom sampai Teknik Produksi dan Pemeriksaan Kualitas, Badan Tenaga Nuklir Nasional Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta. 2013.
- [4] R. Awaluddin. "Radioisotop Teknesium-99m dan Kegunaannya". *Iptek Ilmiah Populer*, Vol.13, No.2:61-65, 2011.
- [5] N. Uzunov, dkk. "Quality Assurance of $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Radionuclide Generators". *Acta Scientifica Naturalis (ASN)*, Vol 5, No 1:40-47, 2018.
- [6] Wahyudi, Dadong Iskandar dan Djoko Marjanto. "Pengaruh Matriks Terhadap Pencacahan Sampel Menggunakan Spektrometer Gamma". *JFN*, Vol.1, No.2:65-75, 2007.
- [7] I. Septiama, dkk. "The use of Sodium Hypochlorite Solution for (n, γ) $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generator Based on Zirconium-Based Material (ZBM)". *Atom Indonesia*, Vol. 41, No. 2:103-109, 2015.
- [8] Sulaiman, dkk. "Optimasi pH Alumina dan ^{99}Mo dalam Pembuatan Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Berbasis MoO_3 Alam". *Jurna Urania*, Vol.13, No. 2:73-134, 2018.
- [9] H. Candra, Pujadin dan G. Wurdianti. "Pengaruh Efek Geometri pada Kalibrasi Efisiensi Detektor Semikonduktor Gamma". *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng dan DIY*, hal.258-264, Semarang, 10 April 2010.
- [10] M. Aziz, Eko Hidayanto dan Diah Dwiana Lestari. "Penentuan Aktivitas ^{60}Co dan ^{137}Cs pada Sampel Unknown dengan Menggunakan Detektor HPGe". *Youngster Physics Journal*, Vol. 4, No. 2:189 – 196, 2015.
- [11] M. Ambalinggi'. *Penentuan Konsentrasi Dan Nilai Faktor Transfer Radionuklida Alam Dari Tanah Ke Kopi Toraja Menggunakan Spektrometer*

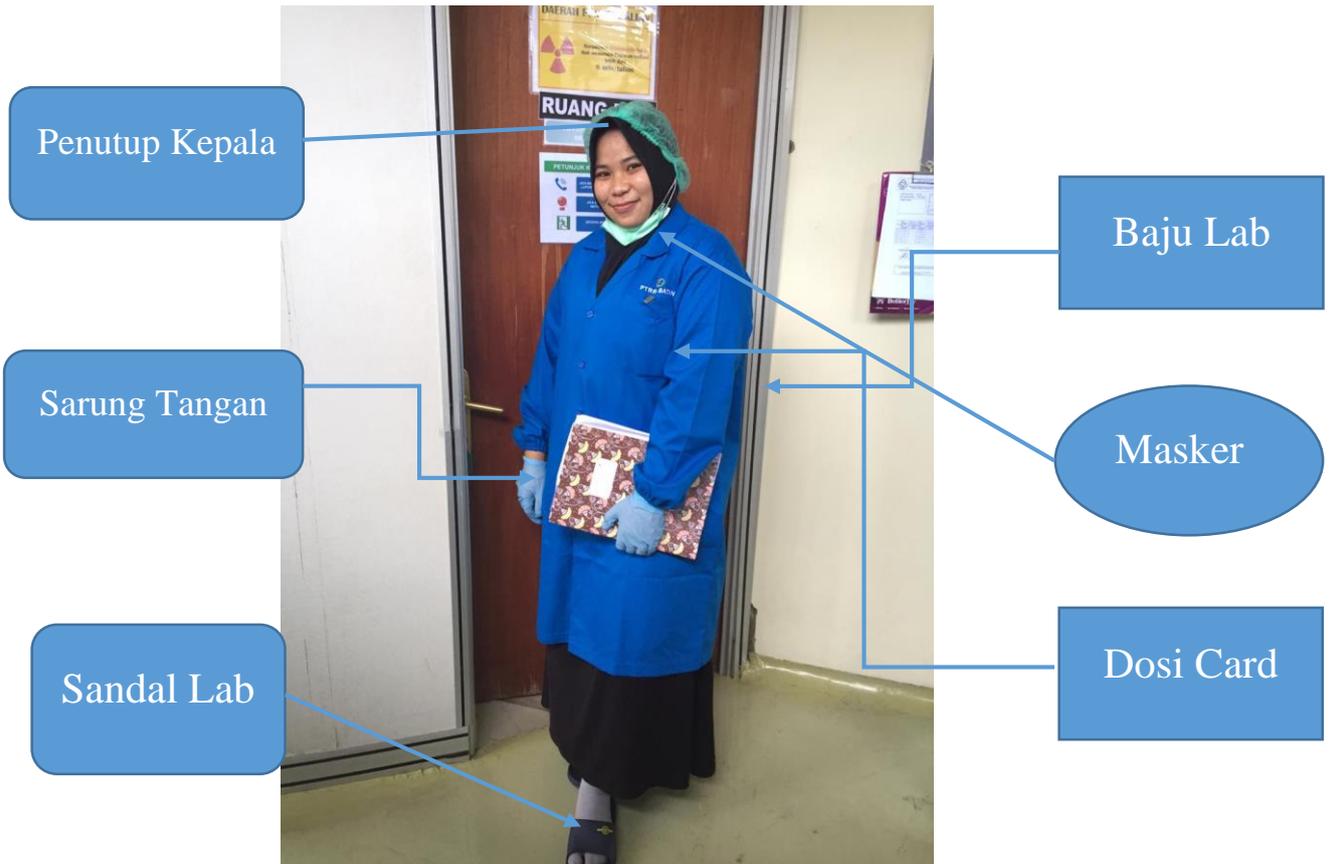
Gamma. Skripsi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar, 2017.

