

**PENENTUAN UMUR KARANG PENYUSUN BENTENG KERATON  
BUTON BERDASARKAN AKTIVITAS  $^{14}\text{C}$  MENGGUNAKAN METODE  
LSC (*LIQUID SCINTILLATION COUNTING*)**

**ZULFHADYANTI RAIS  
H031181014**



**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

**PENENTUAN UMUR KARANG PENYUSUN BENTENG KERATON  
BUTON BERDASARKAN AKTIVITAS  $^{14}\text{C}$  MENGGUNAKAN METODE  
LSC (*LIQUID SCINTILLATION COUNTING*)**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Sains Pada Departemen Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin*

Oleh :

**ZULFHADYANTI RAIS  
H031181014**



**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

LEMBAR PENGESAHAN SLRIPSI

PENENTUAN UMUR KARANG PENYUSUN BENTENG KERATON  
BUTON BERDASARKAN AKTIVITAS  $^{14}\text{C}$  MENGGUNAKAN METODE  
LSC (*LIQUID SCINTILLATION COUNTING*)

Diajukan dan disusun oleh :

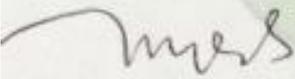
ZULFHADYANTI RAIS  
H031181014

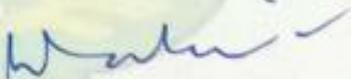
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang Sarjana Program Studi  
Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin  
Pada 28 November 2022  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama

  
Dr. Maming, M.Si  
NIP. 19631231 198903 1 031

  
Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si  
NIP. 19701103 199903 1 001

Ketua Program Studi

  
Dr. Sa'adiyah, M.Si

NIP. 19720202 199903 2 002

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zulfhadyanti Rais

Nomor Mahasiswa : H031 18 1014

Program studi : Kimia

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi yang berjudul **Penentuan Umur Karang Penyusun Benteng Keraton Buton Berdasarkan Aktivitas  $^{14}\text{C}$  Menggunakan Metode LSC (*Liquid Scintillation Counting*)** adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, penulis bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, November 2022

Menyatakan



Zulfhadyanti Rais

## PRAKATA

*Bismillahirrahmanirrahim.....*

Alhamdulillah Rabbilalamin, segala puji kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, sebab atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “**Penentuan Umur Karang Penyusun Benteng Keraton Buton Berdasarkan Aktivitas  $^{14}\text{C}$  Menggunakan Metode LSC (Liquid Scintillation Counting)**” yang merupakan salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana dalam bidang Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Makassar.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Ucapan terimakasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua tercinta, limpahan rasa hormat dan bakti serta doa yang tulus penulis persembahkan kepada ayahanda **Muh. Rais** dan ibunda **Hasnawati**. Orang-orang terhebat yang telah mengajarkan banyak hal tentang perjuangan hidup, tiada hentinya melantunkan doa disetiap sujudnya dan kasih sayang tulus serta tiada bosannya mendengar keluh kesah penulis selama penelitian sampai pada penyelesaian skripsi ini. Terimakasih juga teruntuk kakak-kakakku tercinta kak **Yusyuliani Rais** dan kak **Ruslan** atas semangat dan dukungannya baik moril maupun materi, serta **Ghaitsa Nurul Qalby** dan **Misbahul Khair R. Djamal** yang selalu menjadi penyemangat penulis.

Dengan segala kerendahan dan ketulusan hati, penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayahanda **Dr. Maming, M.Si** selaku pembimbing utama dan ayahanda **Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si** selaku pembimbing pertama yang

senantiasa meluangkan waktu dalam memberikan ilmu, bimbingan dan arahan kepada penulis, serta mendukung dan memberi motivasi sehingga skripsi ini dapat tersusun dengan baik.

2. Ibunda **Prof. Dr. Nunuk Hariani Soekanto, MS** dan **Dr. Nur Umriani Permatasari, M.Si** selaku tim penguji yang selama ini telah memberikan bimbingan dan saran dalam penyusunan skripsi ini dan kepada Ibunda **Dr. Rugayya A. Arfah, M.Si** dan Ayahanda **Dr. Syahrudin Kasim, S.Si, M.Si** selaku koordinator seminar.
3. Ketua Departemen Kimia FMIPA Unhas ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** beserta dosen dan staf Departemen Kimia **Kak Rahma** dan **Pak Haerul** yang telah membantu penulis dalam perjalanan selama menempuh pendidikan di Departemen Kimia FMIPA Unhas.
4. Seluruh Analis Laboratorium Kimia Departemen Kimia FMIPA Unhas, **Pak Iqbal, Ibu Tini, Ibu Anti, Kak Linda, Kak Fiby** dan **Kak Hannah**. Terkhusus **Kak Tenri** terima kasih atas bantuan dan bimbingan yang diberikan selama proses penelitian.
5. Rekan-rekan peneliti di Laboratorium Kimia Radiasi **Kak Wandu, Kak Beska, Chand, Ibnu**. Terkhusus **Lala** panel ter the best yang selalu ada.
6. **Kak Aund, Kak Tenri, Lala** dan **Chand** selaku tim “Gass to Baubau” dan **Kak Ita** yang telah membantu perizinan di BPCB SUL-SEL dan **Pak Rahmat** yang telah membantu dan mengarahkan penulis dalam pengambilan sampel di benteng Keraton Buton Kota Baubau.

7. **Kak Ica, Kak Tenri dan Kak Wandu** yang telah meluangkan waktu dan ilmunya kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan penelitian dengan baik.
8. Teman-teman terbaikku **KIMIA 2018** dan **HIBRIDISASI 2018** ”**LOYALITAS TANPA BATAS**”, terkhusus kepada **Lala, Depa, Esry, Feni, Anti, Ririn, Oe, Nina, Citra, Pino, Febry, Ummul, Chand, Ibnu** terimakasih atas waktu dan arti kebersamaan yang menemani penulis dalam menjalani kehidupan kampus.
9. Saudariku ”**Bahari Gabut**” (**Depa, Kiki, Lala, Inna dan Afni**) terimakasih atas kebersamaan dan solidaritasnya yang telah mengajarkan arti persaudaraan dan menemani suka duka penulis di pondok Bahari.
10. Sahabat terbaikku (**Lala, Depa dan Esry**) yang selalu menjadi tempat berkeluh kesah penulis selama ini.
11. Kepada semua pihak yang mengenal penulis yang tidak sempat disebutkan namanya satu persatu. Terimakasih sebanyak-banyaknya telah ada dalam proses yang dilalui penulis.

