

**IDENTIFIKASI KETERDAPATAN RADIOAKTIF ALAM URANIUM
DAN THORIUM MELALUI RADIONUKLIDA ALAM ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra ,
 ^{40}K DALAM TANAH KABUPATEN MAMUJU MENGGUNAKAN
SPEKTROMETER GAMMA**

MUH. FADHIL HALIM

H311 16 513



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

SKRIPSI

**IDENTIFIKASI KETERDAPATAN RADIOAKTIF ALAM URANIUM
DAN THORIUM MELALUI RADIONUKLIDA ALAM ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra ,
 ^{40}K DALAM TANAH KABUPATEN MAMUJU MENGGUNAKAN
SPEKTROMETER GAMMA**

Disusun dan diajukan oleh:

MUH. FADHIL HALIM

H311 16 513



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**IDENTIFIKASI KETERDAPATAN RADIOAKTIF ALAM URANIUM
DAN THORIUM MELALUI RADIONUKLIDA ALAM ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra ,
 ^{40}K DALAM TANAH KABUPATEN MAMUJU MENGGUNAKAN
SPEKTROMETER GAMMA**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana sains*

Oleh:

MUH. FADHIL HALIM

H311 16 513



**MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**IDENTIFIKASI KETERDAPATAN RADIOAKTIF ALAM URANIUM
DAN THORIUM MELALUI RADIONUKLIDA ALAM ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra ,
 ^{40}K DALAM TANAH KABUPATEN MAMUJU MENGGUNAKAN
SPEKTROMETER GAMMA**

Disusun dan diajukan oleh:

MUH FADHIL HALIM


H31116513


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kimia Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
pada tanggal 31 Mei 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pertama,


Prof. Dr. Alfian Noor, M.Sc
NIP. 19510515 197412 1 001


Erlina Noerpitasari, M.Si
NIP. 19840130 201012 2 002

Ketua Departemen Kimia,


Dr. Abdul Karim, M.Si
NIP. 19620710 198803 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Fadhil Halim
NIM : H311 16 513
Program Studi : Kimia
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

IDENTIFIKASI KETERDAPATAN RADIOAKTIF ALAM URANIUM DAN
THORIUM MELALUI RADIONUKLIDA ALAM ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K
DALAM TANAH KABUPATEN MAMUJU MENGGUNAKAN
SPEKTROMETER GAMMA

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 31 Mei 2021

Yang menyatakan,


Muh. Fadhil Halim

PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan jalan terang bagi ummatnya.

Skripsi yang berjudul “**Identifikasi Keterdapatan Radioaktif Alam Uranium Dan Thorium Melalui Radionuklida Alam ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K Dalam Tanah Kabupaten Mamuju Menggunakan Spektrometer Gamma**” disusun sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Departemen Kimia Universitas Hasanuddin. Penulis berterima kasih sedalam-dalamnya kepada Orang Tua saya, Bapak (**Abdul Halim Muri**) dan Ibu (**Erniwati Idrus**), yang selalu memanjatkan doa, juga memberikan dukungan dan pengorbanan kepada penulis demi menggapai impian dan cita-citanya. Terima kasih juga kepada saudara penulis **Ria Halim, Irmayani Halim, Novita Halim, Sitti Marli Halim, Faradhilla Halim, Muhammad Fachri Halim, Muhammad Fachmi Halim, Sitti Fatika Nabila Halim, Muhammad Fathan Halim** serta kepada semua keluarga yang namanya tak sempat disebut satu per satu. Terima kasih sudah terlibat, memberikan dukungan dan kasih sayang sehingga penulis bisa menyelesaikan studinya.

Penulis banyak menemui kendala dalam pelaksanaan maupun dalam penulisan. Skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bantuan serta kemurahan hati dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis berterima kasih kepada Bapak **Prof. Dr. Alfian Noor, M.Sc** sebagai pembimbing utama dan Ibu **Erlina Noerpitasari, M.Si** sebagai pembimbing pertama yang telah membimbing

mulai dari awal hingga selesainya penyusunan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati, penulis juga ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setulus-tulusnya kepada:

1. Ibu **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M. A.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin, Makassar.
2. Bapak **Dr. Andi Ilham Latunra**, selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan, Alumni dan Kemitraan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Dr. Abdul Karim, M.Si** dan ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si**, selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Kepala Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional dan Koordinator Uji Metalurgi yang telah memberikan izin kepada penulis untuk dapat melakukan penelitian di PTBBN BATAN.
5. Bapak **Dr. Abdul Karim, M.Si** dan bapak **Dr. Maming, M.Si** selaku tim penguji yang telah memberi banyak masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak **Anregurutta Waliyullah Haji Ismail Wadjeng** yang senantiasa menjadi mursyid bagi penulis dalam membimbing perjalanan ruhani.
7. **Kakak Appi Moes** yang senantiasa membimbing dan menemani perjalanan ruhani penulis selama studi pendidikan berlangsung.
8. Seluruh dosen Departemen Kimia dan MKU Universitas Hasanuddin, yang telah banyak memberikan ilmu, pengalaman, serta masukan selama masa studi.

9. Seluruh staf pegawai Fakultas MIPA Unhas maupun Departemen Kimia FMIPA Unhas, yang memberikan bantuan dan kerjasamanya.
10. Seluruh Kepala Laboratorium di Departemen Kimia FMIPA Unhas, serta Kepala Laboratorium Kimia Dasar, Fisika dasar, Biologi Dasar.
11. Seluruh analis di Departemen Kimia FMIPA Unhas, terkhusus Analis Laboratorium Kimia Radiasi Departemen Kimia FMIPA Unhas, **kakak Andi Tenri Sa'na dan kakak Nurfaiza** yang memberikan fasilitas dan kemudahan.
12. Kakak-kakak dan adik-adik **KM FMIPA Unhas**, salam *Use Your Mind be The Best*.
13. Kakak-kakak dan adik-adik **Himpunan Mahasiswa Kimia FMIPA Unhas**, *HMK Tempat Kita Dibina, HMK Tempat Kita Ditempa*.
14. Teman-teman **Himpunan mahasiswa Islam (HmI) Komisariat MIPA Unhas**.
15. Teman-teman **Himpunan mahasiswa Islam (HmI) Cabang Makassar Timur**.
16. Teman-teman **Badan Pengelola Latihan (BPL) Himpunan mahasiswa Islam (HmI) Periode 2021/2022**.
17. Teman-teman **MIPA 2016**, salam *Seperti Seharusnya*.
18. Teman-teman **KROMOFOR 2016**, salam *Totalitas Hingga Akhir*.
19. Teman-teman pejantan Kromofor **Fadhil Faiz (Ketua Angkatan Kromofor 2016)**, **Asrianto Acci (Ketua Umum Himpunan mahasiswa Islam Komisariat MIPA Unhas Periode 2019-2020)**, **Imam Malik Alqadri (Ketua Himpunan Mahasiswa Kimia Unhas Periode**

2018/2019), Wandy (Ketua Umum BEM FMIPA Unhas Periode 2019/2020), Syahril Yusuf (Koordinator Dewan Perwakilan Mahasiswa Kimia Unhas Periode 2020/2021), Rully (Jendral OZONE KIMIA Unhas Periode 2020-2021), Miftahuddin, Abdul Rahman, Reky Asrudin, Ismul Maulana, Dionisius Sandi, Khoim Ramadhan, Awal S, Fajar Said.

