

**ANALISIS PROFIL ELUSI DAN KENDALI KUALITAS
 ^{99m}Tc HASIL PRODUKSI DARI GENERATOR
 $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ NON-FISI BERBASIS CERIUM ALUMINA**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana S-1
Program Studi Fisika

Diajukan oleh:

Aidiana Mamluatun Ni'mah

21106020034

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2025

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1086/Un.02/DST/PP.00.9/06/2025

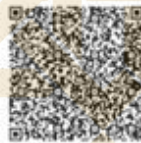
Tugas Akhir dengan judul : ANALISIS PROFIL ELUSI DAN KENDALI KUALITAS ^{99m}Tc HASIL DARI GENERATOR $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ BERBASIS CERIUM-ALUMINA

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : AIDIANA MAMLUATUN N'MAH
Nomor Induk Mahasiswa : 21106020034
Telah diujikan pada : Kamis, 05 Juni 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A+

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

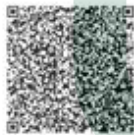
TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Kenna Sidang

Siska Febriana
SIGNED

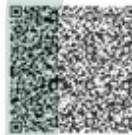
Valid ID: 684336240601a



Penguji I

Anis Yunitati, S.Si., M.Si., Ph.D.
SIGNED

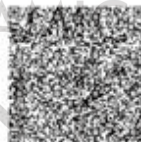
Valid ID: 6640b911d69b1



Penguji II

Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 684ca195ac56c



Yogyakarta, 05 Juni 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardani, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6840872544bc2

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aidiana Mamluatun Ni'mah

NIM : 21106020034

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul “Analisis Profil Elusi dan Kendali Kualitas ^{99m}Tc Hasil Produksi dari Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ Non-Fisi Berbasis Cerium Alumina” adalah hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diujakan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 10 Mei 2025

Penulis



Aidiana Mamluatun Ni'mah

NIM. 21106020034



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan
skripsi Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan
Teknologi UIN Sunan Kalijaga
Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Aidiana Mamluatun Ni'mah
NIM : 21106020034
Judul Skripsi : Analisis Profil Elusi dan Kendali Kualitas ^{99m}Tc Hasil Produksi dari Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ Non-Fisi Berbasis Cerium Alumina

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.
Yogyakarta, 9 Mei 2025

Pembimbing II

Dr. Nita Handayani, S.Si., M.Si
NIP.19820126 200801 2 008

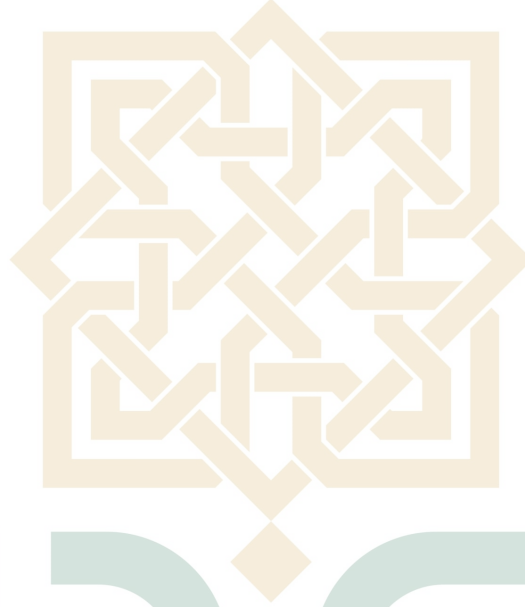
Pembimbing I

Siska Febriana, S.Si., M.Si
NIP.198902142014032005

MOTTO

“Ilmu agama itu bagaikan angka 1, sedangkan ilmu umum bagaikan angka 0. Maka belajar ilmu agama akan tetap bernilai 1 jika tidak dibarengi belajar ilmu umum.”

KH. Muhlas Hasyim



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, akhirnya skripsi ini bisa selesai juga. Karya ini untuk Abah, mama, yayu, mamas dan mba dari anak terakhir. Skripsi ini bukan hanya tentang saya, tapi tentang semua orang hebat yang ada di balik perjuangan ini.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Profil Elusi dan Kendali Kualitas ^{99m}Tc Hasil Produksi dari Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ Non-Fisi Berbasis Cerium Alumina”. Penelitian ini merupakan pengalaman yang sangat berharga, tidak hanya secara akademis tetapi juga secara pribadi. Prosesnya penuh tantangan, namun juga dipenuhi pembelajaran yang mendalam. Untuk itu, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi selama proses penyusunan skripsi ini.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada:

1. Abah dan Mama, terima kasih untuk cinta tanpa syarat, doa yang tiada henti, dan dukungan yang tidak pernah surut.
2. Mas dan Mbak, yang selalu memberi dukungan, candaan, serta menjadi tempat berbagi rasa lelah dan semangat.
3. Siska Febriana, M.Si, selaku dosen pembimbing I, yang turut membimbing dan memberikan banyak insight teknis maupun akademik dalam proses penelitian ini.
4. Dr. Nita Handayani, M.Si, selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan yang sangat berarti sejak tahap awal penyusunan hingga akhir penyelesaian skripsi ini.