Penulis sadar bahwa skripsi ini tidak sempurna dan banyak kekurangan baik materi maupun teknik penulisannya, karena kesempurnaan yang sejati hanya milik Allah SWT. Oleh karena itu, penulis berharap saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya khususnya bidang Kimia Radiasi.

Makassar, 30 November 2022

Penulis

## ABSTRAK

Penentuan umur karang penyusun benteng Keraton Buton berdasarkan aktivitas  $^{14}\text{C}$  menggunakan metode LSC (*Liquid Scintillation Counting*) telah dilakukan. Sampel karang yang dianalisis merupakan karang penyusun benteng yang diambil dari pintu gerbang benteng keraton Buton. Preparasi sampel dilakukan secara fisik dan kimia dengan menggunakan campuran NaOH dengan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% dilanjutkan dengan campuran  $\text{HClO}_4$  dengan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30%, dan terakhir dengan larutan HCl 5% hingga menghasilkan sampel yang bersih dan tampak lebih putih dengan pengurangan bobot sebesar 10,5% dan 6,1%. Karbonat sampel karang dipisahkan sebagai  $\text{CO}_2$  melalui reaksi dengan HCl 10% dan penyerapan oleh larutan KOH 1 N sebagai  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Total karbon dalam sampel adalah 0,129024 gram dan 0,132096 gram yang diperoleh melalui metode titrasi. Aktivitas spesifik  $^{14}\text{C}$  yang terukur melalui pencacahan dengan LSC (*Liquid Scintillation Counter*) Hidex 300 SL adalah 13,95089 DPM/gC dan 14,38348 DPM/gC. Umur sampel karang yang dihitung dari data aktivitas spesifik adalah sekitar 817 dan 565 tahun.

Kata kunci : Aktivitas Spesifik  $^{14}\text{C}$ , Penanggalan karbon, Liquid Scintillation Counting, Karang, Benteng Keraton Buton.

## ABSTRACT

Determination of the age of the corals comprising the fort of Keraton Buton based on  $^{14}\text{C}$  activity using the LSC (Liquid Scintillation Counting) method has been carried out. The coral samples analyzed taken from the gate of the fort of Keraton Buton. Sample preparation was carried out physically and chemically by using a mixture of NaOH with 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  followed by a mixture of  $\text{HClO}_4$  with 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$ , and finally with 5% HCl solution to produce a clean and whiter-looking sample with a weight reduction of 10.5% and 6,1%. The carbonate of coral samples was separated as  $\text{CO}_2$  by reaction with 10% HCl and absorption by 1 N KOH solution as  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . The total carbon in the sample was 0.129024 grams and 0.132096 grams were obtained through the titration method. The specific activity of  $^{14}\text{C}$  measured by counting with Hidex 300 SL LSC (Liquid Scintillation Counter) was 13.95089 DPM/gC and 14.38348 DPM/gC. The age of the coral samples calculated from the specific activity data was between 817 and 565 years.

Keywords : Specific Activities  $^{14}\text{C}$ , Carbon dating, Liquid Scintillation Counting, Coral, Fort of Keraton Buton.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian.....	5
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Benteng Keraton Buton.....	7
2.2 Karang.....	8
2.3 Radiokarbon.....	11
2.4 Penanggalan Radiokarbon.....	13
2.5 Radioaktivitas.....	16

2.5.1 Laju Peluruhan Radioaktif .....	17
2.5.2 Hukum Radioaktivitas.....	18
2.5.3 Beberapa Besaran Radioaktivitas.....	18
2.6 LSC ( <i>Liquid Scintillation Counting</i> ).....	19
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
3.1 Bahan Penelitian .....	22
3.2 Alat Penelitian.....	22
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.4 Prosedur Penelitian. ....	22
3.4.1 Pengambilan Sampel karang dan Terumbu Karang.....	22
3.4.2 Preparasi Sampel.....	23
3.4.3 Ekstraksi Karbonat Sampel Karang.....	24
3.4.4 Penentuan Total Karbon sampel karang.....	25
3.4.5 Pengukuran Aktivitas $^{14}\text{C}$ Sampel Karang.....	26
3.4.6 Penentuan Umur Sampel Karang.....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
4.1 Pengambilan Sampel.....	28
4.2 Preparasi Sampel.....	29
4.3 Ekstraksi Karbonat Sampel Karang .....	31
4.4 Penentuan Total Karbon. ....	32
4.5 Pencacahan $^{14}\text{C}$ dalam Sampel Karang.....	33
4.6 Perhitungan Aktivitas Spesifik Sampel .....	38
4.7 Penentuan Umur Sampel Karang.....	40
<b>BAB V PENUTUPAN.....</b>	<b>41</b>

5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
DAFTAR PUSTAKA .....	42
LAMPIRAN .....	45

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Jenis peluruhan radioaktif .....	17
2. Data perbandingan bobot sampel karang sebelum dan sesudah proses pencucian.....	31
3. Data hasil pencacahan pada waktu optimum sampel I dan sampel II diwaktu 120 menit dan 180 menit dengan 10 kali pengulangan.....	36
4. Data hasil pencacahan <i>background</i> pada waktu pencacahan 90 menit dengan 10 kali pengulangan.....	38
5. Data aktivitas spesifik $^{14}\text{C}$ Sampel I dan sampel II.....	39

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Benteng keraton Buton, Kota Baubau, Sulawesi Tenggara .....	8
2. Struktur anatomi karang .....	10
3. Skema produksi, distribusi dan peluruhan radiokarbon .. .....	13
4. Peta lokasi pengambilan sampel di benteng Keraton Buton Kota Baubau Sulawesi Tenggara .....	23
5. Rangkaian alat ekstraksi karbonat .....	25
6. Sampel karang gerbang utama dan gerbang bariya benteng keraon Buton kota Baubau Sulawesi tenggara.....	28
7. Sampel karang setelah pencucian tenggara.....	30
8. Perubahan massa larutan terhadap massa sampel pada proses ekstraksi CO <sub>2</sub> .....	32
9. Grafik nilai DPM sampel karang terhadap waktu pencacahan .....	35
10. Grafik nilai DPM <i>background</i> terhadap waktu pencacahan .....	37

