

Skripsi

**PENENTUAN UMUR KARANG DI SEKITAR BENTENG KERATON
BUTON MELALUI PENGUKURAN AKTIVITAS ^{14}C DENGAN METODE
LSC (*LIQUID SCINTILATION COUNTING*)**

**SITTI SYARA RAMADANI
H031181023**



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

**PENENTUAN UMUR KARANG DI SEKITAR BENTENG KERATON
BUTON MELALUI PENGUKURAN AKTIVITAS ^{14}C DENGAN METODE
LSC (*LIQUID SCINTILATION 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:

**SITTI SYARA RAMADANI
H031181023**



**MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENENTUAN UMUR KARANG DI SEKITAR BENTENG KERATON BUTON
MELALUI PENGUKURAN AKTIVITAS ^{14}C DENGAN METODE LSC (*LIQUID
SCINTILLATION COUNTING*)**

Disusun dan diajukan oleh :

SITTI SYARA RAMADANI

H031181023

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Sidang Sarjana Program Studi Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin


Pada 29 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



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangandi bawah ini:

Nama : Sitti Syara Ramadani

Nomor Mahasiswa : H031181023

Program Studi : Kimia

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi yang berjudul **Penentuan Umur Karang Du Sekitar Benteng Keraton Buton Melalui Pengukuran Aktivitas ^{14}C Dengan Metode LSC (Liquid Scintillation Counting)** adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, penulis bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 30 November 2022

mervatakan

Sitti Syara Ramadani

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim.....

Segala puji hanya bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam, Tuhan yang Maha Esa, karena atas berkat, rahmat, taufik dan hidayah-Nya yang tiada terkira besarnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Penelitian dengan judul **“Penentuan Umur karang di sekitar Benteng Keraton Buton melalui pengukuran Aktivitas ^{14}C dengan Metode LSC (Liquid Scintillation Counting)”** sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Limpahan hormat dan bakti serta doa yang tulus penulis persembahkan kepada Ayahanda tercinta **Muntara** dan Ibunda **Almh. Rabiati** yang telah mengasuh dan membimbing penulis dengan segenap doa dan kasih sayangnya yang tulus senantiasa mengiringi perjalanan dalam menuntun ilmu.

Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari berbagai kendala dan hambatan, namun ini merupakan sebuah proses yang harus dilewati penulis. Untuk itu, penulis menghaturkan banyak terima kasih kepada:

- Ayahanda **Dr. Maming, M.Si** selaku pembimbing utama dan ayahanda **Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si** selaku pembimbing pertama yang dengan penuh kesabaran telah mengarahkan penulis sejak awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan skripsi.
- Tim dosen penguji ujian sarjana kimia, yaitu Bapak **Dr. Maming, M.Si** (ketua), Bapak **Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si** (Sekretaris), Ibu **Prof. Dr. Nunuk Hariani Soekanto, MS** (anggota) Ibu **Dr. Nur Umriani Permatasari, S.Si, M.Si** (anggota) serta Ibu **Dr. Rugaiyah A. Arfah,**

M.Si dan Bapak **Dr. Syahrudin Kasim, S.Si, M.Si** (koord. seminar) yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan masukan yang berharga kepada penulis.

- Ketua Departemen Kimia FMIPA Unhas ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** dan Sekretaris Departemen Kimia FMIPA Unhas ibu **Dr. Nur Umriani Permatasari, M.Si** beserta seluruh dosen dan staf Departemen Kimia yang telah membantu penulis dalam perjalanan selama menempuh pendidikan di Departemen Kimia FMIPA Unhas.
- Seluruh Analis Laboratorium Kimia Departemen Kimia FMIPA Unhas, **Pak Iqbal, Pak Sugeng, Ibu Tini, Ibu Anti, Kak Linda, Kak Fiby dan Kak Hannah**. Terkhusus **Kak Tenri** selaku analis laboratorium Radiasi terima kasih atas bantuan dan bimbingan yang diberikan selama proses penelitian.
- Rekan-rekan peneliti di Laboratorium Kimia Radiasi **kak Wandu, kak Beska, chand, ibas**, dan teman panel saya **Zulfa** yang paling sabar dan terkece sedunia serta adik-adik yang lain.
- **Kak Ica, kak Tenri, dan Kak Wandu** yang selama ini menjadi tempat penulis untuk bertanya segala hal mengenai penelitian.
- Tim sampling Bau-bau **Kak tenri, Kak Aund, Chan dan Zulfa** yang telah banyak membantu penulis selama melakukan sampling di Kota Bau-bau.
- Kakak-kakakku yang tersayang **Muhammad Rizal Hardiansyah** dan **Muhammad Arfan hardiansyah**. Terima kasih selama ini atas dukungan moril dan finansialnya. Serta keponakan ku yang paling imut dan lucu

Hana, Ara, dan Raiqa, dan adik-adikku Ridwan, Nur, Rahman dan Akbar.