20. **Agung Hasan** Himpunan Mahasiswa Geofisika FMIPA Unhas 2016 yang telah terlibat dalam pembuatan peta lokasi penelitian ini.
21. Adinda **Risna** Perhimpunan Mahasiswa Sastra Inggris KM FIB-UH yang telah membantu menerjemahkan abstrak dalam penulisan skripsi ini.
22. **kakak meirisa ambalinggi** Himpunan Mahasiswa Fisika 2013 yang senantiasa mengajar, mengarahkan dan membantu dalam hasil pengolahan data penelitian.
23. Teman-teman **KKN Unhas Gelombang 103** Posko Desa Banggae Takalar.
24. Semua pihak yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak sempat disebutkan satu per satu.

Atas segala kebaikan yang telah diberikan oleh berbagai pihak, penulis mengucapkan banyak terima kasih. Semoga Tuhan membalasnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak luput dari kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diperlukan untuk kedepannya. Akhirnya, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Makassar, Mei 2021
Penulis

ABSTRAK

Penelitian mengenai identifikasi keterdapatn radioaktif alam uranium dan thorium melalui radionuklida alam ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K dalam tanah kabupaten mamuju menggunakan spektrometer gamma, telah dilakukan. Sampel berasal dari Dusun Tande-Tande, Desa Botteng, Desa Rangas wilayah Kecamatan Simboro, Desa Takandeang dan Desa Taan wilayah Kecamatan Tappalang, Desa Pangasaan dan Desa Ahu wilayah Kecamatan Tappalang Barat. Sampel dianalisis menggunakan Spektrometer Gamma. Sebelum dianalisis sampel digerus terdahulu dengan ayakan ukuran 100 mesh dan hasil yang diperoleh yaitu aktivitas spesifik tertinggi radionuklida alam ^{238}U , ^{232}Th , dan ^{226}Ra terdapat pada Dusun Tande-Tande ($32,19 \pm 7,9$) Bq/Kg sampai dengan ($37,28 \pm 6,55$) Bq/Kg, ($2102,76 \pm 0,18$) Bq/Kg sampai dengan ($2492,36 \pm 0,16$) Bq/Kg, dan ($7132,74 \pm 0,4$) Bq/Kg sampai dengan ($7164,86 \pm 0,39$) Bq/Kg. Aktivitas spesifik tertinggi radionuklida alam ^{40}K terdapat pada Desa Rangas ($6325,14 \pm 4,82$) Bq/Kg sampai dengan ($6233,81 \pm 4,86$) Bq/Kg. Tiga Desa pada Kecamatan Simboro tidak berpotensi terdapat radioaktif alam Uranium karena tidak melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan, satu desa di Kecamatan Tappalang dan satu desa di Kecamatan Tappalang Barat berpotensi terdapat radioaktif alam Thorium karena melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan masing-masing oleh *United Nation Scientific Committee on The Effect of Atomic Radiation* dan *International Atomic Energy Agency Basic Safety Standard-115* yaitu 1000 Bq/Kg

Kata kunci : Radionuklida Alam, Aktivitas Spesifik, Mamuju, Tanah, Spektrometer Gamma.

ABSTRACT

Research about identify of natural radioactive presence of uranium and thorium through natural radionuclides ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K in Mamuju district soil using a gamma spectrometer, have been done. Samples came from Tande-Tande Hamlet, Botteng Village, Rangas Village, Simboro District, Takandeang Village and Taan Village, Tappalang District, Pangasa Village and Ahu Village, West Tappalang District. Samples were analyzed using a Gamma Spectrometer. Before analyzing the sample, it was ground before using a 100 mesh sieve and the results obtained were the highest specific activity of natural radionuclides ^{238}U , ^{232}Th , and ^{226}Ra found in Tande-Tande Hamlet ($32,19 \pm 7,9$) Bq/Kg up to ($37,28 \pm 6,55$) Bq/Kg, ($2102,76 \pm 0,18$) Bq/Kg up to ($2492,36 \pm 0,16$) Bq/Kg, and ($7132,74 \pm 0,4$) Bq/Kg up to ($7164,86 \pm 0,39$) Bq/Kg. The highest specific activity of ^{40}K natural radionuclides was found in Rangas Village ($6325,14 \pm 4,82$) Bq/Kg to ($6233,81 \pm 4,86$) Bq/Kg. Three villages in Simboro sub-district do not have the potential for natural radioactive Uranium because they do not exceed the set threshold value, one village in Tappalang District and one village in West Tappalang District has the potential for natural radioactive Thorium because it exceeds the threshold value set by United Nation Scientific Committee on The Effect of Atomic Radiation and International Atomic Energy Agency Basic Safety Standard-115, that is 1000 Bq/Kg.

Keywords: *Natural Radionuclides, Specific Activities, Mamuju, Soil, Gamma Spectrometer.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
DAFTAR ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Maksud Dan Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian	5
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tanah.....	7
2.2 Radionuklida	8
2.2.1 Radionuklida Alam.....	9
2.2.2 Konsentrasi Radionuklida Alam	12
2.3 Sinar Gamma.....	14
2.4 Spektrometer Gamma.....	17

BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2 Lokasi Pengambilan Sampel.....	21
3.3 Alat Penelitian.....	22
3.4 Bahan Penelitian.....	22
3.5 Prosedur Penelitian.....	22
3.5.1 Pengambilan Sampel	22
3.5.2 Preparasi Sampel	23
3.5.3 Kalibrasi Spektrometer Gamma	23
3.5.4 Pengukuran Cacah Latar	23
3.5.5 Pengukuran Cacah Sampel	23
3.5.6 Perhitungan Aktivitas Spesifik Radionuklida Alam	24
3.6 Bagan Alir Penelitian	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Preparasi Sampel.....	26
4.2 Pengukuran Radiasi Latar	27
4.3 Analisis ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K Menggunakan	
Spektrometer Gama.....	28
4.3.1 Hasil Cacah Sampel.....	28
4.3.2 Kalibrasi Efisiensi Sumber Standar.....	29
4.3.3 Aktivitas Spesifik U-238, Th-232, Ra-226, K-40	32
BAB 5 PENUTUP.....	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran Penelitian.....	38

DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN 1	41
LAMPIRAN 2	43
LAMPIRAN 3	44
LAMPIRAN 4	48
LAMPIRAN 5	49

DAFTAR TABEL

- Tabel 1. Konsentrasi Aktivitas Radionuklida Alam Normal dalam Material
- Tabel 2. Konsentrasi Radionuklida Alam Pada Tanah di Beberapa Negara Lain
- Tabel 3. Deret Uranium Beserta Anak Luruh dan Waktu Paruhnya
- Tabel 4. Deret Thorium Beserta Anak Luruh dan Waktu Paruhnya
- Tabel 5. Titik koordinat pengambilan sampel
- Tabel 6. Berat Sampel dalam tabung marinelli
- Tabel 7. Nilai Hasil cacah latar
- Tabel 8. Hasil cacah sampel
- Tabel 9. Tanggal Sertifikat kalibrasi Efisiensi
- Tabel 10. Data penentuan nilai aktivitas pada saat tertentu dan nilai efisiensi ukur
sumber standar
- Tabel 11. Hasil nilai aktivitas pada saat tertentu dan efisiensi ukur pada nuklida
sumber standar
- Tabel 12. Perbandingan energi dan efisiensi
- Tabel 13. Hasil analisis aktivitas spesifik radionuklida alam

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Daya Tembus Partikel Alfa, Beta, dan Sinar Gamma

Gambar 2. Skema Alur Instrumen Spektrometer Gamma

Gambar 3. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Gambar 4. Kurva kalibrasi efisiensi sumber standar

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Bagan kerja penelitian

Lampiran 2. Data acuan analisis sampel radionuklida alam ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K beserta kelimpahan energi gamma

Lampiran 3. Pengukuran cacah sampel tanah menggunakan spektrometer gamma

Lampiran 4. Sertifikat kalibrasi

Lampiran 5. Dokumentasi

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

NORM = Naturally Occuring Radioactive Material

IAEA = International Atomic Energy Agency

Th = Thorium

U = Uranium

Pb = Plumbum/Timah

eTh = elektron Thorium

eU = elektron Uranium

$\mu\text{Sv/h}$ = Mikro Sievert per Jam

Bq = Bacquerel

ppm = Part Per Million

cps = cacah per detik

HPGe = High Purity Germanium

GPS = Global Positioning System

KeV = Kilo Elektron Volt

MeV = Mega Elektron Volt

α = Alfa

β = Beta

γ = Gamma

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan manusia tidak bisa lepas dari radiasi. Paparan radiasi yang diterima manusia dapat berasal dari sumber radionuklida alam dan radionuklida buatan. Radionuklida alam terdapat di dalam tanah dan batuan yang jumlahnya tergantung pada kondisi geologi setiap daerah. Radionuklida yang terdapat di lingkungan dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui udara, makanan dan air. Hal ini dapat membahayakan kesehatan manusia dalam jangka waktu yang lama, sehingga penyebarannya ke lingkungan perlu diawasi dengan melakukan pemantauan lingkungan (Despriani dkk, 2020).

Naturally Occuring Radioactive Material (NORM) merupakan sumber radiasi alam yang terjadinya bersamaan dengan alam semesta. NORM akan ditemukan di semua tempat di dunia dengan tingkat konsentrasi yang berbeda-beda. Sumber radiasi NORM dipengaruhi oleh keberadaan batuan dari deret Uranium ataupun deret Thorium di suatu tempat. Karena berasal dari alam, keberadaan sumber radiasi ini tidak dapat dihindari, namun dapat dikendalikan potensi bahayanya. *International Atomic Energy Agency* (IAEA) menganggap fenomena alam tersebut sebagai sumber radiasi existing (*existing exposure*) (Alfiyan, 2016).

Radionuklida di alam berdasarkan asal usulnya secara garis besar dapat dibagi dalam dua jenis. Yang pertama adalah radionuklida primordial, yang telah ada di kerak bumi sejak terbentuknya alam semesta, dan yang kedua adalah radionuklida kosmogenik yang terjadi akibat interaksi antara radiasi kosmik

dengan udara. Selain dua jenis tersebut, terdapat juga radionuklida yang muncul karena peluruhan spontan nuklida dapat belah (Th^{232} , U^{235} , U^{238}) atau karena reaksi inti tangkapan neutron dari radiasi kosmik, dan ada juga radionuklida punah yang sekarang tidak ada lagi karena umur paronya yang pendek, tetapi karena secara kuantitas sangat sedikit maka dapat diabaikan (Noviarty, 2017).

Sumber-sumber radiasi alam yang berada di permukaan bumi berasal dari bahan-bahan radioaktif alam yang disebut radionuklida primordial. Radionuklida ini dapat ditemukan dalam lapisan tanah atau batuan, air serta udara. Radiasi yang berasal dari mineral-mineral yang ada dalam batu-batuan dan juga di dalam tanah seringkali juga dinamakan radiogeologi. Unsur-unsur yang termasuk kelompok radionuklida primordial ini jumlahnya sangat banyak. Dari sekian banyak unsur tersebut, ada beberapa kelompok radionuklida alam yang tergolong sangat tua karena waktu paro induknya di atas 100 juta tahun (Sofyan dan Akhadi, 2004).

Nilai laju dosis alamiah yang tinggi di suatu daerah mencerminkan keterdapatan unsur radioaktif yang terkandung dalam tanah dan batuan, seperti uranium (U), thorium (Th), dan potassium (K) atau keterdapatan unsur anak luruhnya. Pada umumnya, keterdapatan unsur radioaktif terutama U dan Th sangat erat kaitannya dengan tanah atau batuan berkomposisi asam, baik plutonik (granitik) maupun volkanik (riolitik) (Khairani, 2018).

Mamuju merupakan ibukota Provinsi Sulawesi Barat hasil pemekaran dari Provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 2004 berdasarkan UU No. 26 Tahun 2004, dengan luas daerah sekitar 16.796,19 km². Beberapa kecamatan di Kabupaten Mamuju merupakan daerah yang memiliki nilai laju dosis radiasi (radioaktivitas) tinggi, yaitu antara 100-2.800 $\mu\text{Sv/h}$. Hasil tersebut didapatkan dari pengukuran radiasi lingkungan di daerah Sulawesi yang dilakukan oleh Pusat Teknologi

Keselamatan dan Metrologi Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTKMR-BATAN) pada tahun 2007. Nilai tersebut terbilang cukup tinggi bila dibandingkan dengan nilai laju dosis di daerah lain yang ada di Indonesia (Iskandar, 2007).

