

**ANALISIS TINGKAT RADIONUKLIDA  $^{14}\text{C}$  DALAM AIR TANAH  
KECAMATAN SIMBORO KABUPATEN MAMUJU DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *LIQUID SCINTILLATION COUNTING* (LSC)**



**MUHAMMAD FADEL HASNUR**

**H031 19 1010**



**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**ANALISIS TINGKAT RADIONUKLIDA  $^{14}\text{C}$  DALAM AIR TANAH  
KECAMATAN SIMBORO KABUPATEN MAMUJU DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *LIQUID SCINTILLATION COUNTING (LSC)***

**MUHAMMAD FADEL HASNUR**

**H031 19 1010**



**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

SKRIPSI

ANALISIS TINGKAT RADIONUKLIDA  $^{14}\text{C}$  DALAM AIR TANAH  
KECAMATAN SIMBORO KABUPATEN MAMUJU DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *LIQUID SCINTILLATION COUNTING (LSC)*

MUHAMMAD FADEL HASNUR  
H031191010


Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana pada tanggal 16  
Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan


pada

Departemen Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin  
Makassar


Pembimbing Utama,

  
Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si  
NIP. 197011031999031001

Pembimbing Pertama,

  
Dr. Maming, M.Si  
NIP. 1963312311989031031

Ketua Program Studi,

  
Dr. St. Fauziah, M.Si  
NIP. 197202021999032002

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Analisis Tingkat Radionuklida  $^{14}\text{C}$  dalam Air Tanah Kecamatan Simboro Kabupaten Mamuju dengan Menggunakan Metode *Liquid Scintillation Counting (LSC)*" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Maming, M.Si sebagai Pembimbing Pertama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas pembuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.



Muhammad Fadel Hasnur  
NIM. H031191010

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan skripsi ini dapat terampungkan atas berkat rahmat dan keberkahan yang selalu diberikan oleh sang maha besar, sang pencipta makhluk dan alam semesta Allah SWT. Penulis mampu menyelesaikan penelitian ini tentu tidak lepas pula dari bimbingan, diskusi dan arahan Bapak Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si sebagai pembimbing utama dan Bapak Dr. Maming, M.Si sebagai pembimbing pertama. Saya mengucapkan berlimpah terima kasih kepada mereka. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Ibu Prof. Dr. Hasnah Natsir, M.Si dan Bapak Dr. Djabal Nur Basir, S.Si., M.Si selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberi saran dan masukan selama proses penyusunan skripsi ini.

Penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada ketua Departemen Kimia, Ibu Dr. St. Fauziah, M.Si. dan sekretaris Departemen Kimia, Ibu Dr. Nur Umriani Permatasari, M.Si., serta seluruh dosen Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang telah membagi ilmu kepada penulis selama menempuh pendidikan. Para staf dan seluruh analis Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, terkhusus Kak Tenri dan Kak Lala atas kesempatan untuk menggunakan fasilitas dan peralatan di Laboratorium Kimia Radiasi.

Teristimewa kepada orangtua penulis Bapak Muhammad Nur Mappangadja dan Ibu Harisah Arief terima kasih karena sudah mengantarkan penulis ke tempat ini dengan segala perhatian, kasih sayang, pengorbanan baik dari materi maupun waktu, motivasi serta do'a yang tiada henti untuk penulis. Terimakasih kepada teman-teman peneliti Kimia Radiasi 2019, Subhan, Deku, dan Rezi yang juga membantu dan berjuang bersama dalam penelitian dan penyusunan skripsi. Terima kasih juga kepada teman-teman kimia 2019 yang sudah menemani perjalanan penulis. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada keluarga besar KSR PMI UNHAS yang sudah menjadi keluarga kedua bagi penulis, terkhusus kepada teman-teman diksar 27. Serta sahabat-sahabat penulis, Akbar, Ikbal, Naufal, Kiki, Faiz, Juane, Bilal, Mahdis, dan Zam yang selalu melukis cerita bersama, menemani dalam suka maupun duka, dan menghiasi perkuliahan. Terakhir, terima kasih yang sangat spesial penulis sampaikan kepada Khilda Afridati Wahda yang selalu setia untuk menemani dan tanpa henti untuk memberikan pengaruh, motivasi, serta senantiasa mendampingi penulis sehingga mampu untuk menyelesaikan skripsi ini.

Penulis,

Muhammad Fadel Hasnur

## ABSTRAK

MUHAMMAD FADEL HASNUR. **Analisis Tingkat Radionuklida  $^{14}\text{C}$  dalam Air Tanah Kecamatan Simboro Kabupaten Mamuju dengan Menggunakan Metode *Liquid Scintillation Counting* (LSC)** (dibimbing oleh Muhammad Zakir dan Maming).