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram alir penelitian .....	45
2. Bagan kerja pencucian sampel .....	46
3. Bagan kerja proses ekstraksi dan absorpsi CO <sub>2</sub> .....	47
4. Bagan kerja penentuan total karbon .....	48
5. Bagan kerja pencacahan sampel karang dengan LSC Hidex 300 SL	49
6. Perhitungan bobot sampel yang hilang saat pencucian ..	50
7. Perhitungan total karbon sampel karang .....	51
8. Data Hasil Pencacahan Sampel I, Sampel II dan sampel karang hidup menggunakan LSC Hidex 300 SL dalam Rentang Waktu Cacahan 5-240 menit.....	53
9. Data Hasil Pencacahan Sampel Karang menggunakan LSC Hidex 300 SL selama 120 menit untuk sampel I, 180 menit untuk sampel II dan 120 menit untuk sampel karang hidup dengan 10 kali pengulangan.....	54
10. Data Hasil Pencacahan <i>Background</i> menggunakan LSC Hidex 300 SL dalam Rentang Waktu Cacahan 5-240 menit .....	55
11. Perhitungan aktivitas spesifik <sup>14</sup> C dalam Sampel Karang Benteng Keraton Buton .....	56
12. Perhitungan umur karang penyusun banteng keraton buton.....	57
13. Perhitungan pembuatan larutan.....	58

14. Dokumentasi .....	60
-----------------------	----

## DAFTAR ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN

CPM	=	Counts per Minute
DPM	=	Disintegrations per minute
LSC	=	Liquid Scintillation Counting
MURI	=	Museum Rekor Dunia Indonesia
PMT	=	Photo Multiplier Tube
TDCR	=	Triple to Double Coincidence Ratio

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sulawesi memiliki berbagai macam objek wisata salah satunya yaitu benteng Keraton Buton yang terletak di kota Baubau, Sulawesi Tenggara. Kota Baubau dikenal sebagai pusat kerajaan Buton pada zaman dahulu, hingga terdapat objek wisata sejarah dan budaya peninggalan kesultanan Buton. Salah satu peninggalan paling besar dan penting adalah benteng Keraton Wolio atau dikenal dengan benteng Keraton Buton. Benteng ini pernah ditetapkan sebagai benteng terluas di dunia oleh Museum Rekor Dunia Indonesia (MURI) dan *Guinness Book of the Record* pada bulan September 2006 dengan luas sekitar 23,375 ha (Astiana, 2019).

Benteng Keraton Buton dibangun sekitar abad ke-16 hingga abad ke-17 oleh masyarakat Buton, pada masa pemerintahan Sultan Buton IV, Sultan La Elangi yang bergelar *Dayanu Ikhsanuddin* (1578-1631 M). Benteng ini kemudian diselesaikan pada masa pemerintahan Sultan Buton VI, Sultan La Buke yang bergelar *Gafur Wadudu* (1632-1645 M). Benteng Keraton Buton terletak di atas bukit, terbuat dari batu gunung dan karang yang direkatkan dengan putih telur yang dicampur dengan pasir dan kapur. Benteng ini panjangnya 2.740 meter dengan tebal 1-2 meter dan ketinggian antara 2-8 meter. Bentuk benteng tidak seperti benteng pada umumnya, akan tetapi mengikuti bentang lahan sehingga

bentuknya menyerupai huruf “Dal” dalam aksara Arab. Pembuatan benteng dilakukan dengan memecahkan batu karang menjadi berukuran kecil. Batu-batu yang telah dipecah disusun secara sederhana, tanpa proses penghalusan sehingga bagian permukaannya terlihat kasar. Karang yang digunakan tersebut diperkirakan berasal dari pulau-pulau di sekitar benteng (Susanti, 2017).

Karang merupakan endapan *massive* kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang diproduksi oleh binatang karang dengan sedikit tambahan dari alga berkapur dan organisme-organisme lain penghasil kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Klasifikasi ilmiah menunjukkan bahwa karang ini termasuk kelompok binatang dan bukan sebagai kelompok tumbuhan. Binatang karang ini masuk ke dalam *phylum Cnidaria*, kelas *Anthozoa*, ordo *Scleractinia*. Binatang karang yang berukuran sangat kecil disebut polip, yang dalam jumlah ribuan membentuk koloni dan dikenal sebagai karang (karang batu atau karang lunak). Binatang karang ini dalam hidupnya bersimbiosis dengan alga *Zooxanthellae* yang hidup di jaringan-jaringan polip karang tersebut, serta melakukan fotosintesis. Hasil samping dari aktivitas fotosintesis ini adalah endapan kapur kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang membentuk struktur dan bangunan yang khas (Amin, 2009).

Karang mengandung  $^{14}\text{C}$  yang terserap bersama dengan karbon dioksida dari perairan. Karbon-14 di atmosfer berasal dari radiasi kosmik pada nitrogen dan pengujian nuklir. Radiokarbon ini dikombinasikan dengan oksigen yang kemudian membentuk karbon radioaktif dalam bentuk  $^{14}\text{CO}_2$  yang tercampur di

atmosfer dan bergabung ke dalam biosfer (mula-mula melalui fotosintesis) dan dipertukarkan dengan hidrosfer menghasilkan radiokarbon yang berkeselimbangan ( $^{14}\text{C}$  yang meluruh akan seimbang dengan  $^{14}\text{C}$  yang terbentuk). Pada proses fotosintesis tanaman akan menyerap  $^{14}\text{CO}_2$ , begitu pula pada karang yang bersimbiosis dengan *zooxanthellae* yang mengandung  $^{14}\text{CO}_2$  sehingga karang pun mengandung  $^{14}\text{C}$ . Jumlah  $^{14}\text{C}$  dalam tubuh karang selalu tetap karena selain terjadi pemasukan juga terjadi pengeluaran maupun peluruhan secara kontinyu. Namun setelah karang tersebut mati, proses metabolik terhenti, dilain pihak karena  $^{14}\text{C}$  tersebut bersifat radioaktif, maka radionuklida tersebut akan melakukan peluruhan sehingga jumlahnya terus berkurang secara eksponensial oleh waktu (Thamrin, 2017).

Peluruhan radiokarbon dalam makhluk hidup diawali pada saat makhluk hidup itu mati, jasad makhluk hidup tersebut tidak lagi menyerap radiokarbon dan radiokarbon yang dikandungnya terus-menerus meluruh. Setelah 5.730 tahun (waktu paruh  $^{14}\text{C}$ ), benda itu hanya memiliki setengah jumlah radiokarbon relatif terhadap kandungan karbon total seperti yang dikandungnya ketika berada dalam keadaan hidup. Dengan menentukan perbandingan radiokarbon terhadap karbon biasa, kita dapat menentukan umur benda purba dan jasad benda yang berasal dari benda organik. Metode ini memungkinkan penentuan umur mumi, kayu, kulit, batubara, karang dan benda-benda lain dari kebudayaan purba yang umurnya sampai 50.000 tahun, sekitar sembilan kali umur paruh  $^{14}\text{C}$  (Suci dkk., 2013).