- Saudara-saudariku **Kimia 2018** dan **HIBRIDISASI “LOYALITAS TANPA BATAS”** Terima kasih atas waktu dan suka duka dalam menjalani kehidupan kampus.
- Saudara-saudariku **“PENGURUS HMK FMIPA UNHAS Periode 2020/2021”** Terkhusus **Ketang Chan, Ibas, Zul, Anty, Ririn, Oee, Rindu, Marlin, Hira, Rara, Cila, Ewink, Mogu, Mulka, Esri, Depa, Maya, Viny** Terima kasih atas waktunya selama menjalani proses dinamika lembaga dan memberikan banyak pengalaman dan kesan kepada penulis
- Seluruh warga dan alumni **KMK FMIPA Unhas**. HMK Tempat Kita dibina, HMK Tempat Kita ditempa
- Sahabat-sahabatku **Zulll, Depoy, Esrai** yang selalu memberikan dukungan moril kepada penulis
- Sahabat-sahabatku **Nining, Alawiah, Sari, Vania, Ririn, Lisa, Caca, Dila, Pita** yang sejak bangku SMA selalu setia memberikan dukungan kepada penulis
- Teman-teman **“Bahari gabut” Inna, Kiki, Afni, Zull, Depa** yang telah setia menemani dan mendengar segala keluh kesah penulis
- Teman-teman **“KKN UNHAS GELOMBANG 106 POSKO MAIWA” Ryan, Angga, Aris, Eko, Isti, Yus, Uni, Citra, Nada, Fitri** terima kasih telah memberikan dukungan dan pengalaman yang berharga kepada penulis.

- Terakhir, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua orang yang mengenal penulis dan tidak bisa disebutkan namanya satu-persatu. Terima kasih telah menjadi bagian dari hidup penulis dan turut andil dalam setiap 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 skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya khususnya bidang kimia Radiasi

Makassar, 30 November 2022

Penulis

ABSTRAK

Penentuan umur sampel karang di sekitar benteng Keraton Buton melalui pengukuran aktivitas ^{14}C dengan metode LSC (Liquid Scintillation Counting) melalui pengukuran aktivitas spesifik ^{14}C . Pencucian sampel dilakukan secara fisik dan kimia menggunakan campuran NaOH dengan H_2O_2 30% dilanjutkan dengan campuran HClO_4 dengan H_2O_2 30%, dengan pengurangan bobot sampel setelah preparasi adalah 15,8% dan 16,09%. Pemisahan CO_2 digunakan *Carbosorb* berupa KOH menghasilkan larutan K_2CO_3 . Berat total karbon larutan sampel yang ditentukan melalui metode titrasi adalah 0,130176 g (Sampel I) dan 0,134400 g (sampel II). Aktivitas spesifik ^{14}C yang diperoleh dari pengukuran menggunakan *Liquid Scintillation Counter* Hidex 300 SL adalah 14,595624 DPM/gC dan 14,136904 DPM/gC. Umur relatif sampel karang yang dapat dihitung dari data aktivitas spesifik ^{14}C adalah sekitar 443 tahun dan 707 tahun.

Kata kunci: Aktivitas spesifik, Benteng Keraton Buton, terumbu karang, LSC (*Liquid Scintillation Counting*), penanggalan radiokarbon.

ABSTRACT

Determination of the age of coral samples around the Buton Palace fort by measuring the activity of ^{14}C using the LSC (Liquid Scintillation Counting) method through measuring the specific activity of ^{14}C . Sample washing was carried out physically and chemically using a mixture of NaOH with H_2O_2 30%, followed by a mixture of HClO_4 with H_2O_2 30%, with a reduction in sample weight after preparation was 15.8% and 16.09%. Separation of CO_2 used Carbosorb KOH to produce a solution of K_2CO_3 . The total carbon weight of the sample solution determined by the titration method was 0.130176 g (Sample I) and 0.134400 g (Sample II). The specific activity of ^{14}C obtained from measurements using Liquid Scintillation Counter Hidex 300 SL was 14.595624 DPM/gC and 14.136904 DPM/gC. The relative ages of coral samples that can be calculated from the ^{14}C specific activity data are about 443 years and 707 years.