**Latar Belakang.** Air tanah adalah sumber utama air bersih, terutama untuk kebutuhan konsumsi seperti air minum, namun air tanah sangat rentan terhadap polusi radiasi. Beberapa daerah di Mamuju, termasuk Simboro, memiliki laju radioaktivitas atau dosis radiasi yang tinggi. Salah satu radioisotop alami yang banyak ditemukan di alam adalah  $^{14}\text{C}$ . Metode yang dapat digunakan untuk menentukan aktivitas  $^{14}\text{C}$  adalah *Liquid Scintillation Counting* (LSC). **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk menentukan aktivitas radionuklida  $^{14}\text{C}$  pada sampel air tanah di kecamatan Simboro kabupaten Mamuju, dan kualitas air untuk kadar  $^{14}\text{C}$  pada air tanah di kecamatan Simboro kabupaten Mamuju sesuai persyaratan baku mutu air bersih *World Health Organization* (WHO) Tahun 2022. **Metode.** Dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu: 1) pengukuran aktivitas  $^{14}\text{C}$  background, 2) pengukuran aktivitas  $^{14}\text{C}$  sampel air tanah Kecamatan Simboro Kabupaten Mamuju. **Hasil.** Pengukuran aktivitas  $^{14}\text{C}$  dengan menggunakan metode LSC didapatkan hasil pada sampel 1 sebesar 8,844 Bq/L, sampel 2 sebesar 13,095 Bq/L, dan sampel 3 sebesar 13,246 Bq/L. **Kesimpulan.** Berdasarkan baku mutu air bersih *World Health Organization* (WHO) tahun 2022 tingkat radioaktivitas beta pada air bersih adalah 100 Bq/L. Adapun hasil yang ditunjukkan pada penelitian ini di bawah ambang batas baku mutu yang telah ditentukan.

Kata Kunci: Air Tanah, Karbon-14, *Liquid Scintillation Counting*, Radioaktivitas

## ABSTRACT

MUHAMMAD FADEL HASNUR. **Analysis of  $^{14}\text{C}$  Radionuclide Levels in Groundwater of Simboro District, Mamuju Regency Using Liquid Scintillation Counting (LSC) Method** (supervised by Muhammad Zakir and Maming).

**Background.** Ground water is a primary source of clean water, especially for consumption purposes such as drinking water, but groundwater is highly vulnerable to radiation pollution. Several areas in Mamuju, including Simboro, have high radioactivity levels or radiation doses. One of the natural radioisotopes commonly found in nature is  $^{14}\text{C}$ . The method used to determine the activity of  $^{14}\text{C}$  is Liquid Scintillation Counting (LSC). **Objective.** This study aims to determine the radionuclide activity of  $^{14}\text{C}$  in groundwater samples from Simboro district, Mamuju regency, and assess the quality of water for  $^{14}\text{C}$  levels in groundwater according to the clean water quality standards set by World Health Organization (WHO) of 2022. **Method.** This research is divided into several stages: 1) measurement of background  $^{14}\text{C}$  activity, 2) measurement of  $^{14}\text{C}$  activity in groundwater samples from Tapalang district, Mamuju regency. **Results.** The measurement of  $^{14}\text{C}$  activity using the LSC method yielded the following results: sample 1 had an activity of 8.844 Bq/L, sample 2 had 13.095 Bq/L, and sample 3 had 13.246 Bq/L. **Conclusion.** Based on the clean water quality standards set by World Health Organization (WHO) of 2022, the beta radioactivity level in clean water is 100 Bq/L. The results obtained in this study exceed the established clean water quality standard below the threshold.

Keywords: Carbon-14, Ground water, Liquid Scintillation Counting, Radioactivity

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG .....	xiii
BAB I_PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Teori.....	3
1.2.1 Air Tanah.....	3
1.2.2 Radionuklida.....	3
1.2.3 Radioaktivitas .....	4
1.2.4 Radiokarbon .....	5
1.2.5 <i>Liquid Scintillation Counting (LSC)</i> .....	6
1.3 Rumusan Masalah .....	8
1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian .....	8
1.4.1 Maksud Penelitian .....	8
1.4.2 Tujuan Penelitian.....	8
1.5 Manfaat Penelitian .....	8
BAB II_METODE PENELITIAN.....	
10	
2.1 Bahan Penelitian .....	
10	
2.2 Alat Penelitian.....	
10	
2.3 Waktu dan Tempat Penelitian .....	
10	
2.4 Prosedur Penelitian .....	
10	



2.4.1 Penentuan Titik Pengambilan Sampel.....	
10	
2.4.2 Pengambilan Sampel Air Tanah.....	11
2.4.3 Pengukuran Aktivitas $^{14}\text{C}$ Background.....	11
2.4.4 Pengukuran Aktivitas $^{14}\text{C}$ Sampel Air Tanah .....	11
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN .....	12
3.1 Pengambilan Sampel .....	12
3.2 Pengukuran Aktivitas $^{14}\text{C}$ <i>Background</i> .....	12
3.3 Pengukuran Aktivitas $^{14}\text{C}$ Sampel Air Tanah.....	14
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....	17
4.1 Kesimpulan.....	17
4.2 Saran.....	
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
DAFTAR PUSTAKA .....	18

**DAFTAR TABEL**

Nomor Urut		Halaman
1	Data hasil cacahan background pada 60 menit dengan 10 kali pengulangan .....	12
2	Data hasil pencacahan pada waktu optimum sampel 1, sampel 2, dan sampel 3 dengan 10 kali pengulangan .....	13
3	Nilai aktivitas sampel dan satuan background becquerel per liter.....	14