Penentuan umur dengan metode penanggalan radiokarbon didasarkan pada perhitungan aktivitas  $^{14}\text{C}$  yang masih terkandung dalam suatu sampel karbon. Nilai aktivitas ini kemudian dikonversikan menjadi umur setelah dibandingkan dengan standar acuan modern (Libby, 1960). Aktivitas spesifik  $^{14}\text{C}$  sangat rendah, oleh karena itu, untuk keperluan pencacahan radiasi yang dipancarkan oleh  $^{14}\text{C}$  memerlukan pencacah khusus dengan radiasi latar yang sangat rendah (*low background counter*) sehingga akan diperoleh hasil dengan ketelitian yang tinggi. Pencacah yang memiliki kemampuan tersebut yakni LSC dengan efisiensi pencacahan sekitar 99,99%. Hal tersebut disebabkan oleh pencacah sintilasi cair dilengkapi dengan detektor yang peka terhadap radiasi dan sampel radioaktif yang akan diukur, sehingga mendapatkan ketelitian yang tinggi dalam menginterpretasi data hasil cacahan. Metode ini sederhana, aman, dan hasil secara signifikan mengurangi waktu analisis dan biaya (Yusuf, 2014).

Metode penentuan umur penerapan radioakrbon ini telah banyak dilakukan dalam beberapa penelitian. Seperti Jauhari dan Maming (2014), yang telah melakukan penelitian mengenai penentuan umur terumbu karang di Kepulauan Spermonde melalui pengukuran aktivitas  $^{14}\text{C}$  menggunakan LSC. Berdasarkan latar belakang di atas maka akan dilakukan penelitian mengenai penentuan umur karang penyusun benteng Keraton Buton berdasarkan aktivitas  $^{14}\text{C}$  menggunakan metode LSC (*Liquid Scintillation Counting*).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. berapa aktivitas radionuklida  $^{14}\text{C}$  dalam sampel karang penyusun benteng Keraton Buton?
2. berapa umur karang penyusun benteng Keraton Buton berdasarkan aktivitas  $^{14}\text{C}$  yang ditentukan dengan menggunakan alat pencacah LSC Hidex 300 SL?
3. apakah ada hubungan korelasi umur karang penyusun benteng Keraton Buton berdasarkan aktivitas  $^{14}\text{C}$  dengan umur benteng Keraton Buton berdasarkan sejarah?

## **1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

### **1.3.1 Maksud Penelitian**

Maksud dari penelitian ini adalah menganalisis aktivitas radionuklida  $^{14}\text{C}$  karang penyusun benteng Keraton Buton serta penentuan umur karang penyusun benteng Keraton Buton menggunakan alat pencacah LSC Hidex 300 SL.

### **1.3.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. menentukan aktivitas radionuklida  $^{14}\text{C}$  pada sampel karang penyusun benteng Keraton Buton
2. menentukan umur karang penyusun benteng Keraton Buton berdasarkan aktivitas  $^{14}\text{C}$  karang penyusunnya yang ditentukan dengan menggunakan alat pencacah LSC Hidex 300 SL.

3. menganalisis hubungan antara umur karang penyusun benteng Keraton Buton berdasarkan aktivitas  $^{14}\text{C}$  dengan umur benteng Keraton Buton berdasarkan sejarah.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai analisis aktivitas radionuklida  $^{14}\text{C}$  pada karang penyusun benteng Keraton Buton dan aplikasinya dalam menentukan umur benteng Keraton Buton menggunakan alat pencacah LSC Hidex 300 SL.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Benteng Keraton Buton**

Benteng Keraton Buton atau dikenal juga benteng Keraton Wolio merupakan salah satu dari 100 lebih benteng peninggalan Kesultanan Buton. Pembangunan benteng ini tidak lepas dari kebijakan Sultan ke-IV La Elangi (1578-1615) sewaktu memerintah. Sultan La Elangi membuat Undang-Undang Dasar Kesultanan yang disebut dengan kitab Martabat Tujuh. Undang-undang tersebut menyebutkan tentang pembangunan benteng beserta hak penduduk dengan tanah yang berada di dalam benteng tersebut. Tidak ditemukan informasi terhadap pendirian pada setiap benteng, namun jejak benteng di seluruh wilayah Kesultanan Buton terhitung cukup banyak sehingga ada yang mengistilahkannya dengan negeri 100 (seratus) benteng (Malim dkk., 2019).

Benteng Keraton Buton berada di atas bukit dan secara administratif terletak di jalan Sultan Labuke, Kelurahan Melai, Kecamatan Murhum, Kota Baubau. Penampakan benteng Keraton Buton dapat dilihat pada Gambar 1. Keraton Buton yang terletak  $5,21^{\circ}$  -  $5,30^{\circ}$  LS dan  $122,30^{\circ}$  -  $122,45^{\circ}$  BT merupakan area bekas ibukota kesultanan Buton. Benteng Keraton Buton telah diinventarisasi oleh kantor Balai Pelestarian Peninggalan Purbakala Makassar dengan nomor 459 dan telah ditetapkan sebagai cagar budaya dengan nomor: KM.8/PW.007/MKP-03, tanggal 4 Maret 2003, oleh Menteri Kebudayaan dan Pariwisata. Benteng tersebut terbuat dari batu karang yang disusun dengan menggunakan spesi yang terbuat dari batu kapur yang dihaluskan sebagai bahan

perekat. Ukuran panjangnya 2.740 meter dengan ketebalan antara 1-2 meter dengan ketinggian antara 2-8 meter. Tata letak benteng mengikuti bentang lahan sehingga bentuknya menyerupai huruf “Dal” dalam aksara Arab (Susanti, 2017).



**Gambar 1.** Benteng Keraton Buton, Kota Baubau, Sulawesi Tenggara (Sumber : Susanti, 2017)

Benteng keraton Buton berada di bawah naungan Balai Pelestarian Cagar Budaya Sulawesi Selatan atau yang disingkat BPCB Sul-Sel. BPCB Sul-Sel merupakan unit pelaksanaan teknis kementerian pendidikan dan kebudayaan di bidang pelestarian cagar budaya yang diperuntukan untuk melaksanakan perlindungan, pengembangan dan pemanfaatan cagar budaya. Balai Pelestarian Cagar Budaya Sulawesi Selatan menaungi cagar budaya yang terdapat di pulau Sulawesi. Kota Baubau memiliki 12 cagar budaya yang 7 diantaranya adalah benteng yang merupakan salah satu cagar budaya yang cukup menarik banyak wisatawan dalam negeri maupun luar negeri (Manarfa, 2021).