Keywords: Specific activity ^{14}C , Buton Palace Fort, coral reefs, LSC (Liquid Scintillation Counting), radiocarbon dating.

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL	i
LEMBAR PENGAJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
PRAKATA.....	vii
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	4
1.3.1 Maksud penelitian	4
1.3.2 Tujuan penelitian	5
1.4 Manfaat penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Benteng Keraton Buton	6
2.2 Terumbu Karang.....	6
2.3 Radiokarbon	9
	xiii

2.4 Penanggalan Radiokarbon	11
2.5 Radioaktivitas	12
2.5.1 Peluruhan Radioaktif	13
2.5.2 Laju Peluruhan Radioaktif.....	14
2.5.3 Hukum Radioaktivitas	15
2.5.4 Beberapa Besaran Radioaktivitas	17
2.6 Liquid Scintillation Counter (LSC)	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Bahan Penelitian	19
3.2 Alat Penelitian	19
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.4 Prosedur penelitian	19
3.4.1 Pengambilan Sampel Karang	19
3.4.2 Preparasi Sampel karang	20
3.4.3 Ekstraksi Karbonat pada Sampel Karang.....	21
3.4.4 Penentuan Total Karbon dalam Sampel Karang	22
3.4.5 Pengukuran Aktivitas ¹⁴ C pada Sampel Karang	22
3.4.6 Penentuan Umur Sampel Karang	23
BAB IV PEMBAHASAN.....	25
4.1 Pengambilan Sampel Karang	25
4.2 Preparasi Sampel Karang	26
4.3 Ekstraksi Karbonat pada Sampel Karang	28
4.4 Penentuan Total Karbon	30
4.5 Pengukuran aktivitas ¹⁴ C Sampel Karang menggunakan LSC (<i>Liquid Scintillation Counter</i>)	30

4.6 Penentuan Aktivitas Spesifik Sampel	35
4.6 Perhitungan Umur Sampel karang	36
BAB V PENUTUP.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Jenis Peluruhan radioaktif	13
2. Data perbandingan bobot sampel karang sebelum dan setelah proses pencucian.....	27
3. Data hasil cacahan sampel pada waktu optimum dengan 10 kali pengulangan	32
4. Data hasil pencacahan <i>background</i> pada waktu pencacahan 120 menit dengan 10 kali pengulangan.....	34
5. Data aktivitas spesifik ^{14}C Sampel I dan sampel II.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur anatomi karang.....	8
2. Proses produksi, distribusi dan peluruhan ^{14}C	11
3. Diagram perangkat liquid scintillation counter.....	18
4. Peta lokasi pengambilan sampel	20
5. Desain alat ekstraksi CO_2 sampel terumbu karang	21
6. Sampel karang dari pantai kamali dan pantai nirwana	25
7. Sampel karang setelah pencucian.....	27
8. Perubahan massa larutan penyerap terhadap massa sampel karang selama proses ekstraksi CO_2	29
9. Grafik nilai DPM sampel karang terhadap waktu cacahan.....	31
10. Grafik nilai DPM <i>background</i> terhadap waktu cacahan... ..	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Alir Penelitian	41
2. Bagan Kerja Prosedur Penelitian	42
3. Perhitungan bobot sampel yang hilang saat pencucian	46
4. Perhitungan total karbon sampel karang	47
5. Data Hasil Pencacahan Sampel karang menggunakan LSC Hidex 300 SL dalam Rentang Waktu Cacahan 5-240 menit	49
6. Data Hasil Pencacahan Sampel Karang menggunakan LSC Hidex 300 SL selama dengan 10 kali pengulangan	51
7. Data Hasil Pencacahan <i>Background</i> menggunakan LSC Hidex 300 SL selama 120 menit dengan 10 kali pengulangan	53
8. Perhitungan aktivitas spesifik ^{14}C dalam Sampel Karang	54
9. Perhitungan umur sampel karang	55
10. Perhitungan pembuatan larutan	56
11. Dokumentasi	58

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

CPM = Count per Minute

DPM = Disintegrations per Minute

LSC = Liquid Scintillation Couter

TDCR = Triple to Double Coecidence Ratio

^{14}C Modern = ^{14}C pada sampel yang masih hidup

Aktivitas ^{14}C = Aktivitas ^{14}C yang telah dikoreksi background

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pulau Buton sejatinya tidak dapat dilepaskan dari berbagai peninggalan situs sejarah di dalamnya. Kesultanan Buton merupakan kesultanan bercorak maritim yang terdiri atas banyak pulau, ragam suku dan bahasa. Salah satu peninggalan terbesar Kesultanan Buton pada masanya yaitu benteng Keraton Buton yang disebutkan sebagai benteng terluas dan terpanjang di dunia yang terletak di Kota Baubau, Sulawesi Tenggara (Swastikawati, 2020). Menurut Susanti (2017), 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. Batu karang yang digunakan sebagai penyusun dari pembangunan benteng diperkirakan diambil dari pulau-pulau di sekitar benteng Keraton Buton.