(Khairani dkk, 2018) melaporkan pada penelitian yang telah dilakukan dengan metode penelitian yang diterapkan adalah pengukuran radiometri. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa nilai laju dosis tinggi mencapai 4.271,3 $\mu\text{Sv/h}$ di Desa Takandeang dipengaruhi oleh keterdapatan unsur thorium, dengan kadar 435,7 ppm eTh dan uranium berkadar 426 ppm eU. Berdasarkan hasil analisis secara radiometri nilai laju dosis tergolong tinggi dan mencerminkan keterdapatan unsur radioaktif pada wilayah tersebut.

Penelitian yang telah dilakukan (Alfiyan, 2016) dengan metode penelitian secara radiometri menggunakan peralatan RadEye-PRD. Tingkat radiasi alam di kabupaten Mamuju ditunjukkan oleh hasil pengukuran paparan radiasi yaitu pada rentang 0,2 $\mu\text{Sv/h}$ sampai dengan 2,84 $\mu\text{Sv/h}$, sedangkan nilai rata-rata paparan radiasi di dunia adalah 0,08 $\mu\text{Sv/h}$. Tingkat radiasi yang signifikan ditemukan di Desa Botteng dan Desa Takandeang. Dalam penelitian yang dilakukan juga untuk beberapa sampel terdapat hasil pula kandungan ^{226}Ra dimana radionuklida ini berkaitan dengan potensi batuan uranium dan kandungan ^{232}Th berkaitan dengan potensi batuan thorium. Dari hasil survei tersebut, dapat diidentifikasi terdapat area anomali uranium dan anomali thorium pada beberapa daerah yang tersebar.

Berdasarkan uraian di atas, dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai analisis pengukuran laju paparan eksternal dengan beberapa jenis radionuklida atau dengan metode radiometri dan beberapa survei untuk membuktikan keterdapatan unsur radioaktif di beberapa daerah di Mamuju

dan menunjukkan hasil yang sangat tinggi bahkan melampaui batas maksimal yang telah ditetapkan, maka dalam penelitian ini dilakukan analisis dengan memanfaatkan instrumen spektrometer gamma yang memiliki tingkat kesalahan analisis yang kecil terhadap sampel atau objek analisis karena menghitung langsung pancaran karakteristik sinar gamma atom pada proses peluruhan radionuklida yang terjadi pada tanah dengan kelebihan instrumen ini dilakukan tanpa proses pemisahan kimia terlebih dahulu dibandingkan instrumen lain yang melakukan preparasi sampel secara pemisahan atau pencampuran bahan kimia untuk mengetahui aktivitas spesifik radionuklida di beberapa wilayah yang terdapat di Kabupaten Mamuju, yaitu pada daerah Kecamatan Simboro meliputi Desa Botteng Utara-Dusun Tande-Tande, Desa Botteng, Desa Rangas-Dusun Salunangka untuk daerah anomali uranium, pada Kecamatan Tapalang meliputi Desa Takandeang, Desa Taan. Dan Kecamatan Tapalang Barat meliputi Desa Pengasaan, Desa Ahu untuk daerah anomali thorium

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. belum diketahui aktivitas spesifik ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K dalam tanah di kabupaten mamuju.
2. apakah aktivitas spesifik radionuklida alam ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K dalam tanah di Kabupaten Mamuju melewati batas normal sumber radiasi yang ditetapkan *United Nation Scientific Committee on The Effect of Atomic Radiation* dan *International Atomic Energy Agency Basic Safety Standard-115*.

3. apakah tanah di kabupaten mamuju berpotensi sebagai tempat keterdapatan unsur radioaktif alam uranium dan thorium.

1.3 Maksud Dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk menentukan aktivitas spesifik dan aktivitas spesifik total pada deret ^{238}U , deret ^{232}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K , dan membandingkannya dengan batas normal sumber radiasi, serta mengetahui daerah mana yang berpotensi memiliki keterdapatan unsur radioaktif uranium dan thorium pada tanah di wilayah Kecamatan Simboro, Kecamatan Tapalang dan Kecamatan Tapalang Barat Kabupaten Mamuju.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. menentukan aktivitas spesifik ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K dalam tanah di kabupaten mamuju
2. membandingkan aktivitas spesifik ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K pada tanah di kabupaten mamuju yang melewati batas normal sumber radiasi yang ditetapkan *United Nation Scientific Committee on The Effect of Atomic Radiation* dan *International Atomic Energy Agency Basic Safety Standard-115*
3. mengetahui potensi tanah di kabupaten mamuju sebagai tempat keterdapatan unsur radioaktif alam uranium dan thorium

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi untuk pihak pemerintah daerah setempat, dan untuk menjadi bahan masukan dalam mengambil

keputusan daerah mana yang akan dilakukan eksplorasi/eksploitasi untuk bahan tambang yang mengandung radioaktif

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Sejak permulaan sejarah manusia, sudah disadari bahwa tanah adalah tempat yang memberikan kebebasan bergerak dan berdiam/hidup di atasnya seperti untuk tempat tinggal, untuk menghasilkan tanaman, untuk usaha beternak, dan sebagainya. Ahli Ilmu Tanah dari Amerika Serikat yaitu Jooffe dan Marbut memberikan definisi tanah sebagai tubuh alam (*natural body*) yang terbentuk dan berkembang sebagai akibat bekerjanya gaya-gaya alam (*natural forces*) terhadap bahan-bahan alam (*natural material*) di permukaan bumi. Tanah terbentuk dari berbagai bahan, baik berupa bahan-bahan mineral dan organik, air serta udara, yang tersusun di dalam ruangan yang membentuk tubuh alam. Akibat berlangsungnya proses pembentukan tanah, maka terjadilah perbedaan morfologi, kimia, fisik, dan biologi dari tanah yang berbeda-beda pula (Kasifah, 2017).

Tanah di Indonesia sebagian terdiri atas tanah muda dan relatif subur karena adanya penambahan bahan-bahan baru yang kaya unsur hara, seperti tanah aluvial di delta sungai atau tanah andosol di daerah gunung berapi. Namun, sebagian lain dari tanah yang ada di Indonesia adalah tanah tua yang kurang baik untuk diusahakan sebagai tanah pertanian. Dalam garis besar, tanah untuk perluasan areal di Indonesia dikelompokkan dalam dua golongan, yaitu (Gusmara, 2016) :

- Tanah lahan kering, yang pada umumnya terdiri atas Ultisol (Podsolik Merah Kuning) dan mungkin Oxisol.

- Tanah di daerah rawa-rawa, yang pada umumnya terdiri atas Histosol (tanah gambut) dan tanah berpotensi masam (Sulfaquent dan Sulfaquept).