**DAFTAR GAMBAR**

Nomor urut	Halaman
1. Penentuan CO <sub>2</sub> dalam siklus hidrologi .....	6
2. Alat Pencacah LSC Hidex 300 SL.....	7
3. Peta Lokasi Pengambilan Sampel .....	9
4. Sampel Air Tanah Sampel 1, Sampel 2, Dan Sampel 3.....	11
5. Grafik Nilai DPM Background terhadap Waktu Pencacahan .....	12
6. Grafik Nilai DPM Sampel Air Tanah terhadap Waktu Pencacahan	13

**DAFTAR LAMPIRAN**

<b>Nomor urut</b>	<b>Halaman</b>
1. Bagan Kerja Penelitian .....	20
2. Perhitungan Aktivitas $^{14}\text{C}$ dalam Air Tanah .....	21
3. Data Hasil Pencacahan <i>Background</i> menggunakan LSC Hidex 300 SL dalam Rentang Waktu Cacahan 5-120 menit .....	22
4. Data Hasil Pencacahan Sampel Air Tanah menggunakan LSC Hidex 300 SL dalam Rentang Waktu Cacahan 5-120 menit .....	23

**DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG**

<b>Singkatan</b>	<b>Arti dan Penjelasan</b>
$^{14}\text{C}$	Karbon-14
LSC	<i>Liquid Scintillation Counter</i>
TDCR	<i>Triple-to-double Coincidence Ratio</i>
DPM	<i>Disintegrate per Minutes</i>
CPM	<i>Counting per Minutes</i>
MeV	<i>Maximal Extractable Value</i>
E $\beta$	Energi Beta Rendah
PPO	Polifenol Oksidase

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Manusia dan semua makhluk hidup lainnya membutuhkan air. Air adalah materi yang memungkinkan kehidupan terjadi di bumi (Hutapea, 2005). Air memiliki beberapa jenis, salah satunya yakni air tanah. Secara umum, air tanah diartikan sebagai air yang berada dan berasal dari lapisan tanah, baik pada lapisan tanah tak jenuh maupun pada lapisan tanah jenuh. Air yang berada pada lapisan tanah tak jenuh (*soil water*) mendukung kehidupan vegetasi di permukaan. Sementara itu, air pada lapisan tanah jenuh (*groundwater*) menjadi cadangan air dalam lapisan tanah, yang dapat keluar melalui mata air (artesis) atau tetap berada dalam lapisan tanah sebagai air fosil (*fossil water*). Pesatnya pertumbuhan penduduk dunia menyebabkan kebutuhan manusia terhadap air terus meningkat, baik untuk air bersih, air industri, maupun air pertanian. Kondisi ini membuat manusia terus berupaya mengambil air fosil dengan menggunakan berbagai teknologi untuk memenuhi semua kebutuhan tersebut (Darwis, 2018).

Kabupaten Mamuju terletak di Provinsi Sulawesi Barat yang secara geografis terletak pada 1°38'110"-2°54'552" Lintang Selatan dan 11°54'47"-13°5'35" Bujur Timur dengan luas wilayah 5.056,19 Km<sup>2</sup>. Kecamatan yang ada di Kabupaten Mamuju hampir seluruhnya dilalui oleh sungai dengan topografi pegunungan salah satunya kecamatan Simboro (Badan Pusat Statistik Kabupaten Mamuju, 2014). Berdasarkan analisis pemetaan tingkat radiasi dan radioaktivitas pada tahun 2013, kabupaten Mamuju teridentifikasi mengalami paparan radiasi alam paling signifikan dibanding daerah lain di Indonesia (Syarifuddin, 2017). Beberapa daerah di kabupaten Mamuju mempunyai nilai laju dosis radiasi tinggi. Paparan radiasi yang tinggi diperkirakan berasal dari batuan gunung api Adang dengan kandungan mineral radioaktif alami (Mu'awanah dkk., 2018).

Zat radioaktif tidak dapat terdeteksi langsung oleh pancaindra karena keterbatasan kemampuan indra manusia. Zat ini memancarkan radiasi berenergi kinetik tinggi yang disebut radionuklida (Widodo, 2022). Radionuklida adalah atom yang tidak stabil dan mengalami peluruhan radioaktif. Peluruhan ini menghasilkan emisi partikel dan radiasi elektromagnetik yang dapat berbahaya bagi manusia dan lingkungan (Wahyono dan Hidayat, 2021). Radionuklida alam dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu radionuklida primordial dan radionuklida kosmogenik. Radionuklida primordial dapat ditemukan dalam lapisan kerak bumi seperti Uranium-238. Sedangkan radionuklida kosmogenik dapat ditemukan di lapisan atmosfer yang tersebar ke permukaan bumi seperti Karbon-14 (Malaka, 2019).

Unsur karbon memiliki radioisotop yaitu Karbon-14 (<sup>14</sup>C) yang melimpah secara alami dengan waktu paruh 5730 tahun dan biasanya disebut radiokarbon. Radiokarbon terbentuk di atmosfer melalui reaksi antara neutron dan nitrogen yang dapat masuk ke dalam organisme hidup. Radiokarbon dengan waktu paruh yang lama ini memancarkan radiasi partikel beta ( $\beta$ ) energi rendah (Babin dkk., 2022).