Batu karang diambil dari karang yang telah mati dari dalam laut, karang merupakan struktur batuan sedimen dari kapur (kalsium karbonat). Koloni karang adalah kumpulan dari berjuta-juta polip penghasil bahan kapur (CaCO_3) yang memiliki kerangka luar yang disebut koralit. Polip menyerap kalsium karbonat dari air laut dan mengeluarkannya dalam bentuk struktur kapur keras. Adanya proses fotosintesis oleh alga yang bersimbiosis membuat karang pembentuk terumbu menghasilkan kerangka luar yang terbuat dari kalsium karbonat dan menyebabkan bertambahnya produksi kalsium karbonat (Zurba, 2019). Karbon

yang terkandung dalam karang berasal dari penyerapan karbon dioksida di perairan, dimana pada proses pembentukannya melibatkan sistem kesetimbangan karbon dioksida di perairan laut dan atmosfer.

Perairan laut menyerap sekitar sepertiga dari CO₂ antropogenik yang masuk ke atmosfer. Sebagian besar karbon di alam berada dalam bentuk ¹²C. Namun, ada radionuklida kosmogenik dalam bentuk ¹⁴C yang bercampur dengan ¹²C secara merata di udara, maka salah satu atau lebih atom C dalam molekul CO₂ dapat berupa ¹⁴C yang membentuk karbon dioksida radioaktif (¹⁴CO₂). Radionuklida ¹⁴C tersebut bersumber dari radiasi kosmik serta aktivitas pengujian nuklir. Produksi ¹⁴C ini berlangsung secara terus menerus di atmosfer bagian atas, namun karena ¹⁴C juga selalu melakukan peluruhan sehingga jumlahnya di atmosfer selalu konstan (Yuliati dan Akhadi, 2005).

Organisme hidup membentuk kesetimbangan radiokarbon dengan lingkungannya yaitu ¹⁴C yang mengalami peluruhan dalam organisme dan digantikan oleh pengambilan ¹⁴C dari lingkungan. Setelah organisme mengalami kematian, kesetimbangan antara peluruhan radiokarbon dan ¹⁴C yang masuk akan terhenti sehingga aktivitas ¹⁴C mulai berkurang. Hilangnya ¹⁴C oleh peluruhan dapat digunakan untuk menentukan waktu kematian organisme (Firman dkk., 2018).

Radiokarbon yang dikandung organisme yang telah mati terus menerus akan meluruh menjadi ¹⁴N. Radiokarbon ¹⁴C memiliki waktu paruh 5.730 tahun. Waktu paruh adalah waktu yang diperoleh untuk isotop radioaktif yang meluruh

separuh dari bobot awalnya. Peluruhan ini terjadi secara konstan sehingga dapat digunakan untuk penanggalan (Hopley, 2011).

Penanggalan radiokarbon didasarkan pada perhitungan aktivitas ^{14}C yang masih terkandung dalam suatu sampel karbon. Nilai aktivitas tersebut kemudian dikonversikan menjadi umur terumbu karang yang kemudian dikorelasikan setelah dibandingkan dengan standar acuan modern (Faisal, 2009). Aktivitas ^{14}C merupakan radionuklida pemancar sinar beta energi rendah, data aktivitas spesifiknya pada sampel sangat rendah, sehingga pencacahan radiasi yang dipancarkan oleh ^{14}C ini memerlukan pencacah khusus dengan radiasi latar yang sangat rendah (LBC, *low background counter*), agar didapatkan ketelitian yang tinggi dalam menginterpretasi data hasil cacahan sampel. Pencacahan ^{14}C dapat dilakukan menggunakan pencacah pendar cair atau *liquid scintillation counter* (Yuliati dan akhadi, 2005).

Pengukuran radionuklida ^{14}C menggunakan metode LSC telah banyak dilakukan dalam penanggalan radiokarbon, yaitu Kepulauan Spermonde oleh Wahyudin dkk., (2019) yang melakukan penentuan umur karang di pulau Samalona, Khairunnisa (2022) pada terumbu karang di pulau Badi, dan Rinanda (2021) yang melakukan penentuan umur karang di pulau Satando. Metode ini juga digunakan oleh Sapulette (2018) dalam menentukan umur terumbu karang di teluk Ambon luar.