5. Para dosen di Program Studi Fisika, yang telah memberikan ilmu, wawasan, dan inspirasi selama masa perkuliahan.
6. Ibu Anis Yuniati, M.Si., Ph.D dan Bapak Frida Agung Rakhmmadi, M.Sc selaku dosen penguji, atas waktu, masukan, dan kritik membangun yang sangat membantu dalam menyempurnakan skripsi ini.
7. Seluruh staf dan peneliti di Pusat Riset Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka dan Biodosimetri BRIN Serpong, yang telah memberikan bimbingan teknis, bantuan selama proses di laboratorium.
8. Sayla, Cinta, Chintya, Nurul dan Mpir yang sudah menemani dan mendengarkan cerita proses saya hingga akhir.
9. Mba Fatma dan Nuri yang telah menjadi tempat berbagi suka maupun duka dan telah membantu dan menemani sampai titik ini.
10. Dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu, namun telah memberikan bantuan, doa, serta semangat selama proses ini berlangsung.
11. *Last but not least, thank you to myself. You deserve all the best.*

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saya sangat terbuka terhadap saran dan masukan demi perbaikan ke depannya. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang fisika nuklir dan teknologi radiofarmaka.

Yogyakarta, 10 Mei 2025

Penulis

Analisis Profil Elusi dan Kendali Kualitas ^{99m}Tc Hasil Produksi dari Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ Non-Fisi Berbasis Cerium Alumina

Aidiana Mamluatun Ni'mah
21106020034

INTISARI

Teknesium- ^{99m}Tc merupakan radioisotop yang paling banyak digunakan dalam diagnostik kedokteran nuklir, yang umumnya dihasilkan dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$. Produksi ^{99}Mo berbasis fisi memiliki keterbatasan, maka metode alternatif berbasis non-fisi melalui aktivasi neutron pada Molibdenum alam (MoO_3) mulai dikembangkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil elusi dan parameter kendali kualitas ^{99m}Tc yang dihasilkan dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ non-fisi berbasis Cerium Alumina. Cerium dipilih sebagai material pengisi kolom karena memiliki stabilitas kimia yang baik. Proses elusi ^{99m}Tc dilakukan menggunakan larutan NaCl , dan kendali kualitas meliputi uji kemurnian radioisotop, pH, serta kandungan Alumina. Hasil penelitian menunjukkan bahwa generator dengan komposisi kolom Cerium Alumina dapat meningkatkan *yield* ^{99m}Tc sebesar 6,62% dibandingkan dengan kolom Alumina biasa. Namun, lolosan ^{99}Mo yang diperoleh masih melebihi batas yang ditetapkan US *Pharmacopeia* $>0,15 \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99m}\text{Tc}$. Dengan penambahan kolom alumina, diperoleh nilai lolosan ^{99}Mo sebesar $0,0015 \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99m}\text{Tc}$, sehingga dapat dicapai kualitas ^{99m}Tc yang sesuai standar klinis. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan potensi penggunaan generator non-fisi berbasis Cerium Alumina dalam produksi radioisotop untuk aplikasi medis.

Kata kunci: Profil Elusi, Kendali Kualitas. Cerium Alumina, $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ generator non-fisi, Radioisotop

Analysis of Elution Profile and Quality Control of ^{99m}Tc Produced from a non-fission $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ Generator Based on Cerium Alumina

Aidiana Mamluatun Ni'mah

21106020034

ABSTRACT

Technetium-99m (^{99m}Tc) is the most widely used radioisotope in nuclear medicine diagnostics and is commonly produced from a $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ generator. Due to the limitations of fission-based ^{99}Mo production, alternative non-fission methods involving neutron activation of natural molybdenum (MoO_3) are being developed. This study aims to analyze the elution profile and quality control parameters of ^{99m}Tc produced from a non-fission $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ generator based on cerium-alumina material. Cerium was selected as the column filler material due to its high chemical stability. The elution of ^{99m}Tc was carried out using a NaCl solution, and quality control included assessments of radionuclidic purity, pH, and alumina content. The results showed that the generator with a cerium-alumina column composition increased the ^{99m}Tc yield by 6,62% compared to a conventional alumina column. However, the ^{99}Mo breakthrough still exceeded the limit set by the United States Pharmacopeia ($>0,15 \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99m}\text{Tc}$). By adding an additional alumina column, the ^{99}Mo breakthrough was reduced to $0,0015 \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99m}\text{Tc}$, thereby meeting clinical quality standards for ^{99m}Tc . Overall, the findings demonstrate the potential of cerium-alumina-based non-fission generators for medical radioisotope production.

Keywords: *Elution profile, quality control, Cerium Alumina, non-fission $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ generator, radioisotope*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR.....	iv
MOTTO.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
INTISARI.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Batasan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Studi Pustaka	9
2.2 Landasan Teori	14
2.2.1 Radioisotop.....	14
2.2.2 Radioaktivitas.....	17
2.2.3 Interaksi Foton dengan Materi.....	22
2.2.4 Molibdenum-99 (^{99}Mo).....	25
2.2.5 Teknesium-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$).....	27
2.2.6 Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	28
2.2.7 Spektrometer Gamma.....	31
2.2.8 Kalibrasi Spektrometer Gamma.....	35
2.2.9 Profil Elusi.....	38