Radiokarbon teroksidasi oleh oksigen di atmosfer dan membentuk karbon-14 dioksida ( $^{14}\text{CO}_2$ ). Penyebaran  $^{14}\text{CO}_2$  ke organisme dapat melalui proses fotosintesis oleh tanaman dan rantai makanan secara tidak langsung (Quarta dkk., 2021). Pembentukan unsur karbon akan berhenti jika suatu organisme mati. Unsur  $^{12}\text{C}$  yang stabil jumlahnya tetap, sedangkan jumlah  $^{14}\text{C}$  yang bersifat radioaktif berkurang karena mengalami peluruhan (Widjiyanto dkk., 2015). Radiokarbon dapat masuk ke makhluk hidup melalui udara makanan maupun air. Radiokarbon juga masuk ke tanaman melalui fotosintesis yang akhirnya dikonsumsi oleh hewan maupun manusia. Radiokarbon mempunyai jumlah konstan pada organisme hidup karena terus menerus menghirup dan menambahkannya ke dalam tubuh dan akan meluruh dan terus berkurang pada saat organisme mati karena tidak lagi mengambilnya. Radiokarbon memiliki waktu paruh  $5.730 \pm 40$  tahun karena peluruhan dari radiokarbon yang konstan perhitungan dari peluruhan karbon-14 dan dilakukan, perhitungan tersebut dinamakan dengan penanggalan radiokarbon. Penanggalan radioakarbon dapat digunakan untuk menentukan umur suatu specimen atau makhluk hidup dan kondisi lingkungan (Augustyn, 2023).

Karbon-14 adalah radionuklida pemancar beta murni energi rendah ( $E\beta$  : 0,155 MeV), dan aktivitas spesifiknya pada sampel organisme hidup sangat rendah, meskipun sampel tersebut masih segar. Oleh karena itu, untuk keperluan pencacahan radiasi yang dipancarkan oleh  $^{14}\text{C}$  diperlukan pencacah khusus dengan radiasi latar yang sangat rendah (LBC, *low background counter*), sehingga dapat mencapai ketelitian tinggi dalam menginterpretasi data hasil pencacahan sampel. Pencacahan  $^{14}\text{C}$  dalam bentuk senyawa benzena dapat dilakukan menggunakan pencacah pendar cair (LSC, *liquid scintillation counter*) (Jufriada dkk., 2018). *Liquid scintillation counter* (LSC) atau *liquid scintillation analysis* (LSA) adalah teknik yang telah populer untuk mendeteksi dan mengukur jumlah radioaktivitas dari radionuklida sejak tahun 1950-an. Metode LSC menggunakan sampel radioaktivitas yang dimasukkan dalam vial sintilasi dan ditambahkan dengan campuran *scintillator* khusus. Penentuan karbon-14 menggunakan metode penyerapan langsung mengikuti prinsip yang sama dengan metode yang digunakan dalam metode sintesis benzene, di mana sejumlah karbon yang diketahui dari sampel bahan baku atau latar belakang dihitung sebagai cairan dalam penghitung sintilasi cair (Varlam dkk., 2007).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Tenrisa'na dkk., (2017) analisis  $^{14}\text{C}$  dalam sedimen sungai Karema kabupaten Mamuju melalui metode LSC menunjukkan aktivitas spesifik sampel sungai Karema sebesar  $15,10 \pm 4,5$  DPM/g. Sampel diambil dari muara sungai Karema di kabupaten Mamuju. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Tenrisa'na dkk., (2021) Analisis  $^{14}\text{C}$  Modern dalam Karang *Goniastrea favulus* di kepulauan Spermonde, Sulawesi Selatan melalui metode LSC menunjukkan aktivitas spesifik rata-rata  $^{14}\text{C}$  dari karang *Goniastrea favulus* adalah  $15,31 \pm 0,6$  DPM/g.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian mengenai

analisis tingkat radionuklida  $^{14}\text{C}$  dengan menggunakan metode LSC dan penentuan kualitas air tanah di kecamatan Simboro daerah kabupaten mamuju menurut persyaratan baku mutu air bersih *World Health Organization* (WHO) tahun 2022.

## 1.2 Teori

### 1.2.1 Air Tanah

Air tanah adalah air yang berada di dalam tanah. Air tanah dibagi menjadi dua, air tanah dangkal dan air tanah dalam. Air tanah dangkal merupakan air yang berasal dari air hujan yang diikat oleh akar pohon. Air tanah ini terletak tidak jauh dari permukaan tanah serta berada di atas lapisan kedap air. Sedangkan air tanah dalam adalah air hujan yang meresap ke dalam tanah lebih dalam lagi melalui proses absorpsi serta filtrasi oleh batuan dan mineral di dalam tanah. Sehingga berdasarkan prosesnya air tanah dalam lebih jernih dari air tanah dangkal (Kumalasari & Satoto, 2011). Air tanah (*groundwater*) merupakan air yang berada di bawah permukaan tanah. Air tanah ditemukan pada akifer pergerakan air tanah sangat lambat kecepatan arus berkisar antara  $10^{-10}$  –  $10^{-3}$  m/detik dan dipengaruhi oleh porositas, permeabilitas dari lapisan tanah, dan pengisian kembali air. Karakteristik utama yang membedakan air tanah dan air permukaan adalah pergerakan yang sangat lambat dan waktu tinggal yang sangat lama, dapat mencapai puluhan bahkan ratusan tahun. Pergerakan yang sangat lambat dan waktu tinggal yang lama tersebut, air tanah akan sulit untuk pulih kembali jika mengalami pencemaran (Effendi, 2003).