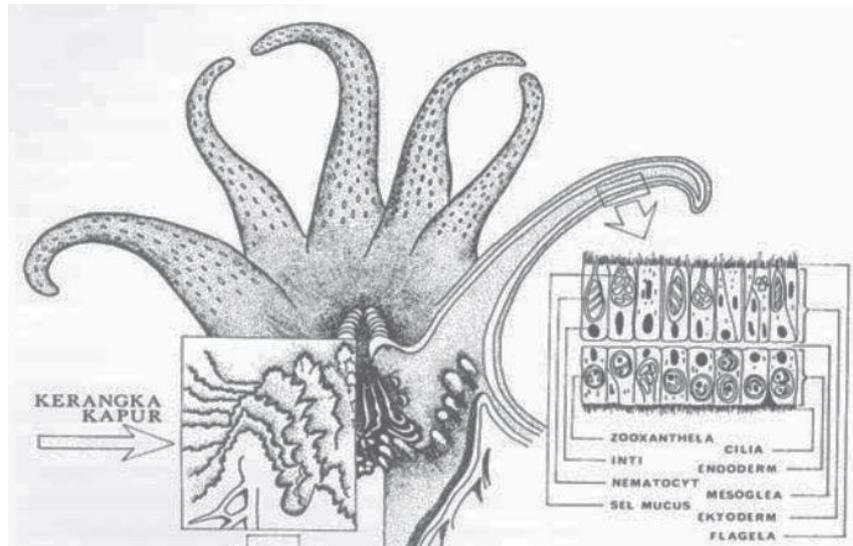
## **2.2 Karang**

Binatang karang terlihat seperti tanaman, padahal sebenarnya karang merupakan sekumpulan hewan-hewan kecil yang bernama polip. Karang adalah

hewan tak bertulang belakang yang termasuk dalam Filum *Coelenterata* (hewan berrongga) atau *Cnidaria* (Zurba, 2019). Sebagian besar karang adalah binatang-binatang kecil (disebut polip) penghasil bahan kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) yang memiliki kerangka luar yang disebut koralit dan membentuk terumbu. Karang mendapatkan makanannya melalui dua cara, pertama dengan menggunakan tentakel mereka untuk menangkap plankton dan kedua, melalui alga kecil (disebut *zooxanthellae*) yang hidup di jaringan karang. Biasanya alga ditemukan dalam jumlah besar dalam setiap polip, hidup bersimbiosis dan memberikan warna pada polip. *Zooxanthellae* menerima nutrisi-nutrisi penting dari karang dan memberikan sebanyak 95% dari hasil fotosintesisnya (energi dan nutrisi) kepada karang. Dalam karang pembentuk terumbu, kombinasi fotosintesis dari alga dan proses fisiologis lainnya dalam karang membentuk kerangka batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) (Westmacott, 2000).

Koloni karang adalah kumpulan dari berjuta-juta polip penghasil bahan kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) yang memiliki kerangka luar yang disebut koralit. Polip merupakan binatang kecil yang menyerupai karang. Makanan polip adalah plankton yang terbawa arus laut. Polip menyerap kalsium karbonat dari air laut dan mengeluarkannya dalam bentuk struktur kapur yang keras untuk melindungi tubuhnya yang lunak. Rangka luar terdiri dari kristal  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan oleh epidermis pada setengah batang tubuh ke bawah dan telapak kaki. Proses sekresi  $\text{CaCO}_3$  menghasilkan rangka kapur berbentuk seperti mangkuk; polip tertanam di

atasnya, dan tidak dapat berpindah tempat. Struktur anatomi karang dapat dilihat pada Gambar 2 (Zurba, 2019).



**Gambar 2.** Struktur anatomi karang (Suharsono, 2008)

Adanya proses fotosintesis oleh alga menyebabkan bertambahnya produksi kalsium karbonat dengan menghilangkan karbon dioksida. Fotosintesis oleh alga yang bersimbiosis membuat karang pembentuk terumbu menghasilkan deposit cangkang yang terbuat dari kalsium karbonat, kira-kira 10 kali lebih cepat dari pada karang yang tidak membentuk terumbu dan tidak bersimbiosis dengan *Zooxanthellae* (Zurba, 2019).

Karang pembentuk terumbu adalah hewan walaupun menimbulkan keraguan karena pada umumnya seperti bebatuan, terutama yang telah mati dan meninggalkan skeleton di berbagai daerah pantai. Pada kenyataannya tubuh karang sebagian besar terdiri dari zat kapur mengingat hanya bagian luar hewan karang yang hidup. Karang pembentuk terumbu atau karang batu (*scleratinia*) terdiri dari beragam bentuk yang memiliki ciri-ciri adakalanya hampir tidak dapat

dibedakan dari bentuk sampai yang sama sekali berbeda diantara jenis satu dengan yang lainnya (Thamrin, 2017).

Terumbu karang merupakan ekosistem tertua di bumi. Terumbu karang masif modern atau fosil yang terbentuk dari endapan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dapat tumbuh dari skala millimeter hingga centimeter per tahun. Selama dalam proses pertumbuhan akan terbentuk lingkaran tahunan (*annual band*) yang merupakan kerangka (*skeleton*) terumbu karang yang dapat digunakan untuk kronologi yang disebut dengan skelokronologi. Selanjutnya, selama proses pembentukan kerangka karang tersebut juga terjadi inkorporasi isotop dan unsur-unsur yang mencerminkan kondisi lingkungan dalam air laut sekitar seperti suhu permukaan laut, kesetimbangan hidrologi (evaporasi dan presipitasi) dan sirkulasi laut. Terumbu karang mengandung unsur radioaktif yang dapat diukur dengan isotop karbon, yaitu  $^{14}\text{C}$ . Unsur  $^{14}\text{C}$  memancarkan partikel beta ( $\beta$ ) dan akan meluruh setengahnya dalam 5.730 tahun menjadi stabil  $^{14}\text{N}$ . Unsur  $^{14}\text{C}$  bertahan dalam material seperti pohon dan karang yang berumur ribuan tahun (Amri dkk., 2019).