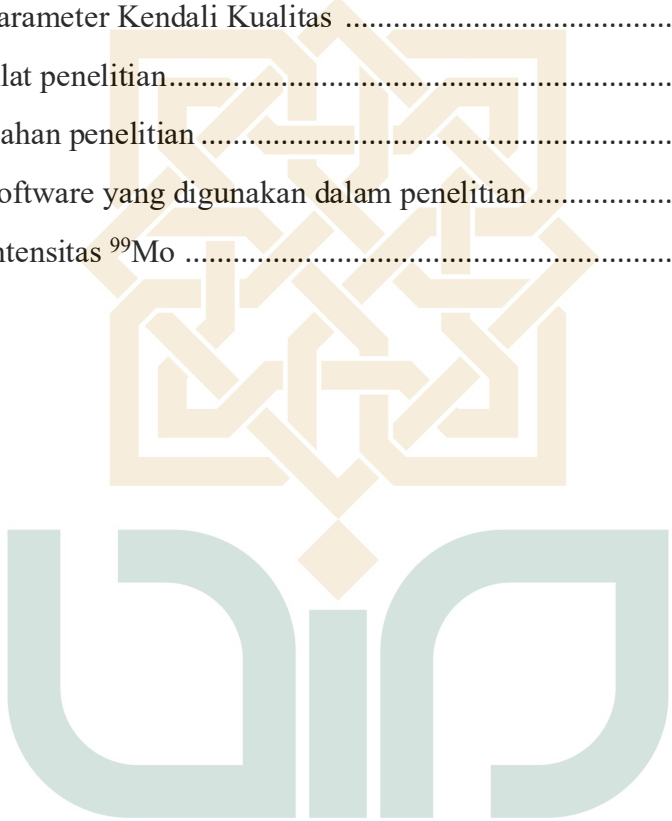
2.2.10 Kendali Kualitas.....	40
2.2.11 Wawasan Keislaman Terkait Teknologi Nuklir.....	42
BAB III METODE PENELITIAN	44
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	44
3.2 Alat dan Bahan	44
3.2.1 Alat Penelitian.....	44
3.2.3 <i>Software</i> Penelitian.....	46
3.3 Prosedur Penelitian.....	46
3.3.1 Studi Literatur	47
3.3.2 Persiapan Penelitian	50
3.3.3 Proses Kalibrasi Spektrometer Gamma	51
3.3.4 Analisis Profil Elusi.....	53
3.3.5 Analisis Kendali Kualitas.....	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1 Hasil Penelitian.....	56
4.1.1 Hasil Kalibrasi Spektrometer Gamma	56
4.1.2 Profil Elusi.....	57
4.1.3 Kendali Kualitas.....	59
4.2 Pembahasan.....	61
4.2.1 Kalibrasi Spektrometer gamma.....	61
4.2.2 Analisis profil elusi generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	62
4.2.3 Analisis kendali kualitas generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	65
BAB V PENUTUP.....	68
5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN.....	75
CURRICULUM VITAE.....	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aktivitas radioaktif sebagai fungsi waktu.....	15
Gambar 2.2 Proses terjadinya efek fotolistrik	23
Gambar 2.3 Hamburan Compton.....	24
Gambar 2.4 Produksi Pasangan	25
Gambar 2.5 Reaksi aktivasi neutron ^{98}Mo menjadi ^{99}Mo dan peluruhannya.....	26
Gambar 2.6 Peluruhan ^{99}Mo	27
Gambar 2.7 Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	29
Gambar 2.8 Spektrum dari hasil spektrometer gamma.	33
Gambar 2.9 Ilustrasi pengolahan pulsa pada MCA.....	35
Gambar 2.10 Grafik profil elusi	40
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	43
Gambar 3.2 Grafik kalibrasi energi.	52
Gambar 3.3 Kurva efisiensi.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tinjauan Pustaka.....	13
Tabel 2.2 Kelimpahan MoO_3	27
Tabel 2.3 Karakteristik dari $^{99\text{m}}\text{Tc}$	28
Tabel 2.4 Sifat kimia dan fisis dari Cerium, Zirkonia dan Alumina.....	31
Tabel 2.5 Parameter Kendali Kualitas	41
Tabel 3.1 Alat penelitian.....	45
Tabel 3.2 Bahan penelitian	45
Tabel 3.3 Software yang digunakan dalam penelitian.....	46
Tabel 3.4 Intensitas ^{99}Mo	54



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Sekunder	75
Lampiran 2 Perhitungan Data	83
Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian	86



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi mendorong inovasi di bidang kesehatan, khususnya dalam mengatasi penyakit yang bersifat degeneratif akibat pola hidup tidak sehat. Penyakit tersebut seperti diabetes mellitus, hipertensi, jantung, kanker, stroke, dan osteoporosis (Suiraoaka, 2012). Dalam penyakit kanker masih banyak penyembuhan yang memiliki resiko yang besar, namun saat ini sudah banyak teknologi yang berkembang untuk mengobati penyakit kanker ini diantaranya adalah teknologi kedokteran nuklir. Alat-alat yang termasuk dalam bidang kedokteran nuklir adalah seperti PET (*Positron Emission Tomography*) dan SPECT (*Single Photon Emission Computed Tomography*). Pada alat kedokteran nuklir tersebut dibutuhkan radioisotop sebagai diagnosis penyakit. Radioisotop tersebut dapat dihasilkan melalui alat seperti generator, akselerator dan reaktor nuklir (IAEA, 2013).