Metode penanggalan radiokarbon juga banyak digunakan dalam menentukan umur benda-benda dan situs purbakala, seperti pada penelitian Wisjachuddin dkk., (2000) yang melakukan penentuan umur situs candi Jebung di

Jawa Timur, dan Siregar (2012) yang menentukan umur pelapukan tanah dengan metode radiokarbon, serta Wisjachuddin dkk., (1995) yang melakukan pengkajian stratigrafi cuplikan batuan dari zaman kuartar. Semua penelitian di atas menggunakan metode *liquid scintillation counting* yang sebagian besar menggunakan alat pencacah jenis LSC Hidex 300 SL yang kepekaan dan ketelitiannya relatif tinggi.

Penelitian ini akan menggunakan instrumen LSC (*Liquid Scintillation Counter*) jenis LSC Hidex 300 SL untuk menentukan umur karang. Karang yang akan diteliti diambil dari pulau terdekat yang berada di sekitar benteng Keraton Buton.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. berapa aktivitas radionuklida ^{14}C dalam sampel karang dari sekitar Benteng Keraton Buton ?
2. berapa umur karang dari sekitar Benteng Keraton Buton yang ditentukan dengan menggunakan alat pencacah LSC Hidex 300 SL ?
3. bagaimana korelasi antara umur karang di sekitar benteng Keraton buton berdasarkan aktivitas ^{14}C dengan umur pembangunan benteng Keraton Buton berdasarkan sejarah ?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud penelitian ini adalah menganalisis aktivitas radionuklida ^{14}C pada penentuan umur karang di sekitar benteng Keraton Buton menggunakan alat

pencacah LSC Hidex 300 SL dan mengkorelasikan umur karang dengan umur benteng Keraton Buton.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. menentukan aktivitas radionuklida ^{14}C pada sampel di sekitar benteng Keraton Buton.
2. menentukan umur karang di sekitar benteng Keraton Buton menggunakan alat pencacah LSC Hidex 300 SL.
3. mengetahui korelasi antara umur karang di sekitar benteng Keraton Buton berdasarkan aktivitas ^{14}C dengan umur pembangunan benteng Keraton Buton berdasarkan sejarah.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi dan pengetahuan tentang keterkaitan antara umur karang di sekitar benteng Keraton Buton berdasarkan pengukuran aktivitas spesifik ^{14}C dengan metode LSC (*Liquid Scintillation Counting*) dengan umur benteng berdasarkan sejarah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Benteng Keraton Buton

Sulawesi memiliki berbagai macam objek wisata salah satunya peninggalan sejarah benteng Keraton Buton yang terletak di kota Baubau, Sulawesi Tenggara. Benteng Keraton Buton merupakan 100 peninggalan penting Kesultanan Buton yang masih ada hingga saat ini. Diperkirakan Benteng Keraton Buton dibangun pada abad ke-17, pada masa pemerintahan Sultan La Sangaji (1591-1957) yang hanya dibangun dalam tumpukan batu mengelilingi kompleks istana dengan tujuan sebagai pembatas perkampungan dan istana dan sebagai benteng pertahanan Buton (Silvia dkk., 2013).

Luas seluruh Kabupaten Buton adalah 7.265 Km² terdiri dari wilayah laut, beberapa pulau dan sebagian daratan Sulawesi. Keadaan wilayah Kabupaten Buton sebagian besar berupa batuan dan karang yang berbukit-bukit (Harkantiningsih dan Riyanto, 1996). Benteng Keraton Buton 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 (Susanti, 2017).

2.2 Terumbu Karang

Indonesia memiliki area terumbu karang terluas di kawasan Asia Tenggara. Indonesia ditutupi sekitar 18% terumbu karang dunia dan berada tepat di pusat segi tiga karang (*Coral Triangle*). Tingkat keanekaragaman karang di Indonesia sangat tinggi di dunia diperkirakan terdapat lebih dari 590 jenis (75%

secara keseluruhan) yang telah teridentifikasi dan setidaknya terdapat 553 jenis karang *Scleractinian* (Susanto dkk., 2015).