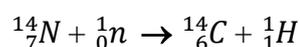
### **2.3 Radiokarbon**

Tumbuh-tumbuhan hijau melalui proses fotosintesis menyerap udara yang mengandung campuran isotop karbon, sedangkan pada organisme campuran isotop karbon diserap melalui rangkaian makanannya. Pada dasarnya penentuan umur suatu fosil makhluk hidup dengan menggunakan radiokarbon ini didasari pada perbandingan isotop karbon yang ada dalam organisme dengan perbandingan isotop karbon yang ada di atmosfer. Pada saat organisme tersebut mati proses

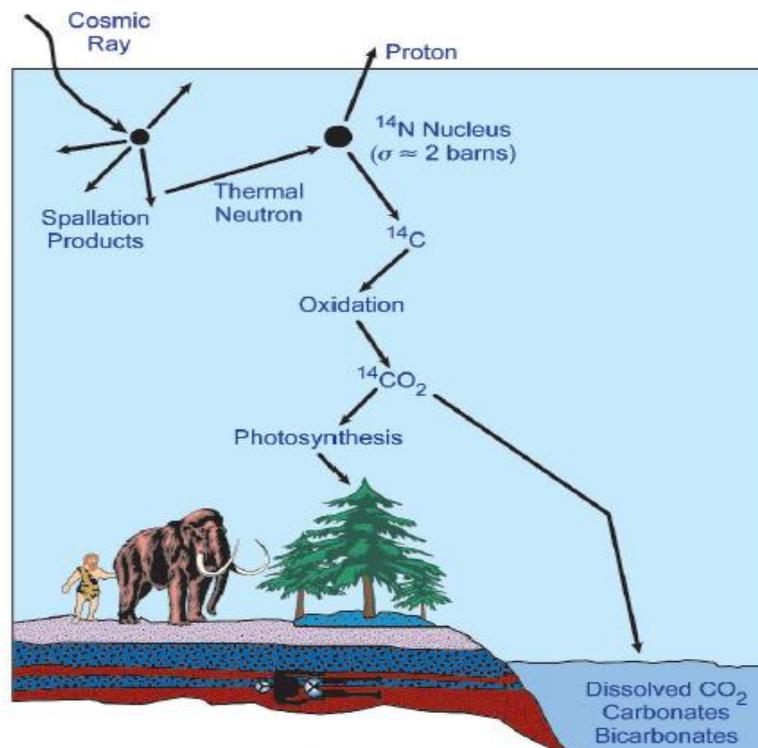
pertukaran karbon pun akan berakhir dengan sendirinya, sehingga  $^{14}\text{C}$  akan mengalami pengurangan seiring dengan berjalannya waktu. Dengan membandingkan antara derajat radioaktivitas dalam organisme yang telah mati dengan yang ada dalam organisme yang masih hidup maka dapat ditentukan berapa lama umur organisme tersebut dengan melihat waktu peluruhan radio karbonnya (Faure, 1986).

Setiap makhluk hidup yang mengandung karbon selalu berada dalam kesetimbangan dengan  $^{14}\text{C}$  di atmosfer. Artinya proporsi  $^{14}\text{C}$  terhadap karbon udara relatif tidak berubah semenjak zaman purba, sehingga sisa aktivitas radioaktif suatu sampel yang mengandung karbon berkorelasi dengan umur sejak sampel tersebut tidak menunjukkan aktivitas kehidupan, yang dihitung berdasarkan pemakaian angka waktu paruh peluruhan  $^{14}\text{C}$ . Namun, ketika tanaman atau binatang mati dan proses metabolik terhenti, jumlah  $^{14}\text{C}$  mulai mengalami peluruhan beta membentuk  $^{14}\text{N}$  yang diukur sebagai waktu paruh  $^{14}\text{C}$  (Siregar dan Yudhicara, 2017).

Beiser (1987) dalam Suci dkk (2013) mengemukakan bahwa radiokarbon adalah unsur radioaktif yang terbentuk akibat adanya interaksi antara sinar kosmik dengan gas nitrogen di atmosfer. Sinar kosmik sebagian besar terdiri dari proton berenergi, hasil reaksinya dengan gas di atmosfer dapat menghasilkan bermacam-macam fragmen inti seperti neutron. Neutron ini yang bereaksi dengan terhadap inti nitrogen dengan pembentukan radiokarbon dengan memancarkan proton. Kemudian nomor atom turun menjadi 6 dan terbentuk unsur baru yaitu  $^{14}\text{C}$ .



Unsur  $^{14}\text{C}$  yang dihasilkan dari radiasi kosmik dapat jatuh ke bumi bersama-sama dengan angin, hujan maupun salju, kemudian apabila masuk ke atmosfer bumi akan teroksidasi membentuk  $^{14}\text{CO}_2$  kemudian bercampur dengan  $\text{CO}_2$  di atmosfer yang tidak aktif dan memasuki biosfer dan hidrosfer. Selanjutnya  $\text{CO}_2$  memasuki jaringan tanaman melalui proses fotosintesis. Skema produksi  $^{14}\text{C}$  dapat dilihat pada Gambar 3. Biasanya  $^{14}\text{C}$  terdapat pada semua zat organik hidup seperti terdapat pada cangkang karbonat laut, berbentuk kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) contohnya terumbu karang (Salahuddin dkk., 2017).



**Gambar 3.** Skema Produksi, distribusi dan peluruhan radiokarbon (Currie, 2004)

## 2.4 Penanggalan Radiokarbon

Penentuan umur absolut batuan, fosil, sedimen atau artefak memegang peranan penting dalam banyak disiplin ilmu seperti kimia, geologi, fisika, atmosfer, arkeologi dan lain-lain. Umur absolut ini dapat diperoleh dari beberapa

metode tertentu salah satunya yaitu menggunakan metode isotop radiokarbon  $^{14}\text{C}$  dari material organik dengan kisaran umur 0-50.000 tahun (Terasmae, 1984). Unsur K-Ar untuk sampel batuan beku vulkanik yang masih segar, kosmogenik, peluruhan uranium-helium untuk fosil yang mengandung aragonite, peluruhan uranium-thorium untuk sedimen laut, tulang, kayu, koral, batu dengan rentang waktu paruh hingga 75.830 tahun, metode Pb-210 mempunyai kisaran umur 160-200 tahun dan lain-lain. Penentuan umur dengan metode karbon radioaktif ini pertama kali dikembangkan oleh Willard F. Libby yang berkerjasama dengan James Arnold dan Ernest C. Anderson pada tahun 1940 di *Institute for Nuclear Studie*, Universitas California. Metode karbon radioaktif atau dikenal dengan penanggalan radiokarbon (*radiocarbon dating*) adalah metode yang digunakan dalam penentuan umur temuan benda kuno dalam bidang arkeologi (Siregar dan Dewi, 2014).