Radioisotop yang sering digunakan dalam mendiagnosis penyakit pada teknologi kedokteran nuklir adalah Teknisium-99 (^{99m}Tc) yaitu sekitar 80% penggunaan radioisotop (Mawar dkk, 2020). Teknisium-99 memiliki waktu paruh sekitar 6 jam dan energi gamma yang dihasilkan sebesar 140,5 KeV. Karakteristik ini menjadikannya ideal untuk penggunaan medis, karena waktu paruh yang pendek mengurangi risiko paparan radiasi dalam tubuh. Sebaliknya, radiosotop dengan waktu paruh lebih lama dapat meningkatkan dosis radiasi yang diterima tubuh, berpotensi menyebabkan kerusakan pada organ (Sutapa dan Ratini, 2015).

Karakterisasi lain dari penggunaan ^{99m}Tc adalah energi gamma yang relatif rendah sehingga sangat ideal dalam proses pencitraan dengan kamera gamma (Astuti, 2014). Radioisotop ^{99m}Tc diperoleh dari peluruhan radioisotop induknya, yaitu Molibdenum-99 (^{99}Mo) (Sholikhah dkk, 2016).

Molibdenum-99 dapat diperoleh dari fisi Uranium-235 (^{235}U) dari pengayaan tinggi (*High Enriched Uranium*, HEU) maupun dengan pengayaan rendah (*Low Enriched Uranium*, LEU) (Hasan dan Prelas, 2020). Akan tetapi pasokan ^{235}U semakin menipis, sehingga perlu adanya alternatif lain dalam memproduksi ^{99}Mo yaitu dengan produksi non-fisi. Produksi radioisotop dilakukan dengan cara mengaktivasi neutron dari Molibdenum alam (MoO_3) (Saptiama dkk, 2016). Molibdenum-99 yang sudah diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ sehingga ^{99m}Tc dapat dihasilkan. Konsep dari generator radioisotop didasari pada pemisahan radioisotop induk yang memiliki waktu paruh lebih panjang dibandingkan radioisotop anaknya (Sholikhah dkk, 2016).

Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ memiliki berbagai keunggulan signifikan dibandingkan reaktor dan akselerator dalam produksi radioisotop. Keunggulan dari generator adalah kemudahan operasional dan fleksibilitas penggunaan. Reaktor membutuhkan fasilitas besar dengan bahan bakar nuklir atau akselerator yang memerlukan energi tinggi untuk menghasilkan partikel. Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ dirancang dalam ukuran ringkas (*compact*) sehingga mudah dibawa untuk digunakan daerah terpencil. Hal ini meningkatkan aksesibilitas layanan diagnostik berbasis radioisotop ke wilayah yang sulit dijangkau. Selain itu generator juga memiliki biaya operasional yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan reaktor

dan akselerator (Marlina dkk,2017). Keunggulan lainnya adalah generator tidak menghasilkan limbah radioaktif yang memerlukan penanganan jangka panjang sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan (Saptiama dkk, 2016). Dengan demikian, generator memberikan solusi ekonomis untuk memenuhi kebutuhan radioisotop dalam aplikasi medis.

Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ memungkinkan produksi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ secara efisien melalui proses elusi menggunakan larutan Natrium Klorida (NaCl), tanpa memerlukan infrastruktur kompleks atau teknologi yang rumit. Selama aktivitas ^{99}Mo masih mencukupi, elusi dapat dilakukan secara berulang untuk memastikan ketersediaan radioisotop tanpa bergantung pada distribusi eksternal. Dalam pengoperasiannya, generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ harus memenuhi parameter kendali kualitas yang ketat untuk memastikan kemurnian dan keamanan produk yang dihasilkan. Salah satu aspek utama dalam evaluasi kualitas adalah profil elusi. Profil elusi adalah grafik atau kurva yang menggambarkan mekanisme pemisahan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ (Maiyesni dkk, 2016). Selain itu, kemurnian radioisotop menjadi faktor esensial yang harus dikendalikan agar $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang digunakan dalam prosedur medis tidak mengandung kontaminan radioaktif yang berpotensi meningkatkan paparan radiasi bagi pasien (Zolle, 2007). Evaluasi kemurnian ini dilakukan melalui pengukuran spektrum radiasi menggunakan spektrometer gamma.

Spektrometer gamma digunakan untuk mengevaluasi parameter kuantitatif dan kualitatif dengan mendeteksi serta mengukur radiasi gamma yang dipancarkan (Kurniawan dkk, 2020). Agar hasil analisis memiliki tingkat akurasi tinggi, kalibrasi spektrometer menjadi langkah esensial dalam proses evaluasi. Kalibrasi

ini mencakup penyesuaian hubungan antara energi gamma dengan nomor kanal (*channel*) pada perangkat lunak spektrometer serta penentuan efisiensi deteksi radiasi pada berbagai energi. Efisiensi ini menentukan kemampuan spektrometer dalam mengukur aktivitas radioaktif secara akurat, yang berpengaruh langsung terhadap validitas data analisis (Sari dan Budi, 2017). Dengan dilakukannya kalibrasi yang ketat, spektrometer gamma dapat digunakan untuk memastikan kualitas dan kemurnian ^{99m}Tc . Selain pada tingkat kemurnian ^{99m}Tc , optimalisasi generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ juga bergantung pada pemilihan bahan adsorpsi pada kolom generator.