### 1.2.2 Radionuklida

Radionuklida adalah atom yang tidak stabil dan mengalami peluruhan radioaktif. Peluruhan ini menghasilkan emisi partikel dan radiasi elektromagnetik yang dapat berbahaya bagi manusia dan lingkungan (Wahyono dan Hidayat, 2022). Radionuklida alam memancarkan radiasi secara alami dan keberadaannya telah ada sejak bumi terbentuk (Marwoto dkk., 2019). Secara garis besar radionuklida yang terdapat di alam berdasarkan asal usulnya dibagi menjadi dua jenis, yaitu radionuklida primordial dan radionuklida kosmogenik. radionuklida juga dapat muncul melalui peluruhan spontan nuklida (Noviarty dkk., 2017).

Radionuklida primordial merupakan radionuklida yang terbentuk secara alamiah di dalam perut bumi dan membentuk deret radionuklida (Noviarty dkk., 2017). Radionuklida primordial dapat digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu deret torium, deret uranium, dan deret aktinium (Malaka, 2019). Radionuklida yang membentuk deret adalah nuklida deret torium dengan induk torium-232 dengan waktu paruh 14 milyar tahun dan radionuklida deret aktinium dengan induk uranium-235 ( $^{235}\text{U}$ ) dengan waktu paruh 700 juta tahun (Noviarty dkk., 2017). Batuan yang berusia melebihi 600 juta tahun terkontaminasi oleh zat radioaktif  $^{238}\text{U}$  dengan konsentrasi yang relatif tinggi. Radionuklida primordial juga biasa disebut sebagai radiasi terestrial. Radiasi



ini bersumber dari mineral yang terdapat di dalam tanah (Malaka, 2019). Radionuklida kosmogenik terbentuk secara alamiah di atmosfer yang terjadi akibat interaksi antara radiasi kosmik dengan udara (Putri dkk., 2019). Radionuklida yang terdapat di atmosfer turun ke permukaan bumi dibawa oleh angin, hujan, dan salju. Sumber pencemaran radionuklida antara lain pembakaran batu bara, penggunaan bahan bakar, penggunaan bahan yang terkontaminasi radionuklida, dan penggunaan fosfat alam (Malaka, 2019). Radionuklida kosmogenik ini dipengaruhi oleh medan magnetik matahari dan bumi, seperti  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ , dan  $^{10}\text{Be}$  (Paleari dkk., 2022).

### 1.2.3 Radioaktivitas

Radioaktivitas adalah kondisi inti atom secara spontan dengan disertai radiasi berbentuk partikel dan gelombang elektromagnetik. Secara sederhana, radioaktivitas merupakan kapabilitas suatu inti atom memancarkan radiasi membentuk inti stabil (Rachma dkk., 2019). Peristiwa radioaktivitas memiliki korelasi yang kuat dengan kestabilan suatu inti atom. Jumlah inti atom akan mengalami perubahan saat terjadi peluruhan yang mengakibatkan terjadinya perubahan dari unsur yang satu ke unsur lainnya (Lely dkk., 2012).

Zat radioaktif memancarkan sinar alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), dan gamma ( $\lambda$ ) yang merupakan inti helium, elektron, proton, dan foton yang berenergi tinggi (Malaka, 2019). Radiasi sinar alfa terjadi saat suatu inti atom yang tidak stabil meluruh membentuk inti ringan dengan sebuah partikel  $\alpha$ . Radiasi sinar beta terjadi saat peluruhan suatu neutron berubah membentuk proton ataupun sebaliknya. Radiasi sinar gamma terjadi ketika inti atom meluruh dalam keadaan eksitasi, dimana inti akhir menyentuh keadaan dasar sesudah memancarkan satu atau lebih foton (Sumardi dan Nurashiah, 2022). Zat radioaktif meluruh mengacu pada konstanta peluruhan  $\lambda$  masing-masing. Nilai  $\lambda$  menetapkan masa paruh tiap zat radioaktif. Dalam beberapa kasus dapat ditemukan zat radioaktif yang memiliki masa paruh dalam jangka waktu yang sangat lama sehingga sulit untuk mengamati peluruhan zat tersebut (Apriati dan Santosa, 2017).