Tanah sebagai benda alam, maka tanah merupakan dispersi 3 fase yang selalu dalam keseimbangan dinamis. Tanah dikatakan sebagai sistim 3 fase karena tanah terdiri dari 3 bentuk yang berbeda yaitu bahan padatan (*metric soil*), larutan (air) dan gas (udara). Tanah dikatakan sistim dispersi karena bahan penyusun tanah terdiri dari unit-unit kecil, kemudian bersatu membentuk unit-unit besar. Proporsi ketiga fase tersebut selalu berubah, sehingga selalu dikatakan dalam keseimbangan dinamis. Artinya bagian-bagian dari ketiga fase tersebut berubah, tetapi selalu dalam keadaan keseimbangan (Puja, 2016).

2.2 Radionuklida

Radionuklida di alam pertama kali dikenali melalui penemuan unsur uranium (U) oleh Antonie Henry Becquerel pada tahun 1896. Setelah Becquerel menerbitkan kertas kerja tentang fenomena keradioaktifan yang ditemukannya, maka fenomena itu mulai dipelajari secara intensif oleh para peneliti. Pada tahun 1898, pasangan suami-istri ahli kimia berkebangsaan Perancis Marie Curie dan Pierre Curie menyusul menemukan dua unsur baru yang dapat menunjukkan gejala radioaktivitas seperti uranium. Kedua unsur itu selanjutnya diberi nama polonium (Po) dan radium (Ra). Dalam kurun waktu berikutnya, puluhan radionuklida alamiah lainnya berhasil ditemukan. Bersamaan dengan terbentuknya uranium, terbentuk juga radionuklida alam seperti thorium, aktinium, kalium serta unsur-unsur lainnya (Sunarya, 2011).

2.2.1 Radionuklida Alam

Radionuklida alam yaitu uranium, thorium, dan kalium banyak terdapat dalam tanah dan batuan. Mineral uranium terdapat dalam kerak bumi pada semua jenis batuan terutama batuan granit dengan kadar 3-4 gram per 1 ton batuan. Pada umumnya uranium dalam batuan terdistribusi secara merata dan dapat dijumpai dalam bentuk mineral uranit maupun oksida kompleks euksinit betafit. Uranit merupakan mineral yang kandungan utamanya adalah uranium (80%) sedangkan euksinit betafit kandungan uraniumnya 20%. Uranium memiliki beberapa isotop dengan kelimpahan yang berbeda yaitu 99,275% (^{238}U), 0,72% (^{235}U), dan 0,005% (^{234}U). Thorium terdapat dalam jumlah sedikit terutama dalam batuan dan tanah. Kandungan thorium di tanah sekitar 12 ppm dengan isotop terbanyak adalah ^{232}Th dengan kelimpahan 100 % (Rasito dkk, 2017).

Radionuklida alam yang dominan ditemukan di dalam NORM adalah ^{238}U , ^{232}Th , ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{210}Pb dan ^{210}Po . Radiasi yang dipancarkan NORM merupakan campuran partikel alfa, beta dan foton gamma. Radon (^{222}Rn) dan thoron (^{220}Rn) adalah pemancar alfa murni dan berwujud gas. Berdasarkan sifat dan wujud dari masing-masing radionuklida ini maka metode penentuan setiap radionuklida tersebut berbeda (Bunawas dan Syarbaini, 2005).

Pembentukan NORM diawali dengan terlarutnya isotop Radium batuan seperti ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra di dalam air yang terdapat bersama minyak dan gas. Isotop ^{226}Ra berasal dari deret peluruhan ^{238}U dan ^{228}Ra beserta ^{224}Ra berasal dari deret peluruhan ^{232}Th . Radium mengendap bersama barium kemudian mengganti beberapa atom barium ini dalam struktur kristal barium sulfat. Karena ^{228}Ra meluruh menjadi ^{228}Th dan ^{226}Ra meluruh menjadi ^{210}Pb melalui radon (^{222}Rn) maka di dalam skala ditemukan ^{228}Th dan ^{210}Pb tersebut. Di dalam gas

alam banyak ditemukan gas radon yang merupakan anak luruh dari ^{226}Ra (Bunawas dan Syarbaini, 2005).

Tabel 1. Konsentrasi aktivitas radionuklida alam normal dalam material tanah (UNSCEAR, 2011)

Radionuklida	Aktivitas Konsentrasi (Bq/g)
K-40	10
setiap radionuklida dalam rantai peluruhan uranium dan thorium	1

Tabel 2. Konsentrasi radionuklida alam pada tanah di beberapa negara lain (UNSCEAR, 2011)

Wilayah/ Negara	Populasi di tahun 1996	K-40		U-238		Ra-226		Th-232	
		Rata-rata	Kisaran Nilai	Rata-rata	Kisran Nilai	Rata-rata	Kisaran Nilai	Rata-rata	Kisaran Nilai
Afrika	28,78	0,37	0,066-1,15	0,03	0,002-0,11	0,050	0,005-0,18	0,025	0,002-0,14
Algeria	63,27	0,32	0,029-0,65	0,037	0,006-0,12	0,017	0,005-0,064	0,018	0,002-0,096
Mesir									
Kosta Rika	3,50	0,14	0,0006-0,38	0,046	0,011-0,33	0,046	0,011-0,013	0,11	0,001-0,042
Amerika Serikat	269,4	0,37	0,10-0,70	0,035	0,004-0,14	0,040	0,006-0,16	0,035	0,004-0,13
South America									
Argentina	35,22	35,2 2	0,540-0,750						
Asia Timur									
Banglades	120,1	0,35	0,13-0,61			0,034	0,021-0,043		
China	1232	0,44	0,009-1,80	0,033		0,032	0,002-0,44	0,041	0,001-0,36
-HongKong	6,19	0,53	0,08-1,10	0,084		0,059	0,020-0,11	0,095	0,016-0,20
India	944,6	0,40	0,036-0,76	0,029	0,002-0,69	0,029	0,007-0,081	0,064	0,014-0,16
Japan	125,4	0,31	0,015-0,99	0,029	0,025-0,13	0,033	0,006-0,098	0,028	0,002-0,088
Kazakstan	16,82	0,30	0,10-1,20	0,037	0,007-0,051	0,035	0,012-0,12	0,060	0,010-0,22
Korea Utara	45,31	0,67	0,017-1,50		0,002-0,059				
Malaysia	20,58	0,31	0,17-0,43	0,066	0,012-0,12	0,067	0,0038-0,094	0,082	0,063-0,11
Thailand	56,70	0,23	0,007-0,712	0,114		0,048	0,011-0,078	0,051	0,007-0,12

Tahun 1906 N.R. Campbell dan A. Wood menemukan sifat keradioaktifan dalam bentuk pemancaran sinar- β lemah pada unsur kalium dan rubidium. Kalium-40 meluruh menghasilkan Argon-40. Mineral baik dalam bentuk pasir maupun batuan yang banyak mengandung K-40 adalah *muscovite*, *biotite*,

hornblende, glauconite, sanidine serta semua batuan dari gunung berapi. Rubidium-87 meluruh menghasilkan strontium-87 (^{87}Sr) dan banyak terdapat dalam mineral-mineral serta semua batuan metamorfis (Sofyan dan Akhadi, 2004).