Wilayah perairan Buton merupakan salah satu dari banyak daerah di Indonesia yang kaya sumber terumbu karang dan cukup luas, dengan nilai estetika yang tinggi dan memiliki banyak manfaat bagi manusia dalam berbagai aspek ekonomi, sosial, dan budaya. Sebagai bagian dari wilayah *ecoregion* dunia, perairan Pulau Buton mencakup hamparan terumbu karang yang cukup luas dengan keanekaragaman jenis biota tinggi (Camperberg dan mahulette, 2019).

Terumbu karang di Pulau Buton merupakan terumbu karang tepi yang menyebar di hampir seluruh Pulau. Luas ekosistem terumbu karang sekitar 21.833 Ha. Jenis-jenis karang keras yang ditemukan antara lain : *Acropora* sp, *Favia* sp, *Fungia* sp, dan *Porites* sp, sementara untuk karang lunak antara lain : *Xenia* sp, *Sarcophiton* sp, dan *Sinularia* sp. Kondisi terumbu karang di Kepulauan Buton termasuk dalam kategori sedang dengan persentase tutupan karang hidup sebesar 29,79% atau seluas 66,08 Km² (Dhewani dkk., 2006).

Berdasarkan tahapan proses pembentukan, lokasi, proses geologi dan adanya perubahan permukaan air laut, terumbu karang dapat dibagi menjadi beberapa tipe. *Atoll* merupakan terumbu karang yang berkembang di pulau vulkanik dimana terumbu tumbuh dan berkembang dari tepi pulau dan kemudian membentuk lingkaran yang mengelilingi pulau yang kemudian secara perlahan terlihat terpisah dari pulau karena tenggelamnya pulau. *Fringing reef* adalah terumbu karang yang terbentuk di tepi-tepi pulau atau benua. *Barrier reef* adalah terumbu karang yang tumbuh sejajar dengan benua atau pulau yang terpisah jauh oleh adanya lautan yang dalam. *Patch reef* adalah terumbu karang yang tumbuh

di paparan benua atau pulau dan dalam proses pembentukannya belum mencapai permukaan air laut (Hadi dkk., 2018)

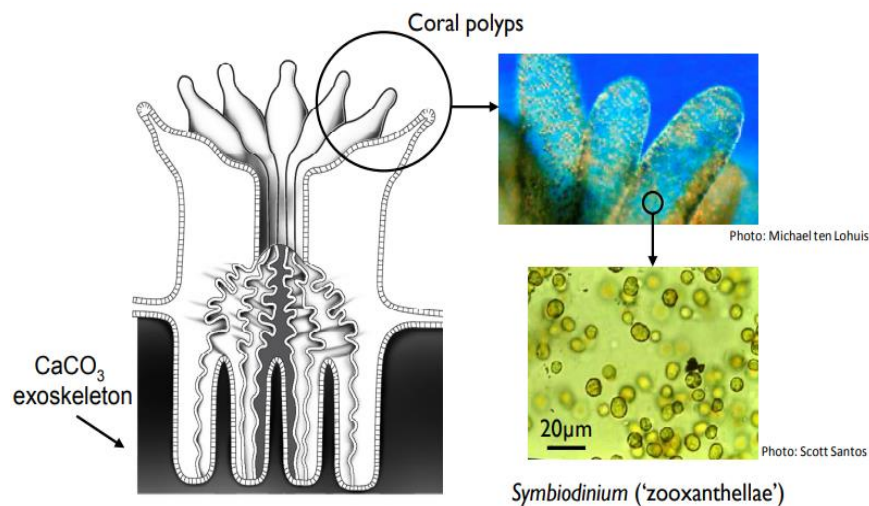
Terumbu karang merupakan sebuah ekosistem kompleks yang dibangun utamanya oleh biota penghasil kapur (terutama karang) bersama biota lain yang hidup di dasar dan di kolom air. Adanya proses pelekatan biota-biota karang ke substrat dasar perairan, pembentukan kerangka kapur, segmentasi, degradasi, erosi dan akresi yang terjadi secara berulang-ulang dalam jangka waktu yang panjang maka terbentuklah terumbu karang. Sebagai habitat yang stabil, terumbu karang banyak dihuni oleh biota-biota yang berasosiasi sehingga membentuk suatu jejaring yang kompleks dimana ada keterkaitan antara biota yang satu dengan biota yang lain serta faktor lingkungan (Hadi dkk., 2018).