#### 1.2.3.1 Peluruhan Radioaktivitas

Peluruhan radioaktif menunjukkan perubahan antara radionuklida yang tidak stabil menjadi radionuklida yang stabil ataupun sebaliknya. Inti yang tidak stabil mengalami peluruhan secara acak dan tidak secara serentak, oleh karena itu dibutuhkan sebuah metode statistik dalam menunjukkan peristiwa radioaktif (Noor dan Zakir, 2019). Menurut Lely dkk., (2012) laju peluruhan suatu inti radioaktif dapat disebut sebagai aktivitas ( $A$ ). Nilai aktivitas berbanding lurus dengan besar inti atom yang meluruh tiap detiknya. Aktivitas mengacu pada jumlah inti radioaktif dalam sampel dan konstanta peluruhan. Persamaan laju peluruhan radioaktif dapat diketahui pada Persamaan 1:

$$A = \lambda N \quad (1)$$

Keterangan :

- A = aktivitas  
 $\lambda$  = konstanta peluruhan  
 N = jumlah inti radioaktif

### 1.2.3.2 Hukum Radioaktivitas

Pemancaran radiasi tanpa henti menyebabkan menurunnya jumlah inti atom radioaktif. Aktivitas (A) merupakan jumlah pengurangan inti radioaktif yang mengalami peluruhan tiap satuan waktu. Sesaat sampel tersebut meluruh, maka jumlah intinya berkurang sebanyak N. Konstanta peluruhan ( $\lambda$ ) yang menyatakan laju peluruhan per detik dan waktu paruh ( $t_{1/2}$ ) menentukan jumlah aktivitas dari zat radioaktif tersebut. Secara matematis dapat dilihat dari Persamaan 2 berikut (Rachma dkk., 2019):

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Keterangan:

- $N_t$  = jumlah zat radioaktif pada waktu t  
 $N_0$  = jumlah zat radioaktif mula-mula  
 t = waktu peluruhan

### 1.2.4 Radiokarbon

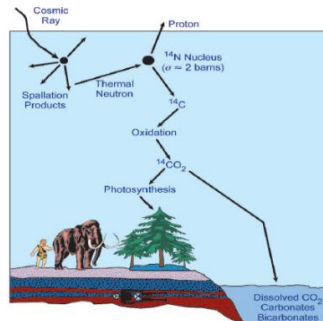
Karbon-14 ( $^{14}\text{C}$ ) merupakan salah satu contoh unsur radioaktif. Unsur ini terbentuk akibat sinar kosmik mengenai gas nitrogen di atmosfer. Senyawa organik biasanya berasal dari senyawa karbon yang terbentuk secara alamiah. Berdasarkan sumbernya karbon terdiri dari dua jenis, Karbon dari daratan yang terbawa oleh limpasan hujan atau sungai yang dimana dipengaruhi oleh tingginya curah hujan dan karbon yang berasal dari hasil produk organisme laut seperti karbonat biogenik. Material organik itu sendiri menjadi salah satu bahan pencemar pada perairan yang melimpah (Permanawati dan Hernawan, 2018). Aktivitas yang tinggi di sekitar perairan menjadi penyebab masuknya berbagai macam limbah domestik yang mengandung bahan organik. Karbon merupakan unsur utama penyusun bahan organik menjadi unsur yang paling banyak ditemukan pada semua makhluk hidup (Wahyuningsih dkk., 2020). Karbon juga menjadi material penyusun yang memiliki peranan penting di biosfer. Karbon di alam dapat tersubstitusi antara biosfer dan abiotik (laut, atmosfer dan kerak) yang disebut sebagai siklus karbon. Pertukaran tersebut melibatkan proses kimia, fisika, biologi, dan geologi di dalamnya (Firdaus dan Wijayanti, 2019).

Isotop karbon yang ditemukan di atmosfer, laut dan biosfer terestrial hadir dalam rasio sekitar 99%  $^{12}\text{C}$ , 1%  $^{13}\text{C}$  dan  $1 \times 10^{-12}\%$   $^{14}\text{C}$ . Karbon-12 dan karbon-13 merupakan isotop stabil sementara karbon-14 bersifat radioaktif yang disebut sebagai radiokarbon. Radiokarbon merupakan salah satu contoh dari radionuklida kosmogenik yang dapat ditemukan secara alami di atmosfer (Graven dkk., 2020). Radiokarbon terbentuk saat nitrogen mengenai

neutron dari sinar kosmogenik. Inti nitrogen yang bereaksi dengan neutron memancarkan proton. Nomor atom berubah menjadi 6 dan membentuk unsur baru yaitu  $^{14}\text{C}$ . Reaksi pembentukan  $^{14}\text{C}$  dapat dilihat pada Persamaan 3 (Sri dkk., 2013).



Karbon-14 teroksidasi kemudian berikatan dengan oksigen membentuk  $^{14}\text{CO}_2$  yang bergabung di atmosfer dan menjadi bagian dari siklus karbon melalui proses fotosintesis dan pertukaran  $\text{CO}_2$  antara udara dan laut.  $^{14}\text{C}$  terdistribusi ke lautan, sedimen, dan biosfer daratan. Karbon-14 mengalami peluruhan radioaktif yang dimana memiliki rata-rata waktu hidup sekitar 8267 tahun. Keberlangsungan karbon-14 di atmosfer tidak hanya dipengaruhi oleh variasi produksi jangka pendek. Kehadiran  $^{14}\text{C}$  di atmosfer dipengaruhi tidak hanya oleh variasi produksi jangka pendek, melainkan juga oleh korelasi antara sistem karbon-iklim. Evolusi  $^{14}\text{C}$  dipengaruhi oleh jangka waktu yang panjang yang mengatur peluruhan radioaktif dan perputaran karbon di daratan dan lautan (Roth dan Joos, 2013). Skema produksi, distribusi dan peluruhan radiokarbon dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Skema Produksi, distribusi dan peluruhan radiokarbon (Currie, 2004)