Tabel 3. Deret Uranium Beserta Anak Luruh dan Waktu Paruhnya (Sofyan dan Akhadi, 2004)

Nama Radionuklida	Lambang	Radiasi yang Dipancarkan	Waktu Paruh ($T_{1/2}$)
Uranium I (UI)	$_{92}\text{U}^{238}$	α	$4,5 \times 10^9$ tahun
Uranium X1 (UX1)	$_{90}\text{Th}^{234}$	β	24,1 hari
Uranium X2 (UX 2)	$_{91}\text{Pa}^{234m}$	β	1,18 menit
Uranium Z (UZ)	$_{91}\text{Pa}^{234g}$	β	6,7 jam
Uranium II (UII)	$_{92}\text{U}^{234}$	α	$2,5 \times 10^5$ tahun
Ionium (Io)	$_{90}\text{Th}^{230}$	α	$8,0 \times 10^4$ tahun
Radium (Ra)	$_{88}\text{Ra}^{226}$	α	1620 tahun
Ra Emanation (Rn)	$_{86}\text{Em}^{222}$	α	3,82 hari
Radium A (RaA)	$_{84}\text{Po}^{218}$	α dan β	3,20 menit
Radium B (RaB)	$_{82}\text{Pb}^{214}$	β	26,8 menit
Astati 218	$_{85}\text{At}^{218}$	α	1,5 detik
Radium C (RaC)	$_{83}\text{Bi}^{214}$	α dan β	19,7 menit
Radium C' (RaC')	$_{84}\text{Po}^{214}$	α	$1,64 \times 10^{-4}$ detik
Radium C'' (RaC'')	$_{81}\text{Tl}^{210}$	β	1,32 menit
Radium D (RaD)	$_{82}\text{Pb}^{210}$	β	19,4 tahun
Radium E (RaE)	$_{83}\text{Bi}^{214}$	β	5 hari
Radium (RaF)	$_{84}\text{Po}^{210}$	α	138,3 hari
Thalium 206	$_{81}\text{Tl}^{206}$	β	4,2 menit
Radium G (RaG)	$_{82}\text{Pb}^{206}$	stabil	---

Tabel 4. Deret Thorium Beserta Anak Luruh dan Waktu Paruhnya (Sofyan dan Akhadi, 2004)

Nama Radionuklida	Lambang	Radiasi yang Dipancarkan	Waktu Paruh ($T_{1/2}$)
Thorium (Th)	$_{90}\text{Th}^{232}$	α	$1,39 \times 10^{10}$ tahun
Mesothorium 1 (MsTh1)	$_{88}\text{Ra}^{228}$	β	6,7 tahun
Mesothorium 2 (MsTh2)	$_{89}\text{Ac}^{228}$	β	6,13 jam
Radiothorium (RdTh)	$_{90}\text{Th}^{228}$	α	1,91 tahun
Thorium X (ThX)	$_{88}\text{Ra}^{224}$	α	3,64 hari
Th Emantion (Tn)	$_{86}\text{Em}^{220}$	α	51,5 detik
Thorium A (ThA)	$_{84}\text{Po}^{218}$	α dan β	0,16 detik
Thorium B (ThB)	$_{82}\text{Pb}^{214}$	β	10,6 jam
Astati 216	$_{85}\text{At}^{216}$	α	3×10^{-4} detik
Thorium C (ThC)	$_{83}\text{Bi}^{212}$	α dan β	60,5 menit

Thorium C' (ThC')	${}_{84}\text{Po}^{212}$	α	3×10^{-7} detik
Thorium C'' (ThC'')	${}_{84}\text{Ti}^{208}$	β	3,10 menit
Thorium D (ThD)	${}_{82}\text{Pb}^{208}$	stabil	---

Kurun waktu selama 25 tahun, hanya kedua jenis unsur radioaktif ${}^{40}\text{K}$ dan ${}^{87}\text{Rb}$ itulah yang diketahui sebagai radionuklida primordial dan berada di luar anggota keluarga deret radionuklida alam (deret uranium, deret thorium dan deret aktinium). Pada tahun 1932, G. Harvesy dan M. Pahl melakukan penelitian lebih lanjut dengan mendapatkan hasil adanya sifat keradioaktifan pada unsur samarium (${}^{150}\text{Sm}$), dan dalam beberapa tahun berikutnya beberapa radionuklida alamiah di luar anggota keluarga ketiga deret radioaktif alam berhasil ditemukan. Selanjutnya ditemukan juga radionuklida alam lain dengan waktu paruh yang lebih panjang dari unsur-unsur yang terbentuk sebelum masa Kriptozoik, seperti unsur indium-115 (${}^{115}\text{In}$) dengan $T_{1/2} = 5 \times 10^{14}$ tahun, hafnium-174 (${}^{174}\text{Hf}$) dengan $T_{1/2} = 2 \times 10^{15}$ tahun, cerium-142 (${}^{142}\text{Ce}$) dengan $T_{1/2} = 5 \times 10^{16}$ tahun serta dysprosium-156 (${}^{156}\text{Dy}$) dengan $T_{1/2}$ paling panjang, yaitu 4×10^{18} tahun (Sofyan dan Akhadi, 2004).

2.2.2 Konsentrasi Radionuklida Alam

Upaya untuk menghitung bahaya yang ditimbulkan oleh radiasi yaitu dengan pengukuran konsentrasi radionuklida alam. Salah satu metode yang sering digunakan dalam pengukuran konsentrasi radionuklida alam yaitu dengan spektroskopi sinar gamma (γ). Pengukuran konsentrasi radionuklida alam relatif mudah dilakukan karena anak luruh radionuklida alam umumnya merupakan pemancar sinar gamma dan metode ini juga tidak membutuhkan preparasi sampel yang rumit (Erwan, 2016).