Adsorben berfungsi dalam mempertahankan stabilitas ^{99}Mo , meningkatkan efisiensi elusi ^{99m}Tc , dan mengurangi kontaminasi radioisotop lain dalam ^{99m}Tc . Bahan material yang sudah digunakan dalam penelitian generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ non-fisi ini adalah pada penelitian yang dilakukan oleh Febriana dan Mirda (2023) menggunakan kolom berbasis Alumina, penelitian Marlina dkk (2020) menggunakan kolom berbasis Gamma-Alumina Mesopori(MGA) dengan tingkat adsorpsi 200 mg/g atau 1 g dari MGA mampu menampung 200 mg ^{99}Mo , dan penelitian Marlina dkk (2020) dengan kolom nanozirkonia monoklinik dan ortorombik, serta Zirkonia tersulfatasi dan terfosfatasi, disintesis dengan tingkat adsorpsi yang paling tinggi adalah Zirkonia ortorombik 150,1 mg/g. Penelitian yang dilakukan oleh Ma dkk (2022) mengungkapkan bahwa penggunaan bahan adsorben Cerium pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ menunjukkan keunggulan dibandingkan dengan Alumina, MGA dan Zirkonium. Keunggulan Cerium menjadi bahan adsorpsi adalah memiliki daya serap yang lebih tinggi dari kolom yang lainnya seperti

Alumina, Zirkonium-Alumina dan MGA yaitu 475 mg/g (Ma dkk, 2022). Selain daya serap yang lebih tinggi Cerium memiliki keunggulan lainnya yaitu menjaga keadaan ^{99m}Tc dalam keadaan oksidasi tinggi, meningkatkan hasil elusi dan meningkatkan kemurnian dari ^{99m}Tc (Salehi dkk, 2008).

Seiring berkembangnya teknologi maka diperlukan penelitian terbaru agar ^{99m}Tc yang diperoleh dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ lebih baik. Inovasi dalam penelitian mencerminkan bahwa manusia bertanggung jawab atas pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi yang tepat sesuai dengan ajaran agama, seperti dalam surat Al-Baqarah ayat 164 sebagai berikut:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِي تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ مَّاءٍ فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ الرِّيْحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ (164)

Artinya: “Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi, pergantian malam dan siang bahtera yang berlayar di laut dengan (muatan) yang bermanfaat bagi manusia, apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengannya Dia menghidupkan bumi setelah mati (kering), dan Dia menebarkan di dalamnya semua jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi, (semua itu) sungguh merupakan tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengerti.” (Tim Penyempurnaan Terjemahan Al-Qur'an, 2019)

Dari ayat diatas dapat disimpulkan bahwa Allah dalam penciptaan alam semesta, memberikan refleksi mendalam bagi manusia untuk memahami, mempelajari, dan memanfaatkan ilmu pengetahuan demi kebaikan dan kesejahteraan. Oleh karena itu, pengintegrasian nilai-nilai Qur'ani dalam kajian ilmiah ini menjadi penting sebagai pengingat bahwa segala bentuk kemajuan teknologi harus dikelola dengan penuh tanggung jawab dan keadilan.

Bentuk dari refleksi diri tersebut, maka penelitian ini harus memiliki inovasi untuk mendukung pengembangan teknologi yang lebih efisien, tanpa mengurangi kualitas radioisotop yang dihasilkan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ma dkk (2022), Cerium menunjukkan potensi bahan adsorben dalam meningkatkan efisiensi dalam menghasilkan ^{99m}Tc . Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dilakukan untuk mengevaluasi penggunaan bahan ini yang dicampur dengan Alumina, khususnya pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ berbasis non-fisi.

Dengan demikian, penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menghasilkan produk ^{99m}Tc yang lebih efisien, memiliki kualitas yang lebih baik, dan memiliki keamanan yang cukup untuk diaplikasikan ke dalam tubuh pasien. Penelitian ini akan dilakukan pada Pusat Riset Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka dan Biodosimetri (PRTRRB), Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Kawasan Sains Teknologi B. J. Habibie Serpong.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, dapat diperoleh rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kalibrasi spektrometer gamma yang digunakan sebagai dasar kendali kualitas kemurnian radionuklida ^{99m}Tc ?
2. Bagaimana profil elusi ^{99m}Tc hasil produksi dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ non-fisi berbasis Cerium Alumina?
3. Bagaimana kendali kualitas ^{99m}Tc hasil produksi dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ non-fisi berbasis Cerium Alumina?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengkalibrasi spektrometer gamma yang digunakan sebagai dasar kendali kualitas kemurnian radionuklida ^{99m}Tc
2. Menganalisis profil elusi ^{99m}Tc hasil produksi dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ non-fisi berbasis Cerium Alumina.
3. Menganalisis kendali kualitas ^{99m}Tc hasil produksi dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ non-fisi berbasis Cerium Alumina menggunakan.