Jumlah radionuklida kosmogenik  $^{14}\text{C}$  dalam tubuh makhluk hidup selalu tetap karena selain terjadi pemasukkan juga terjadi pengeluaran maupun peluruhan secara kontinyu. Namun, setelah makhluk hidup tersebut mati, pemasukkan akan  $^{14}\text{C}$  di dalam tubuhnya tidak terjadi lagi. Dilain pihak karena  $^{14}\text{C}$  tersebut bersifat radioaktif, maka radionuklida tersebut akan melakukan peluruhan sehingga jumlahnya terus berkurang secara eksponensial oleh waktu (Yuliati dan Akhadi, 2005).

Metode penanggalan radiokarbon adalah metode yang digunakan untuk mengetahui usia berbagai benda yang didasarkan pada hasil perhitungan aktivitas

$^{14}\text{C}$  yang terkandung dalam benda tersebut atau didasarkan pada perbandingan banyaknya isotop radioaktif  $^{14}\text{C}$  yang ada pada benda tersebut dengan sebuah sumber standar yang telah diketahui jumlah isotop radioaktifnya. Metode penanggalan radioaktif ini bisa digunakan untuk mengukur umur semua benda selama benda tersebut memiliki  $^{14}\text{C}$  di dalamnya, baik benda organik maupun anorganik. Makhluk hidup yang telah mati, jasadnya tidak lagi menyerap radiokarbon dan radiokarbon yang dikandungnya terus-menerus meluruh. Setelah 5730 tahun (waktu paruh  $^{14}\text{C}$ ), benda itu hanya memiliki setengah jumlah radiokarbon relatif terhadap kandungan karbon total seperti yang dikandungnya ketika berada dalam keadaan hidup. Dengan menentukan perbandingan radiokarbon terhadap karbon biasa, kita dapat menentukan umur benda purba dan jasad benda yang berasal dari benda organik. Metode yang baik ini memungkinkan penentuan umur mumi, kayu, kulit, batubara, dan benda-benda lain dari kebudayaan purba yang umurnya sampai 50.000 tahun, sekitar sembilan kali umur paruh karbon-14 (Suci dkk., 2013).

Proses peluruhan  $^{14}\text{C}$  berlangsung melalui pemancaran partikel  $\beta$  membentuk isotop  $^{14}\text{N}$  yang stabil. Supaya kandungan  $^{14}\text{C}$  dapat diukur, karbon dalam sampel suatu organisme yang mati setelah selang waktu  $t$  biasanya dikonversi menjadi gas seperti karbondioksida yang kemudian dimasukkan dalam detektor yang peka terhadap sinar beta. Setiap pengukuran sampel tergantung pada kepekaan detektor terhadap sinar kosmik di atmosfer. Menurut Hidayat (2008), jika aktivitas suatu massa karbon dari sebuah makhluk hidup yang

sekarang masih hidup adalah  $A_0$  dan aktivitas massa karbon dari sampel yang akan ditentukan umurnya adalah  $A_t$ , maka umur sampel tersebut adalah :

$$t = \frac{t^{1/2}}{0,693} \ln \frac{A_0}{A_t} \quad (1)$$

Keterangan :

$t$  = Umur Sampel

$t_{1/2}$  = Waktu paruh radiokarbon

$A_t$  = Aktivitas isotop  $^{14}\text{C}$  yang diukur dalam satuan peluruhan per menit, per gram karbon

$A_0$  = Aktivitas isotop  $^{14}\text{C}$  pada bahan yang sama saat tanaman atau hewan tersebut hidup.

## 2.5 Radioaktivitas

Radioaktivitas adalah emisi radiasi yang berasal dari reaksi nuklir sebagai akibat dari peluruhan spontan inti atom yang tidak stabil. Peluruhan radioaktif dengan hilangnya energi oleh emisi partikel atau radiasi elektromagnetik dari sebuah atom karena perubahan di dalam intinya. Bentuk dari radiasi emisi radioaktif termasuk partikel alfa ( $\alpha$ ), partikel beta ( $\beta$ ) dan sinar gamma ( $\gamma$ ). Partikel  $\alpha$  adalah yang paling ringan, paling massif dari produk peluruhan ini. Partikel  $\alpha$  mengandung dua proton dan dua neutron dan dengan demikian terdiri atas inti helium yang stabil. Partikel  $\beta$  adalah elektron berenergi tinggi. Ini dihasilkan selama konversi neutron menjadi proton di nukleus. Partikel  $\beta$  dipancarkan bersama dengan neutrino. Sinar gamma berbeda dari emisi  $\alpha$  dan  $\beta$ . sinar gamma bersifat radiasi elektromagnetik (Firman dkk., 2018).

Terdapat lima jenis peluruhan radiokatif yaitu peluruhan gama, peluruhan alfa, peluruhan beta, penangkapan elektron dan pemancaran positron. Pada

Tabel 1 disajikan kelima jenis peluruhan tersebut yang meliputi transformasi nuklir beserta contohnya pada nuklida (Wiyatmo, 2006).

**Tabel 1.** Jenis Peluruhan Radioaktif (Wiyatmo, 2006).

Peluruhan	Transformasi	Contoh
Peluruhan Alfa	${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$	${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^4_2He$
Peluruhan Beta	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + e^-$	${}^{14}_6C \rightarrow {}^{14}_7N + e^-$
Emisi Positron	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + e^+$	${}^{64}_{29}Cu \rightarrow {}^{64}_{28}Ni + e^+$
Penangkap Elektron	${}^A_ZX + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1}Y$	${}^{64}_{29}Cu + e^- \rightarrow {}^{64}_{28}Ni$
Peluruhan Gamma	${}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZX + \gamma$	${}^{87}_{38}Sr^* \rightarrow {}^{87}_{38}Sr + \gamma$

Catatan: \* Menunjukkan keadaan nuklir tereksitasi dan  $\gamma$  menyatakan foton sinar gamma.

### 2.5.1 Laju Peluruhan Radioaktif

Proses peluruhan mengikuti hukum laju reaksi orde satu, yaitu bahwa kecepatan peluruhan hanya bergantung pada jumlah inti radioaktif dalam sampel. Persamaan kecepatan peluruhan radioaktif dapat dilihat pada Persamaan 2 dan Persamaan 3 :

$$-dN / dt = \lambda N \quad (2)$$

$$dN / N = -\lambda dt \quad (3)$$

Keterangan :

$-dN / dt$  = kecepatan disintegrasi inti radioaktif

$\lambda$  = tetapan peluruhan

$N$  = jumlah inti radioaktif

Tetapi dalam eksperimen merunut radioaktif, yang ingin diketahui adalah kecepatan cacah suatu aktivitas sampel (A). Aktivitas sampel didefinisikan sebagai cacah yang sama dengan kecepatan disintegrasi dikalikan efisiensi

pengukuran. Persamaan kecepatan cacah suatu aktivitas sampel dapat dilihat pada Persamaan 4 :

$$A = C \frac{dA}{dt} = C\lambda A \quad (4)$$

Dengan cara yang sama pada N akan diperoleh  $A = A_0 e^{-\lambda t}$ . Persamaan A inilah yang mengatur hubungan antar jumlah inti yang ada dengan yang dapat diamati oleh detektor sebagai fungsi waktu (Agusalim, 2004).