Pembentukan terumbu karang dimulai adanya individu karang (polip) yang hidup berkelompok (koloni) ataupun menyendiri (soliter). Karang yang hidup berkoloni membangun rangka kapur dengan berbagai bentuk, sedangkan karang yang hidup sendiri hanya membangun satu bentuk rangka kapur. Gabungan beberapa bentuk rangka kapur tersebut disebut terumbu (Zurba, 2019)

Karang merupakan spesies yang mampu menyerap unsur karbon dalam perairan. Karang memiliki struktur kerangka luar yang disebut koralit, yang dihasilkan polip penghasil bahan kapur (CaCO_3). 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 CaCO_3 yang dihasilkan oleh epidermis. Proses sekresi CaCO_3 menghasilkan rangka kapur berbentuk seperti mangkuk dimana polip tertanam di atasnya, dan tidak dapat berpindah tempat. Pembentukan kapur pada karang didukung dengan

adanya proses fotosintesa oleh alga yang menyebabkan bertambahnya produksi kalsium karbonat.

Fotosintesis oleh alga yang bersimbiose membuat karang pembentuk terumbu menghasilkan deposit cangkang yang terbuat dari kalsium karbonat, kira-kira sepuluh kali lebih cepat dibandingkan karang yang tidak membentuk terumbu (ahermatipik) dan tidak bersimbiose dengan alga *Zooxanthellae*. Struktur dari karang, polip, serta simbiosisnya dengan alga dapat dilihat pada Gambar 1 (Zurba, 2019).



Gambar 1. Struktur Anatomi Karang (Wooldridge, 2013)

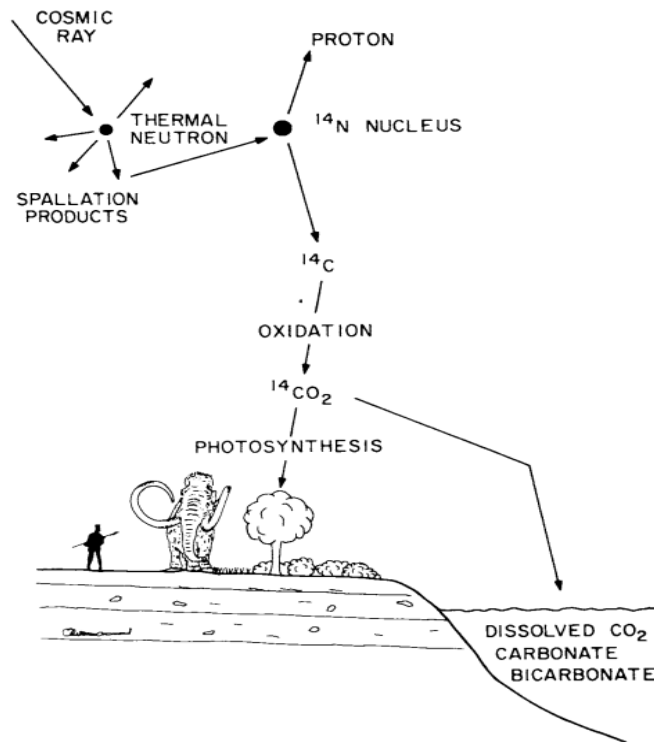
2.3 Radiokarbon

Karbon merupakan salah satu unsur yang paling melimpah di alam semesta. Karbon dapat dengan mudah ditemukan di sekitar kita, bahkan di dalam tubuh kita sendiri. Di dalam tubuh manusia, karbon memiliki proporsi sebesar 18,5% dan menjadi unsur paling banyak kedua setelah oksigen (Campbell dkk., 2005). Di alam semesta, karbon menjadi unsur yang paling melimpah keempat setelah hidrogen, helium dan oksigen. Karbon di alam mengalami suatu siklus materi yang dikenal dengan istilah siklus karbon. Dalam siklus tersebut, karbon

dapat mengalami perpindahan atau pertukaran antara reservoir biotik (biosfer) dan abiotik (laut, atmosfer dan kerak bumi). Stok karbon di atmosfer terdapat dalam beberapa bentuk seperti karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), metana (CH_4) dan sebagian kecil hidrokarbon (Firdaus dan Wijayanti, 2019).

Di alam terdapat 3 isotop karbon, yaitu ^{12}C (98,89%), ^{13}C (1,11%) keduanya termasuk katagori isotop stabil, dan yang ketiga adalah ^{14}C ($1 \times 10^{-11}\%$) termasuk isotop tidak stabil dan bersifat radioaktif. Radiokarbon terbentuk ketika neutron dari sinar kosmik mengenai nitrogen, dan mengubahnya menjadi ^{14}C . Tidak seperti ^{12}C yang stabil, ^{14}C bersifat tidak stabil dan perlahan akan meluruh kembali menjadi nitrogen dan melepaskan energi, ketidakstabilan ini membuatnya menjadi radioaktif, radiokarbon ini diproduksi di atmosfer paling atas.