1.4 Batasan Penelitian

Terdapat batasan penelitian dalam penelitian ini adalah:

1. Cerium yang digunakan adalah Cerium Oksida (CeO_2).
2. Kolom pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ non-fisi yang digunakan satu kolom Cerium Alumina dan satu kolom Cerium Alumina ditandem satu kolom Alumina.
3. Kendali kualitas yang dilakukan pada penelitian ini adalah besarnya lolosan ^{99}Mo pada larutan ^{99m}Tc , pH, ICPOES, serta lolosan Alumina.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitiannya adalah sebagai berikut:

1. Mendukung berkembangnya pengetahuan tentang generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ non-fisi.
2. Hasil penelitian ini dapat menjadi tambahan ilmu dalam pengembangan penelitian selanjutnya pada bidang generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ non-fisi.

3. Hasil penelitian ini menjadi alternatif potensial untuk mengatasi keterbatasan ketersediaan radioisotop dalam aplikasi medis.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kalibrasi energi menunjukkan hubungan linier yang sangat kuat antara nomor saluran dan energi gamma, dengan koefisien determinasi $R^2 = 1$, sehingga memungkinkan identifikasi puncak energi ^{99m}Tc (sekitar 140 keV) secara tepat. Kalibrasi efisiensi menghasilkan model polinomial orde empat dengan $R^2 = 0,999$, menggambarkan efisiensi deteksi yang tinggi pada energi rendah hingga menengah, termasuk pada 140 keV. Kedua hasil kalibrasi ini menjadi landasan akurat dalam perhitungan aktivitas dan pengendalian kualitas kemurnian radionuklida ^{99m}Tc secara andal dan konsisten.
2. Aktivitas ^{99m}Tc tertinggi tercatat pada fraksi ketiga hingga keempat, kemudian mengalami penurunan pada fraksi-fraksi berikutnya seiring berkurangnya jumlah ^{99m}Tc yang tersisa dalam kolom. Efisiensi yield terbesar dicapai oleh generator dengan kolom Cerium-Alumina (CA1) sebesar 106,27%, diikuti oleh generator dengan kolom Alumina sebesar 99,64%, menunjukkan selisih sebesar 6,63%. Hasil ini menunjukkan bahwa komposisi material kolom berpengaruh signifikan terhadap besarnya aktivitas ^{99m}Tc yang berhasil dielusi serta efisiensi keseluruhan proses elusi.

3. Parameter kendali kualitas yang dianalisis adalah pH eluat, lolosan ^{99}Mo , lolosan Alumina, dan kandungan Cerium berdasarkan hasil uji ICPOES. Generator CA2 memenuhi seluruh parameter, yaitu pH eluat sebesar 5,5 sesuai standar, lolosan $^{99}\text{Mo} < 0,15 \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$, lolosan Alumina $< 5 \mu\text{g}/\text{mL}$. Generator CA1 dan A memiliki pH eluat, lolosan alumina, uji ICPOES yang memenuhi standar, namun tidak memenuhi parameter lolosan ^{99}Mo karena nilainya melebihi batas yang ditentukan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa generator dua kolom lebih unggul dalam memenuhi parameter kendali kualitas dibandingkan dengan generator satu kolom.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Material Cerium Alumina yang digunakan sebagai kolom adsorben perlu disintesis dan dimodifikasi lebih lanjut, misalnya melalui rekayasa struktur pori atau aktivasi permukaan, untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi ^{99}Mo dan efisiensi elusi $^{99\text{m}}\text{Tc}$.
2. Uji kendali kualitas pada generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ perlu dilakukan secara menyeluruh terhadap seluruh parameter standar internasional, termasuk uji sterilitas dan kemurnian radiokimia, untuk memastikan kelayakan produk dalam aplikasi medis.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, A.A., Wronska, A., Magiera, A., Misiak, R., Bartyzel, M., Mietelski, J.W., dan Was, B. 2022. *Study Of ^{99}Mo And Long-lived Impurities Produce Through (p,x) Reaction In The natMo* , *Radiation Physics and Chemistry*, **190(2022)**, p. 109774. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109774>
- Cable, M. 2005. *Calibration A Technician's Guide*. United States Amerika.
- Cember, H., & E. Johnson, T. 2009. *Introduction to Health Physics. In Medical Physics (4th ed.)*. <https://doi.org/10.1118/1.3021454>
- ChemicalAid. 2023. *Tabel Periodik*. Available at: <https://periodictable.chemicalaid.com/?lang=id> (Accessed: 6 February 2025).
- Conference Series*, **2596(1)**, p. 012032. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2596/1/012032>.
- Dantas, B.M., Dantas, A.L.A., Marques, F.L.N., Bertelli, L. & Stabin, M.G. 2005. *Determination of ^{99}Mo contamination in a nuclear medicine patient submitted to a diagnostic procedure with $^{99\text{m}}\text{Tc}$* . *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **48(spe2)**, pp. 215–220. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132005000700032>.
- Fadila, N., Febriana, S. dan Pratiwi, B.N. 2024. Penentuan Kemurnian Radioisotop Dari Produk Generator Mo-99/Tc-99m Non-fisi Menggunakan Spektrometer Gamma, *Urania: Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, **30(1)**, 45-56
- Febriana, S., dan Mirda, I. 2023. *Gamma spectrometer calibration of liquid standard sources of Mix ^{133}Ba , ^{137}Cs and ^{60}Co toward the measurement of ^{99}Mo breakthrough of $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator*, *Journal of Physics: Conference Series*, **2596(1)**, p. 012032. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2596/1/012032>.
- Febriana, S., Sarmini, E. & Nurmanjaya, A. 2020. *Relative Method Of ^{99}Mo Activity Measurement from Medical $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generator*. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Pendayagunaan Teknologi Nuklir 2020*, 213-218.
- Hammermaier, A., Reich, E., dan Bogl, W. 1985. *Chemical, Radiochemical, and Radionuclide Purity from Different Commercial Fission $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generators*. *European Journal of Nuclear Medicine*, **12**, 41-46
- IAEA. 2013. *Non-HEU Production Technologies for Molybdenum-99 and Technetium-99m*. International Atomic Energy Agency