- [12] I. Saptiama, dkk. “Pembuatan Radionuklida Molibdenium-99 (^{99}Mo) Hasil Aktivasi Neutron dari Molibdenium Alama untuk Memperoleh Teknesium-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)”. *Urania*, Vol. 22, No. 2: 65 – 132, 2016.
- [13] I. Saptiama, dkk. “Development of $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generator System for Production of Medical Radionuclide $^{99\text{m}}\text{Tc}$ using a Neutron-activated ^{99}Mo and Zirconium Based Material (ZBM) as its Adsorbent”. *Atom Indonesia*, Vol.42, No.3:115-121, 2016.
- [14] Kadarisman dan Adang HG. “Unjuk Kerja Generator Radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan Radioaktivitas ^{99}Mo 600 dan 800 Mci Berbasis PZC”. *Urania*, Vol.17, No.1: 1 – 54, 2011.
- [15] Marlina, dkk. “Desain dan Performa prototipe Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan Kolom Material Berbasis Zirkonium dan Kolom Alumina”. *J. Kimia dan Kemasan*, Vol. 38, No. 2:93-102, 2016.
- [16] A. T. Purwanto dan E. Nuraeni. “Optimasi Parameter Spektroskopi Gamma Dengan Detektor HPGe”. *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*, hal.311-312, Yogyakarta, 11 September 2013.
- [17] Rosidi, dkk. “Uji Fungsi Detektor Hpge Gem-35-P4 Ortec Spektrometer Gamma Lab. Aan Tank-BKTPB”. *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*, hal.156-159, Yogyakarta, 26 September 2012.
- [18] S. Bahri. “Perbandingan Kinerja Detektor NaI(Tl) Dengan Detektor CsI(Tl) Pada Spektroskopi Radiasi Gamma”. *Jurnal Gradien*, Vol.3, No.1 Januari 2007: 204-209, 2007.
- [19] Chandra H., Pujadi, & Wurdianto G., 2010, Pengaruh Efek Geometri Pada Kalibrasi Efisiensi Detektor Semikonduktor HPGe Menggunakan Spektrometer Gamma, *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng & DIY*, hal 258-264, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN.

- [20] A. Mahardika Anugrayuning Jiwatami. "Karakterisasi Spektrum Au-198 Dengan Mca Eg&G Ortec Menggunakan Detektor Nai(Tl)". *Jurnal Penelitian*. Vol.18, No. 1:43-48, 2014.
- [21] H. Liana Sari dan Wahyu Setia Budi. "Penentuan Karakteristik Cacahan Pada Counter Dengan Menggunakan Sumber Standar ^{152}Eu , ^{60}Co Dan ^{137}Cs ". *Youngster Physics Journal*, Vol. 6, No. 2:151- 156, 2017.
- [22] G. Xhixha, et al. "Calibration of Hpge Detectors Using Certified Reference Materials of Natural Origin". *J Radioanal Nucl Chem*. 2015.
- [23] M. Munir, dkk. "Influence of Drying Time and Temperatur on Zirconiumbased Material (ZBM) Properties for $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generator Development". *Jurnal Kimia dan Kemasan*, Vol.2, No.40:87-96, 2018.
- [24] F. A. Mettler and Milton J. Guiberteau. *Essential of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 7th Edition. Elsevier: China. 2019.