### 2.5.2 Hukum Radioaktivitas

Hasil eksperimen membuktikan bahwa peluruhan radioaktif berjalan secara eksponensial dan menunjukkan bahwa peluruhan adalah peristiwa statistik. Sifat statistik ini menyebabkan atom mana yang akan meluruh pada detik berikutnya tidak dapat dipastikan karena hanya merupakan kebolehjadian. Kebolehjadian setiap atom untuk meluruh dalam setiap detik mempunyai simbol  $\lambda$ . Jika suatu jenis radioaktif pada saat permulaan terdiri atas atom mula-mula ( $N_0$ ) buah atom maka jumlah inti atom yang akan meluruh persatuan waktu dapat dilihat pada Persamaan 5.

$$dN = -\lambda dt N_0 \quad (5)$$

tanda negatif menyatakan bahwa jumlah atom mula-mula berkurang karena meluruh menjadi atom lain dengan kecepatan  $dN/dt$ , dan  $\lambda$  tetapan peluruhan.

Dengan mengintegrasikan Persamaan 5 diperoleh Persamaan 6:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (6)$$

dalam Persamaan (6),  $N(t)$  = jumlah atom radioaktif pada waktu  $t$ ,  $N_0$  = jumlah atom mula-mula (Setiawan, 2010).

### 2.5.3 Beberapa Besaran Radioaktivitas

#### 1. Aktivitas

Aktivitas didefinisikan sebagai jumlah peluruhan radioaktif per detik

$$\text{Aktivitas} = \frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (7)$$

#### 2. Waktu paruh ( $t_{1/2}$ )

Waktu paruh adalah interval waktu, selama mana aktivitas radioaktif berkurang dengan separuhnya.

$$N = N_0/2; t = t_{1/2} \quad (8)$$

Jika Persamaan 7 disubstitusikan dalam Persamaan 8, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$N_0/2 = N_0 e^{-\lambda t} \quad (9)$$

$$t_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda \quad (10)$$

#### 3. Umur rata-rata (*Average Life*)

Waktu rata-rata disintegrasi suatu atom yang mempunyai nomor massa ( $Z$ ) besar yang diperlukan sejak permulaan kehidupan isotop sampai tidak terhitung.

#### 4. Aktivitas Relatif

Aktivitas relatif adalah aktivitas radioaktif yang diperoleh dari hasil pengukuran instrumen dengan satuan DPM (disintegrasi per menit) atau CPM (cacahan per menit).

#### 5. Aktivitas Spesifik

Aktivitas spesifik adalah aktivitas radioaktif per satuan massa.

## 2.6 LSC (*Liquid Scintillation Counting*)

Metode LSC pertama kali dikenalkan oleh Hayes pada tahun 1953. Metode ini merupakan suatu metode yang digunakan dalam pengukuran radioaktivitas energi rendah, seperti  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$ . Pada prinsipnya LSC terdiri dari komponen dasar yang berupa tabung pengganda foton atau *photomultiplier tube* (PMT), penguat (*amplifier*), pemisah (*discriminator*), dan pencacah (*counter*) pulsa listrik. Permukaan PMT dibuat dari bahan yang sensitif terhadap cahaya dan bersifat dapat mengubah energi foton yang terserap menjadi energi listrik melalui pelepasan elektron. Di dalam PMT terdapat beberapa dinode yang berurutan dan diberi beda potensial yang satu lebih tinggi dari yang lainnya, sehingga elektron yang terlepas akan ditarik oleh elektroda dalam dinode dan menghasilkan elektron yang lebih banyak yang disebut elektron sekunder. Elektron sekunder ini akan jatuh ke dinode berikutnya dan terjadi proses yang sama sehingga jumlah elektron akan berlipat ganda (Tjahaja dan Mutia, 2000).

Keuntungan utama LSC adalah efisiensi penghitungan tinggi (hingga 99,9%), relatif sederhana prosedur untuk persiapan target, dan fitur yang akan diperoleh spektrum beta sampel. Teknik pengukuran ini masih merupakan metode radiometrik utama dalam penentuan beta yang memancarkan radionuklida, terutama yang beremisi rendah partikel beta energi dan membusuk dengan penangkapan elektron, dan masih merupakan metode kompetitif dibandingkan dengan spektrometri massa untuk radionuklida berumur pendek ( $t_{1/2} < 100$  tahun). Kemajuan besar pada instrumentasi LSC di dekade terakhir adalah komersialisasi *triple-to-double coincidence ratio* (TDCR) teknik LSC, yang membuat teknik ini menjadi metode pengukuran radionuklida pemancar beta. Metode LSC berbasis

TDCR telah dilaporkan sekitar tahun 1980. TDCR LSC (Hidex 300 SL) diperkenalkan oleh Hidex Oy pada tahun 2008. Instrumen Hidex 300 SL juga telah diselidiki dan bekerja dengan baik untuk mengukur aktivitas  $^{14}\text{C}$  dalam standar pendinginan dengan tingkat aktivitas yang tinggi (Hou, 2018).

Prinsip pada metode analisis LSC adalah dengan mengukur jumlah cahaya yang di emisikan dari larutan scintillator akibat berinteraksi dengan partikel radiasi beta. Interaksi dari peluruhan partikel beta dengan koktail akan mengemisikan photon cahaya pada panjang gelombang sekitar 375-430 nm untuk setiap peluruhan. Photon cahaya kemudian akan ditangkap detektor tabung Photomultiplier untuk digandakan menjadi aliran elektron dan diubah menjadi sinyal elektronik amplifier. Analisis menggunakan LSC memungkinkan untuk mendeteksi dan menentukan jumlah dari radiasi  $\alpha$  dan  $\beta$  yang dipancarkan dari radionuklida. Dalam sistem pengukuran menggunakan LSC tidak terjadi penyerapan radiasi oleh medium sampel itu sendiri karena sampel dilarutkan secara homogen dalam campuran yang terdiri dari pelarut dengan sintilator cair. Dengan sistem yang homogen tersebut memungkinkan sample radionuklida dapat berinteraksi secara langsung dengan sintilator cair (L'Annunziata, 2012).