- IAEA. 2016. *Design Principles of the $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc}$ Radionuclide*. Diakses 12 September 2024 dari https://humanhealth.iaea.org/HHW/Radiopharmacy/VirRad/Eluting_the_Generator/Generator_Module/Design_principles/index.html
- IAEA. 2010. *Radioisotope production in research reactors, IAEA.org*. Available at: <https://www.iaea.org/topics/radioisotope-production-in-research-reactors> (Accessed: 8 November 2024).
- IAEA. 2010. *Radionuclide Production, IAEA Human Health Campus*. Available at: https://humanhealth.iaea.org/HHW/Radiopharmacy/VirRad/Eluting_the_Generator/Generator_Module/99Mo_99mTc_radionuclide_principles/Radionuclide_production/index.html (Accessed: 19 January 2025).
- IAEA. 2015. *Feasibility of Producing Molybdenum-99 on a Small Scale Using Fission of Low Enriched Uranium or Neutron Activation of Natural Molybdenum*. Vienna: IAEA
- IAEA. 2015. *Nuclear Medicine Physics: A Handbook for Teachers and Students*. Vienna: IAEA
- Knoll, G.F. 2010. *Radiation Detection and Measurement*. (4th ed). United States of America.
- Krane, K.S. 2012. *Modern Physics*. 3rd ed. United States America.
- Kurniawan, N., Setiawanto, A. dan Ramadania, P. 2020. Perhitungan Nilai Efisiensi Pencacahan Hampiran Untuk Detektor HPGe Pada Spektrometer Gamma Menggunakan Metode Kuadrat Terkecil. *REAKTOR - Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir*, **17(1)**, p. 1. Available at: <https://doi.org/10.17146/bprn.2020.17.1.5745>.
- Luhur N., dan Subiharto. 2016. Evaluasi Untuk Kerja Memori Sistem Spektrometer Gamma. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir*, 112-117.
- Luhur, N., Kadarusmanto, dan Subiharto. 2013. Uji Banding Sistem Spektrometer Gamma dengan Metoda Analisis Sumber Eu-152. *Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir*, **10(1) April 2013**, 22 - 30
- Lyra, M.E., Andreou, M., Georgantzoglou, A., Kordolaimi, S., Lagopati, N., Ploussi, A., Salvara, a.l., dan Vamvakas, I. 2013. *Radionuclides Used in Nuclear Medicine Therapy – From Production to Dosimetry, Current Medical Imaging Reviews*, **9(1)**, pp. 51–75. Available at: <https://doi.org/10.2174/1573405611309010008>.
- Ma, C., Wolterbeek, H.T., Denkova, A.G., Crespo, P.S. 2022. *A Cerium-based metal-organic framework as adsorbent for the $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator, Separation and Purification Technology*, **295(2022)**, p. 121218. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121218>.

- Ma, C., Vasileiadis, A., Wolterbeek, H.T., Denkova, A.G., Crespo, P.S. 2022. *Adsorption of molybdenum on Zr-based MOFs for potential application in the $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator. Applied Surface Science*, **572**(2022), p. 151340. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.151340>.
- Maiyesni, Mujinah, Kurniasih, D., Witarti, Triyanto, Herlan. 2016. Penentuan Profil Elusi Iodium-125 Sebagai Perunut Untuk Tujuan Radioimmuniassay RIA, *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, **17**(2), p. 59. Available at: <https://doi.org/10.17146/jstni.2016.17.2.2404>.
- Maqbool, M. 2017. *An Introduction to Medical Physics*. Cham: Springer International Publishing (Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering). Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61540-0>.
- Marlina, Lestari, E., Abidin, Hambali, I., Saptiama, Febriana, S., Kadarisman, Awaludin, R., Tanase, M., Nishikata, K., dan Tsuchiys, K. 2020. *Molybdenum-99 (^{99}Mo) Adsorption Profile of Zirconia-Based Materials for $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generator Application. Atom Indonesia*, **46**(2), p. 91. Available at: <https://doi.org/10.17146/aij.2020.914>.
- Marlina, Sarmini, E., Lestari, E., Pratama, C., Nurmanjaya, A., Sriyono, Abidin, Triyatna, f., Kadarisman, Aries, A., Febriana, S., Setiawan, H., Saptiama, I., Mujamilah, Patriati, A., Awaludin, R., dan Yulizar, Y. 2022. *Surface modification of acid-functionalized mesoporous gamma-Alumina for non-fission $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator*, *Applied Radiation and Isotopes*, **187**(2022), p. 110342. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110342>.
- Marlina, Sriyono, Sarmini, E., Herlina, Abidin, Lubis, H., Saptiama, I., Setiawan, H., & Kadarisman. 2014. Kinerja Kolom Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan Material Berbasis Zirkonium Menggunakan ^{99}Mo dengan Aktivitas 250 mCi. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Radioisotop, Radiofarmaka, Siklotron Dan Kedokteran Nuklir*, 21–27.
- Mawar, M., Astuti, S.D., & Febriana, S. 2020. Deteksi Karakteristik Peluruhan Radioisotop Medis ^{99}Mo Untuk Memperoleh $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Menggunakan Spektrometer Gamma dengan Sumber Standar Cair Campuran ^{133}Ba dan ^{152}Eu . *Jurnal Fisika Indonesia*, **24**(2), p. 96. Available at: <https://doi.org/10.22146/jfi.v24i2.54405>.
- Mirda, I. 2019. 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 . (Tugas Akhir), Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar
- Molinski, V.J. 1982. *A review of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator technology. The International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, **33**(10), pp. 811–819. Available at: [https://doi.org/10.1016/0020-708X\(82\)90122-3](https://doi.org/10.1016/0020-708X(82)90122-3).