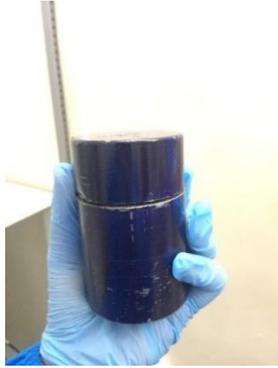
Lampiran A

Alat Pelindung Diri pada Saat Bekerja di Laboratorium



Lampiran B

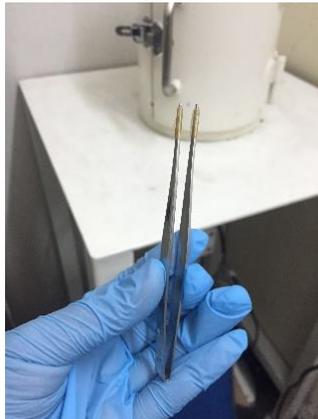
Alat



Shielding Biru



Fume Hood Aktif



Pinset



Eppendorf 5 μ L dan 100 μ L



Detektor dari Spektrometer Gamma



Dose Calibration



Crimper



Tisu



Cover Plastic



*Penutup glass vials
Aluminium*

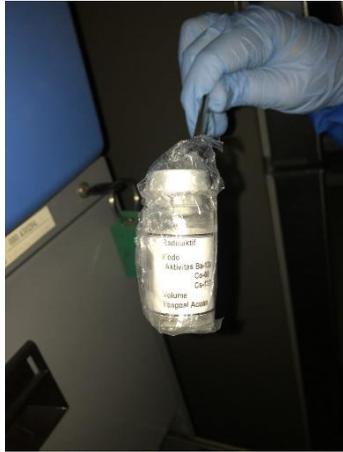


*Glass Vials dan
Penutup glass vials karet*



Syringe

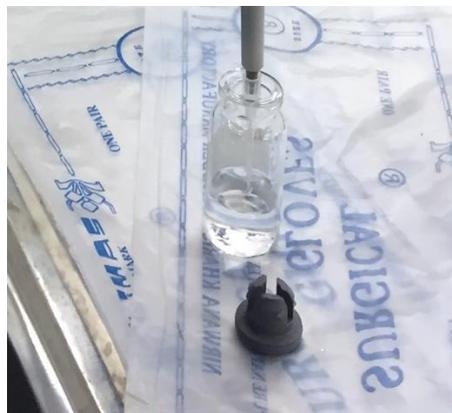
Bahan



Sumber Standar Cair Campuran ^{133}Ba ,
 ^{137}Cs , dan ^{60}Co 10mL



Larutan *Saline*



^{99}Mo (Molibdenium) aktif

LAMPIRAN C

ANALISI DATA

🚩 Aktivitas ⁹⁹Mo Breakthrough pada Jarak 4,5 cm.

14/10/19	ENERGI bq	X1	X2	X3	NET RATA2	net-bq	CPS	INTENSITAS	EFISIENSI	AKTIVITAS (Bq)	konvres ke Ci	konvres ke mikroCi
	739.43	1	30828	30686	30793	30769	102.56	13%	0.0009396	859473.19	2.32E-05	2.32E+01
	777.83	2	11162	10911	11136	11069.6667	36.8922	4.37%	0.0009399	898185.9099	2.43E-05	2.43E+01
15/10/19												
	ENERGI bq	X1	X2	X3	NET RATA2	net-bq	CPS	INTENSITAS	EFISIENSI	AKTIVITAS (Bq)	konvres ke Ci	konvres ke mikroCi
	739.43	1	28362	28582	28341	28428.3333	94.7578	13%	0.0009396	794089.0166	2.14E-05	2.14E+01
	777.83	2	9931	10065	9988	9994.66667	33.3089	4.37%	0.0009399	810945.3124	2.19E-05	2.19E+01
16/10/19												
	ENERGI bq	X1	X2	X3	NET RATA2	ne-bq	CPS	INTENSITAS	EFISIENSI	AKTIVITAS	Konvres ke Ci	konvres ke mikroCi
	739.43	1	28761	28578	28715	28684.6667	95.6122	13%	0.0009396	782759.0594	2.11E-05	2.11E+01
	777.83	2	9897	9990	9844	9910.33333	33.0278	4.37%	0.0009399	804101.3213	2.17E-05	2.17E+01
17/10/19												
	ENERGI bq	X1	X2	X3	NET RATA2	net-bq	CPS	INTENSITAS	EFISIENSI	AKTIVITAS (Bq)	konvres ke Ci	konvres ke mikroCi
	739.43	1	27830	27577	27394	27600.3333	91.9978	13%	0.0009396	770959.6679	2.08E-05	2.08E+01
	777.83	2	9379	9265	9378	9340.66667	31.1289	4.37%	0.0009399	757870.5675	2.05E-05	2.05E+01
18/10/19												
	ENERGI bq	X1	X2	X3	NET RATA2	net-bq	CPS	INTENSITAS	EFISIENSI	AKTIVITAS	konvres ke Ci	konvres ke mikroCi
	739.43	1	23714	23732	23598	23681.3333	78.9344	13%	0.0009396	646221.2681	1.74E-05	1.74E+01
	777.83	2	8238	8223	8326	8262.33333	27.5944	4.37%	0.0009399	670359.4565	1.81E-05	1.81E+01
19/10/19												
	ENERGI bq	X1	X2	X3	NET RATA2	net-bq	CPS	INTENSITAS	EFISIENSI	AKTIVITAS (Bq)	konvres ke Ci	konvres ke mikroCi
	739.43	1	13182	13295	13263	13246.6667	44.1522	13%	0.0009396	370004.4001	9.99E-06	9.99E+00
	777.83	2	4738	4544	4600	4627.33333	15.4178	4.37%	0.0009399	375364.5058	1.01E-05	1.01E+01