Karbon-14 bersifat sebagai radioisotop yang tidak stabil dan meluruh dalam fungsi waktu. Karbon-14 bersifat meluruh sehingga perbandingannya akan semakin berkurang seiring dengan perbandingan waktu. Ketika suatu organisme mati yang menyebabkan proses metabolik terhenti, maka jumlah karbon-14 mengalami peluruhan beta membentuk  $^{14}\text{N}$  yang dapat diukur sebagai waktu paruh  $^{14}\text{C}$  (Widjiyanto dkk., 2015). Perbandingan karbon-14 terhadap karbon udara biasanya tidak berubah sejak masa purba, maka dari itu organisme yang mengandung karbon dapat dikorelasikan dengan umur semenjak proses metabolisme suatu organisme berhenti. Umur suatu organisme dapat dihitung berdasarkan masa paruh peluruhan karbon-14 (Siregar dan Yudhicara, 2017).

### 1.2.5 Liquid Scintillation Counting (LSC)

Karbon-14 merupakan radionuklida pemancar beta murni energi rendah ( $E\beta : 0,155 \text{ MeV}$ ), dan aktivitas spesifiknya pada sampel jasad hidup sangat rendah, meskipun sampel tersebut masih segar. Oleh sebab itu, untuk

keperluan pencacahan radiasi yang dipancarkan oleh  $^{14}\text{C}$  ini memerlukan pencacah khusus dengan radiasi latar yang sangat rendah (LBC, *low background counter*), sehingga didapatkan ketelitian yang tinggi dalam menginterpretasi data hasil cacahan sampel. Pencacahan  $^{14}\text{C}$  dalam bentuk senyawa benzena dapat dilakukan menggunakan pencacah pendar cair (LSC, *liquid scintillation counter*). Hingga kini telah banyak instrumentasi radiasi yang dapat dipakai untuk mengukur radiasi dengan intensitas yang sangat rendah. Oleh sebab itu, penanggalan radiokarbon ini mampu memberikan hasil pengukuran yang paling akurat dibandingkan metode penanggalan lainnya (Yulianti dan Akhadi, 2005).

LSC Hidex 300 SL merupakan instrumen revolusioner yang menggabungkan tiga tabung PMT (*photomultiplier tube*) pada sistem detektor untuk mengoptimalkan pengukuran geometri dan memungkinkan perhitungan efisiensi pencacahan dengan metode *Triple to Double Coincidence Ratio* (TDCR). Alat ini digunakan untuk mengukur nilai cacahan sampel di setiap botol khusus (*vial*) yang terdapat dalam rak sampel. Hidex 300 SL memiliki dua rak sampel dengan kapasitas masing-masing 96 vial untuk kapasitas 7 mL setiap vial dan 40 vial untuk kapasitas 20 mL. Alat Hidex 300 SL diperlihatkan pada Gambar 2 (Wisser, 2013).



**Gambar 2.** Alat LSC Hidex 300 SL (Wisser, 2013)

Terdapat perbedaan antara instrumen LSC konvensional dan instrumen LSC Hidex 300 SL. Perbedaannya terletak pada jumlah PMT yang digunakan sebagai sistem detektor. LSC konvensional hanya menggunakan dua PMT sedangkan LSC Hidex 300 SL menggunakan tiga tabung PMT sebagai sistem detektor. LSC Hidex 300 SL ideal untuk semua aplikasi penghitungan sintilasi rutin. Misalnya pemantauan rutin penghasil beta di pembangkit listrik tenaga nuklir mudah dilakukan dengan Hidex 300 SL. Hasil dapat dicetak dengan perhitungan ketidakpastian yang diperlukan sehingga memberikan operasi bebas gangguan tanpa perlu analisis data lebih lanjut (Wisser, 2013).

Pada metode LSC (*Liquid Scintillation Counting*), sampel yang mengandung radionuklida dilarutkan atau disuspensikan dalam larutan

sintilator yang sesuai di dalam *glass vial* atau plastik. Partikel radioaktif dalam sampel yang terlarut dalam larutan sintilator akan bertumbukan dengan molekul pelarut menyebabkan molekul pelarut menjadi tereksitasi dan hal ini menyebabkan molekul sintilator memancarkan foton. Foton tersebut akan dideteksi oleh PMT sehingga pulsa listrik yang dihasilkan sebanding dengan energi partikel radioaktif (Jumianti dkk., 2017).

Metode pencacahan sintilasi cair kebanyakan dipakai untuk penentuan radioaktivitas  $\beta$  energi rendah, misalnya  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$ . Pada prinsipnya pencacah sintilasi cair terdiri dari komponen dasar yang berupa tabung pengganda foton atau *photomultiplier tube* (PMT), penguat (*amplifier*), pemisah (*discriminator*), dan pencacah (*counter*) pulsa. Komponen PMT berfungsi untuk mengubah pancaran foton menjadi pulsa listrik. Permukaan PMT dibuat dari bahan yang sensitif terhadap cahaya dan dapat mengubah energi foton yang terserap menjadi energi listrik melalui pelepasan elektron (Tjahaja dan Mutia, 2000).