Aktivitas spesifik radionuklida alam yang terkandung dalam sampel tanah dapat diperlihatkan dengan Persamaan (1) (BATAN, 2013) :

$$C_{sp} = C_{avg} \pm U_T \dots \dots \dots (1)$$

Dengan ;

C_{sp} : aktivitas spesifik radionuklida dalam sampel terkoreksi (Bq/Kg)

C_{avg} : aktivitas spesifik radionuklida dalam sampel rata-rata (Bq/Kg)

U_T : ketidakpastian pengukuran

Aktivitas spesifik radionuklida dalam sampel rata-rata dihitung dengan menggunakan persamaan (2) (BATAN, 2013) :

$$C_{avg} = \frac{N_{sp} - N_{bg}}{\epsilon_{\gamma} P_{\gamma} m} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan ;

C_{sp} : aktivitas spesifik radionuklida dalam sampel terkoreksi (Bq/Kg)

C_{avg} : aktivitas spesifik radionuklida dalam sampel rata-rata (Bq/Kg)

N_{sp} : laju cacah sampel (cps)

N_{BG} : laju cacah latar (cps)

ϵ_{γ} : efisiensi pada energi gamma (%)

P_{γ} : yield dari energi gamma (%)

m : massa sampel (kg)

Ketidapastian konsentrasi pengukuran (U_T) dapat dihitung dengan persamaan (3) (BATAN, 2013) :

$$U_T = C_{avg} \times \sqrt{\left(\frac{u_N^2 + u_{BG}^2}{N_{sp} - N_{BG}}\right)^2 + \left(\frac{U_{\epsilon}}{\epsilon}\right)^2 + \left(\frac{U_p}{P_{\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{U_m}{m}\right)^2} \dots \dots (3)$$

Dengan :

C_{sp} : aktivitas spesifik radionuklida dalam sampel rata-rata (Bq/Kg)

U_N : ketidakpastian pencacahan sampel (%)

U_{BG} : ketidakpastian pencacahan latar (%)

U_{ε} : ketidakpastian efisiensi pada energi gamma (%)

U_P : ketidakpastian *yield* (%)

U_m : ketidakpastian massa sampel (%)

2.3 Sinar gamma

Tahun 1903, Ernest Rutherford mengemukakan bahwa radiasi yang dipancarkan zat radioaktif dapat dibedakan atas dua jenis berdasarkan muatannya. Radiasi yang bermuatan positif dinamai sinar alfa, dan yang bermuatan negatif diberi nama sinar beta. Selanjutnya Paul U. Viillard menemukan jenis sinar yang ketiga yang tidak bermuatan dan diberi nama sinar gamma (Brown dkk, 2012).

Radioaktivitas adalah kemampuan inti atom yang tidak stabil untuk memancarkan radiasi dan berubah menjadi inti stabil. Proses perubahan ini disebut peluruhan yang berarti perubahan inti atom yang tidak stabil menjadi inti atom yang lain. Inti atom yang tidak stabil disebut radionuklida. Materi yang mengandung radionuklida disebut zat radioaktif. Dengan kata lain radioaktivitas adalah transmudasi inti suatu unsur karena memancarkan zat radioaktif alfa, beta atau gamma yang secara berurutan dikenal sebagai inti helium, elektron/positron dan foton berenergi tinggi (Malaka, 2019).

Peluruhan gamma adalah jenis peluruhan radioaktif dimana inti atom memancarkan sinar gamma. Sinar gamma adalah sebuah bentuk berenergi dari radiasi elektromagnetik yang diproduksi oleh radioaktivitas atau proses nuklir atau subatomik lainnya seperti penghancuran elektron-positron, sering juga sinar gamma diartikan radiasi elektromagnetik yang membawa energi dalam bentuk paket-paket yang disebut foton. Dari penelitian yang dilakukan sinar gamma

merupakan radiasi elektromagnetik yang tidak bermassa yang tidak bermuatan. Sinar gamma memiliki panjang gelombangnya lebih pendek dari sinar-X, tetapi mempunyai sinar yang sama dengan sinar-X dan daya tembusnya adalah yang paling kuat. Atom pada sinar gamma tidak mengalami pengurangan nomor atom dan nomor massa, hanya atomnya saja yang berada pada keadaan tereksitasi kembali ke keadaan dasar. Atom yang tereksitasi biasanya terjadi pada atom yang melakukan pancaran sinar alfa dan beta, untuk mencapai tingkat dasar atau keadaan stabil atom tersebut melakukan pelepasan energi melalui pemancaran sinar gamma. Dalam hal ini nomor massa dan nomor atom tidak berubah (Alatas dkk, 2020).

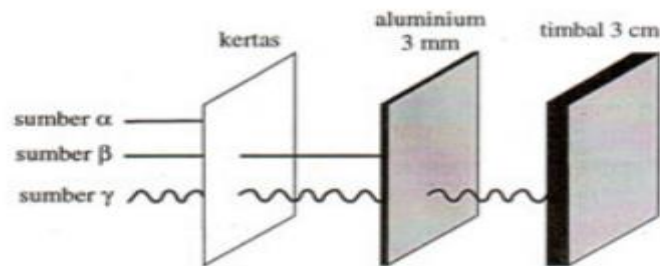


Sinar γ mempunyai sifat elektromagnetik, yaitu memancarkan foton, foton adalah partikel netral dengan massa nol pada keadaan diam, karenanya sinar gamma mudah berinteraksi dengan suatu materi dan MR-nya dari 0-100 m (Noor dan Zakir, 2019).

Ada lima proses yang terjadi apabila sinar gamma melewati suatu bahan yaitu transformasi inti, hamburan Bragg (difraksi bragg), Efek Fotolistrik, Efek Compton, dan Produksi Pasangan (*Pair Production*) Kelima proses tersebut dapat menyebabkan eksitasi dan ionisasi (Noor dan Zakir, 2019).

Sinar gamma memiliki kekuatan hampir 1 miliar kali lebih berenergi dibandingkan radiasi sinar X. ${}^{60}\text{Co}$ merupakan sumber radiasi gamma yang dihasilkan dari aktivitas Co^{59} yang ditembakkan neutron dalam sebuah reaktor. Saat ini sumber sinar gamma yang banyak digunakan adalah ${}^{60}\text{Co}$ dengan energi foton sebesar 1,17 MeV dan 1,33 MeV dan ${}^{137}\text{Cs}$ dengan energi foton sebesar 0,66

MeV. Sinar gamma memiliki daya tembus yang paling tinggi diantara partikel alfa dan beta seperti yang terdapat pada gambar 1 dibawah ini (Dwiloka, 2002).



Gambar 1. Daya Tembus Partikel Alfa, Beta, dan Sinar Gamma

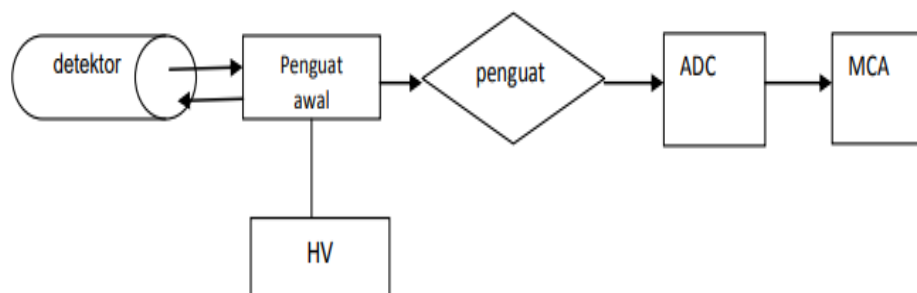
(Murugesan, 2008)

Sinar- γ merupakan radiasi yang menyertai emisi partikel- α dan β dari suatu inti. Pada nuklida tertentu, contohnya, ^{131}I kelebihan energi pada posisi tereksitasi diubah dalam bentuk pancaran sinar- γ . Umumnya emisi sinar- γ terjadi 10^{-12} detik setelah emisi partikel. Maka tampak bahwa emisi sinar- γ menggambarkan penataan ulang kandungan energi dalam suatu radionuklida dari keadaan tereksitasi ke keadaan yang lebih stabil. Pada beberapa nuklida emisi- γ diperlambat sampai beberapa jam, dalam hal ini radionuklida tetap pada posisi tereksitasi untuk beberapa lama. Perlambatan ini karena adanya transisi isomerik (Noor dan Zakir, 2019).