🚩 **Aktivitas ⁹⁹Mo Breakthrough pada Jarak 6,5 cm.**

14/10/19	ENERGI Bq	X1	X2	X3	NET RATA2	net-Bq	CPS	INTENSITAS	EFISIENSI	AKTIVITAS [Bq]	konvres ke Ci	Ci ke MikroCi
739.43	0	21363	20940	21059	21120.6667	21120.7	70.4022	13%	0.00075729	715123.4783	1.99E-05	1.99E+01
777.83	0	7238	7217	7168	7207.66667	7207.67	24.0256	4.37%	0.000750878	732187.9405	1.98E-05	1.98E+01
15/10/19												
ENERGI Bq		X1	X2	X3	NET RATA2	net-Bq	CPS	INTENSITAS	EFISIENSI	AKTIVITAS	konvres ke Ci	Ci ke MikroCi
739.43	0	18984	18880	19054	18972.6667	18972.7	63.2422	13%	0.00075729	642394.4657	1.73E-05	1.73E+01
777.83	0	6827	6669	6826	6774	6774	22.58	4.37%	0.000750878	688134.0853	1.86E-05	1.86E+01
16/10/19												
ENERGI Bq		X1	X2	X3	NET RATA2	net-Bq	CPS	INTENSITAS	EFISIENSI	AKTIVITAS	konvres ke Ci	Ci ke MikroCi
739.43	0	18984	18880	19054	18972.6667	18972.7	63.2422	13%	0.00075729	642394.4657	1.73E-05	1.73E+01
777.83	0	6827	6669	6826	6774	6774	22.58	4.37%	0.000750878	688134.0853	1.86E-05	1.86E+01
17/10/19												
ENERGI Bq		X1	X2	X3	NET RATA2	net-Bq	CPS	INTENSITAS	EFISIENSI	AKTIVITAS [Bq]	konvres ke Ci	Ci ke MikroCi
739.43	0	18440	18442	18752	18544.6667	18544.7	61.8156	13%	0.00075729	627902.8375	1.70E-05	1.70E+01
777.83	0	6578	6569	6528	6558.33333	6558.33	21.8611	4.37%	0.000750878	666225.6731	1.80E-05	1.80E+01
18/10/19												
ENERGI Bq		X1	X2	X3	NET RATA2	Net-Bq	CPS	INTENSITAS	EFISIENSI	AKTIVITAS	konvres ke Ci	konvres ke mikroCi
739.43	0	18487	18573	18452	18504	18504	61.68	13%	0.00075729	626525.9071	1.69E-05	1.69E+01
777.83	0	6842	9265	9378	8495	8495	28.3167	4.37%	0.000750878	862961.1831	2.33E-05	2.33E+01
19/10/19												
ENERGI Bq		X1	X2	X3	NET RATA2	net-Bq	CPS	INTENSITAS	EFISIENSI	AKTIVITAS [Bq]	konvres ke Ci	Ci ke MikroCi
739.43	0	8725	8625	8712	8687.33333	8687.33	28.9578	13%	0.00075729	294143.9363	7.94E-06	7.94E+00
777.83	0	3062	3179	3209	3150	3150	10.5	4.37%	0.000750878	319991.4923	8.64E-06	8.64E+00