### 1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. berapa aktivitas radionuklida  $^{14}\text{C}$  pada sampel air tanah di kecamatan Simboro kabupaten Mamuju menggunakan metode *Liquid Scintillation Counting* (LSC)?
2. apakah kualitas air untuk kadar  $^{14}\text{C}$  pada air tanah di kecamatan Simboro kabupaten Mamuju memenuhi persyaratan baku mutu air bersih *World Health Organization* (WHO) tahun 2022?

### 1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian

#### 1.4.1 Maksud Penelitian

Maksud penelitian ini adalah menganalisis aktivitas radionuklida  $^{14}\text{C}$  menggunakan alat pencacah LSC Hidex 300 SL dan menentukan kualitas air tanah di kecamatan Simboro kabupaten mamuju memenuhi persyaratan baku mutu air bersih *World Health Organization* (WHO) tahun 2022.

#### 1.4.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. menentukan aktivitas radionuklida  $^{14}\text{C}$  pada sampel air tanah di kecamatan Simboro daerah kabupaten Mamuju.
2. menentukan kualitas air untuk kadar  $^{14}\text{C}$  pada air tanah di kecamatan Simboro kabupaten Mamuju memenuhi persyaratan baku mutu air bersih *World Health Organization* (WHO) tahun 2022.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai analisis aktivitas radionuklida  $^{14}\text{C}$  dan informasi mengenai kualitas air untuk kadar  $^{14}\text{C}$  pada air tanah di kecamatan Simboro kabupaten Mamuju memenuhi

persyaratan baku mutu air bersih *World Health Organization* (WHO) tahun 2022 dengan menggunakan alat pencacah LSC Hidex 300 SL.

## BAB II METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan adalah sampel air tanah, akuades, *cocktail aqualight*, *unquenched background standart*, kertas label dan sarung tangan.

### 2.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan adalah *water sampler*, *pH meter*, botol kaca, alat pencacah LSC Hidex 300 SL, *vial* sintilator, pipet volume dan peralatan gelas yang umum digunakan dalam laboratorium.

### 2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari sampai Mei 2024. Pengambilan sampel bertempat di kecamatan Simboro, Kabupaten Mamuju. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Radiasi Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

### 2.4 Prosedur Penelitian

#### 2.4.1 Penentuan Titik Pengambilan Sampel (SNI 03-7016-2004)

Titik pengambilan sampel ditentukan dengan mempertimbangkan lokasi yang menjadi pusat pemanfaatan air tanah atau berdasarkan tempat yang dianggap mewakili dengan memperhatikan pola aliran air. Pengambilan sampel air dilakukan pada tiga lokasi. Titik I berada pada sumur gali sekitar hulu sungai, titik II berada pada sumur gali sekitar tengah sungai (antara hulu dan hilir sungai) dan titik III berada pada sumur gali sekitar hilir sungai. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Lokasi Pengambilan Sampel 1, sampel 2, dan sampel 3

#### 2.4.2 Pengambilan Sampel Air Tanah (SNI 8995:2021; ISO 13162:2021)

Sampel air diambil menggunakan *water sampler* pada kedalaman kurang lebih 20 cm dari permukaan air sumur gali kemudian diukur pH pada setiap sampel dan dimasukkan ke dalam botol kaca sebanyak 1000 mL hingga terisi penuh.

#### 2.4.3 Pengukuran Aktivitas $^{14}\text{C}$ Background (ISO 13162:2021; Stojkovic dkk:2019)

Aktivitas  $^{14}\text{C}$  dalam *Background* dapat diketahui melalui pencacahan *Background* dengan LSC Hidex 300 SL. Pencacahan terdiri atas *Background* 20 mL kemudian dicacah dengan waktu pencacahan 5-120 menit dengan 10 kali pengulangan. Dilakukan pencacahan kembali setelah diketahui waktu optimum dengan 10 kali pengulangan. Hasil pencacahan disimpan di komputer dan dicatat.

#### 2.4.4 Pengukuran Aktivitas $^{14}\text{C}$ Sampel Air Tanah (ISO 13162:2021; Stojkovic dkk:2019)

Aktivitas  $^{14}\text{C}$  dalam sampel dapat diketahui melalui pencacahan sampel dengan LSC Hidex 300 SL. Pencacahan larutan sampel terdiri atas campuran 8 mL sampel dan 12 mL sintilator ke dalam vial 20 mL yang kemudian dihomogenkan dan dicacah dengan waktu pencacahan 5-120 menit untuk menentukan waktu optimum. Dilakukan pencacahan kembali setelah diketahui waktu optimum dengan 10 kali pengulangan. Hasil pencacahan disimpan di komputer dan dicatat. Perhitungan aktivitas  $^{14}\text{C}$  dalam air tanah:

$$\text{Aktivitas } ^{14}\text{C (Bq/ L)} = \frac{\text{DPMs-DPMb}}{60.V} \cdot \frac{1}{\varepsilon}$$

Keterangan:

DPMs : Disintegrasi Per Menit Sampel

DPMb : Disintegrasi Per Menit Background

V : Volume Sampel(L)

Bq/L : Becquerel per Liter

$\varepsilon$  : Efisiensi