- Munir, M., Lestari, E. dan Sarmini, E. 2017. Pengaruh Radioaktivitas ^{99}Mo Terhadap Profil Rendemen $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Pada Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Dengan Kolom Material Berbasis Zirkonium (MBZ), 20(1).
- Murniasih, S., Sukirno, W.W.S. 2017. Korelasi Efisiensi Deteksi Total Pada Detektor HPGe dengan Variasi Jarak Sampel Menggunakan Software Etna dan Perhitungan Analitik. *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir*, 331-337.
- Nurlina. 2017. *Fisika Kuantum*. Lembaga Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar. Makassar.
- Othman, N., Talib, Y., Ali, M.R., Mokhtar, m.h.h., Mahmud, O., Zulkifli, M.S., dan Abdullah, N.A.R. 2015. *Quality Control Of Product Technitiuim-99m*. Available at: <https://inis.iaea.org/records/szwr6-f7m87> (Accessed: 19 January 2025).
- Parvez, S., Hasan ,M.R., Islam, M.R., Hossain, M.B., Khan , H.R., dan Paul, A.K. 2017. *Determination Of Elution Profile Of A Radionuclide Generator System $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$* . *Bangladeh Research Publicaton Jurnal*, **12(2) July-December 2016**, p.155-158. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/321936942>
- Pillai, M.R.A., Dash, A.& Knapp, F.F. 2013. *Sustained Availability of $^{99\text{m}}\text{Tc}$: Possible Paths Forward*. *Journal of Nuclear Medicine*, **54(2)**, pp. 313–323. Available at: <https://doi.org/10.2967/jnumed.112.110338>.
- Purwanto, A.T., dan Nuraeni. 2013. Optimisasi parameter spektroskopi gamma dengan detektor HPGe. *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*, 307-313.
- Putri, R.M. 2022. Konversi Nanoselulosa Dari Limbah Kulit Pisang Kepok Menjadi Gula Alkohol MMenggunakan Nanokatalis $\text{LaCrO}_3/\text{TiO}_2$ Dengan Diiridasi Menggunakan Sinar UV. (Tugas Akhir), Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Lampung. Lampung
- Riyadi, K., Salleang, A. & Taqhira, N. 2023. *Photoelectric Effect on Metal Work Function Using Test Simulation*. *Indonesian Journal of Advanced Research*, **2(3) 2023**, 209 - 220
- Rosidi, Muljono, Sihono, & Suhardi. 2012. Uji Fungsi HPGe GEM-35-P4 Ortec Spektrometer Gamma Lab. AAN TANK-BKTPB. *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*, 156-160,
- Sari, H. L., Wahyu, D., & Budi, S. 2017. Penentuan Karakteristik Cacahan Pada Counter dengan Menggunakan Sumber Standar ^{152}Eu , ^{60}Co dan ^{137}Cs . *Youngster Physics Journal*, **6(2)**, 151–156.

- Senduk, P., Danes, V.R. & Rumampuk, J.F. 2015. Penggunaan Radioisotop pada Deteksi Kanker Dini. *Jurnal e-Biomedik*, **3(2)**. Available at: <https://doi.org/10.35790/ebm.3.2.2015.8549>.
- Shihab, M.Q. 2002. *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an, Jilid 1*. Jakarta: Lentera Hati.
- Sulaiman, Sugiharto, Y., Setiawan, G., Chairuman, & G.H.A. 2019. Pengaruh Waktu Kontak Loading $^{99}\text{Mo}(\text{n},\gamma)$ dengan Kolom Alumina (Al_2O_3) pada Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, **4(3) Tahun 2019**, 189-196.
- Wahyudi. Iskandar, D. dan Marjanto, D. 2007. Pengaruh Matriks Terhadap Pencacahan Sampel Menggunakan Spektrometer Gamma. *JFN*, **Vol.1 No.2 November 2007**, 65-78.
- Zolle, I. 2007. Performance and Quality Control of the $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generator. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 77–93. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-540-33990-8_5.