Proses terhadap analisis sinar- γ menunjukkan bahwa energinya adalah diskrit (monoenergetik). Sinar- γ dari beberapa radionuklida mempunyai *range* energi 10 KeV–3 MeV. Ada yang sampai 7 MeV tetapi jumlahnya sangat sedikit. Karena peluruhan berlangsung dengan beberapa cara, beberapa isotop memancarkan sinar- γ dengan tingkat energi yang berbeda (Noor dan Zakir, 2019).

2.4 Spektrometer gamma

Pengukuran radionuklida pemancar gamma relatif lebih mudah dari pada radionuklida pemancar alfa murni. Radionuklida pemancar gamma dapat diukur secara langsung dengan spektrometer gamma tanpa dilakukan pemisahan kimia terlebih dahulu. Radionuklida-radionuklida pemancar alfa yang dalam proses peluruhannya juga disertai radiasi gamma, maka dapat dideteksi secara langsung melalui radiasi gamma dari anak luruhnya tanpa melalui tahap pemisahan kimia. Perangkat spektrometer gamma secara sederhana dapat dipandang sebagai suatu sistem alat ukur radiasi yang terdiri dari detektor, sistem penguat pulsa, sistem pengolah pulsa dan penyimpan data. Interaksi sinar gamma dengan detektor menghasilkan sinyal pulsa yang tingginya sebanding dengan tenaga sinar gamma yang selanjutnya pulsa-pulsa tersebut diproses secara elektronik oleh sistem penguat dan pengolah pulsa sehingga diperoleh hasil akhir berupa suatu spektrum gamma pada layar monitor. Spektrum gamma yang diperoleh, selanjutnya dianalisis dengan perangkat lunak pada komputer seperti yang terdapat pada gambar 2. Dari hasil analisis puncak-puncak energi pada spektrum tersebut dapat diidentifikasi dan dihitung kadar radionuklida pemancar sinar gamma yang ada dalam sampel (Komalasari, 2016).



Gambar 2. Skema Alur Instrumen Spektrometer Gamma (Ratnawati dkk, 2015)

Jenis detektor spektrometer gamma yang digunakan adalah detektor semikonduktor-Ge. Detektor jenis ini mempunyai respon linear terhadap energi gamma dengan jangkauan yang cukup lebar, daya pisah (resolusi) energi tinggi, efisiensi tinggi dan cacahan latar rendah. Detektor semikonduktor Ge merupakan gabungan kristal-Ge tipe-p dan tipe-n yang diberi medan listrik. Dengan datangnya foton gamma maka akan terbentuk pasangan-pasangan elektron dan lubang (*hole*) yang kemudian bergerak ke arah elektroda sehingga menghasilkan pulsa-pulsa listrik. Detektor semikonduktor Ge dioperasikan pada temperatur N₂ cair. Oleh karena itu detektor ini dilengkapi dengan tabung dewar sebagai wadah N₂ cair untuk mendinginkan detektor (Komalasari, 2016).

Pemantauan lingkungan dapat pula ditujukan untuk mengidentifikasi jenis jenis radionuklida pemancar gamma, sehingga diperlukan instrumentasi untuk spektrometri gamma seperti pemantau sintilasi NaI(Tl) yang dihubungkan dengan penganalisa saluran ganda *Multi Channel Analyzer* (MCA). Nomor salur pada MCA akan sebanding dengan energi radiasi gamma yang berinteraksi dengan pemantau. Semakin besar energi gamma, semakin besar pula nomor salur tempat munculnya spektrum gamma. Spektrometri radiasi gamma dapat pula dilakukan menggunakan pemantau semikonduktor. Pemantau ini dibuat dari bahan germanium (Ge) yang tercangkok dengan lithium (Li) sehingga membentuk pemantau semikonduktor Ge(Li) yang tersedia di pasaran dalam berbagai ukuran dan bentuk. Kelebihan lain yang dimiliki pemantau semikonduktor adalah linieritasnya pada daerah energi yang sangat lebar. Kombinasi dari resolusi tinggi dan linieritas ini menjadikan pemantau semikonduktor sebagai spektrometer radiasi terbaik jika dikombinasikan dengan instrumentasi elektronik yang sesuai (Alatas dkk, 2020).

Kalibrasi spektrometer gamma dilakukan dengan mengukur sumber standar Europium-152 (^{152}Eu) yang telah diketahui aktivitasnya selama 17 jam. Kalibrasi spektrometer gamma terdiri dari kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi. Kalibrasi energi dilakukan untuk menentukan hubungan antara energi dari radionuklida sumber standar dengan nomor salur. Apabila hubungan antara energi dan nomor salur dituangkan dalam grafik maka diperoleh grafik berupa garis lurus yang linier. Kalibrasi efisiensi dilakukan untuk mengetahui kemampuan detektor dalam menangkap setiap energi dari radionuklida pemancar gamma yang terdapat pada suatu sampel. Efisiensi detektor tiap energi gamma dapat dihitung menggunakan Persamaan 5. Aktivitas energi sumber standar pada saat keadaan tertentu dapat dihitung menggunakan persamaan 6. Efisiensi ukur dapat dihitung menggunakan persamaan 7.

$$\mathcal{E}_\gamma = \frac{N_s - N_{bg}}{A_t P_\gamma} \dots \dots \dots (5)$$

Dengan :

- \mathcal{E}_γ : efisiensi pada energi gamma teramati (%)
- N_s : laju cacah standar (cps)
- N_{BG} : laju cacah latar (cps)
- A_t : aktivitas pada saat pengukuran (Bq)
- P_γ : kelimpahan energi gamma (%)

$$A_t = A_o x e^{-0,693xT} \dots \dots \dots (6)$$

Dengan :

- A_t : Aktivitas pada saat tertentu (Bq)
- A_o : Aktivitas awal (Bq)

t : beda waktu

T : umur paruh radionuklida

$$\text{Aktivitas gamma} = \frac{\text{Cps}}{\text{Ef.yield.w}} \text{Bq/g} \dots \dots \dots (7)$$