Radiokarbon kemudian teroksidasi dan berikatan dengan oksigen yang kemudian membentuk karbon radioaktif dioksida yang tercampur di atmosfer dan bergabung dengan siklus karbon di bumi melalui proses fotosintesis dan pertukaran CO_2 udara-laut. Radiokarbon kemudian digunakan tanaman dalam proses fotosintesisnya, sementara organisme yang memakan tanaman akan mengambil ^{14}C tersebut. Di sisi lain, ^{14}C yang terlarut di laut, danau, dan sungai akan diserap oleh karang dan organisme laut lainnya. Radiokarbon yang digabungkan ke dalam biosfer dan dipertukarkan dengan hidrosfer menghasilkan radiokarbon yang berkesetimbangan. Proses pembentukan radioakarbon, distribusi serta peluruhannya dapat dilihat pada Gambar 2 (Faisal, 2009)



Gambar 2. Proses produksi, distribusi dan peluruhan ^{14}C (Wooldrige, 2013)

Kematian organisme akan mengakhiri pertukaran CO_2 antara organisme dengan atmosfer. Dalam organisme yang mati, ^{14}C berkurang melalui peluruhan radioaktif. Dengan membandingkan derajat keradioaktifan dalam organisme yang mati dengan yang terdapat di dalam organisme hidup, dapat ditentukan sudah berapa lama organisme itu mati, metode ini disebut penanggalan radiokarbon (Siregar, 2011).

2.4 Penanggalan Radiokarbon

Metode penanggalan radiokarbon mula-mula dikembangkan oleh para ilmuwan yang dipimpin oleh Profesor Willard F. Libby dari Universitas Chicago pada tahun 1952, beliau menerima Hadiah Nobel dalam bidang Ilmu Kimia pada tahun 1960 untuk penemuannya tersebut. Pada prinsipnya, metode penanggalan

radiokarbon adalah metode penentuan umur suatu cuplikan yang didasarkan pada pengukuran aktivitas ^{14}C (radiokarbon). Batas pengukuran penanggalan radiokarbon adalah sampai dengan sekitar 50.000 tahun. Adapun macam cuplikan yang dapat ditentukan umurnya dengan metode penanggalan radiokarbon adalah cuplikan lingkungan yang terkait dengan obyek penelitian yang berupa sisa habitasi yang berada di sekitar obyek penelitian seperti: arang, kayu, kerang, tanah (yang mengandung bahan organik), tulang dan lain-lain (Faisal, 2009).

Peluruhan radiokarbon dalam makhluk hidup diawali saat makhluk hidup itu mati, jasad makhluk hidup tersebut tidak lagi menyerap radiokarbon, sehingga radiokarbon yang dikandungnya terus menerus akan meluruh setelah 5.730 tahun sehingga benda itu memiliki $\frac{1}{2}$ jumlah radiokarbon relatif terhadap kandungan karbon total seperti yang dikandungnya semasa hidup (Wiyatmo, 2006).

Menurut Faisal (2009), Di dalam penentuan umur suatu cuplikan penanggalan radiokarbon perlu diperhatikan adanya beberapa asumsi-asumsi yang harus dipenuhi, antara lain:

1. Produksi radiokarbon (^{14}C) di atmosfer konstan selama 50.000-100.000 tahun terakhir.
2. Pencampuran, pengambilan, dan pertukaran radiokarbon di dalam sistem atmosfer-biosfer-hidrosfer telah diseragamkan dan dipercepat dalam skala global untuk memberikan aktivitas awal yang sama untuk semua cuplikan.
3. Tingkat peluruhan radiokarbon adalah konstan, tidak ada karbon "muda" atau "tua" yang ditambahkan ke dalam cuplikan selama diisolasi dari keadaan keseimbangan global.
4. Tidak ada peluruhan isotop yang terjadi untuk mengubah perbandingan standar $^{12}\text{C}:^{13}\text{C}:^{14}\text{C}$ pada cuplikan.

2.5 Radioaktivitas

Radioaktivitas adalah kemampuan inti atom yang tak stabil untuk memancarkan radiasi menjadi inti yang stabil. Proses perubahan ini disebut peluruhan dan inti atom yang tak stabil disebut radionuklida. Suatu inti atom dikatakan dalam keadaan tidak stabil apabila jumlah proton jauh lebih besar dari jumlah neutron, pada keadaan inilah gaya elektrostatis jauh lebih besar dari gaya inti sehingga ikatan atom-atom menjadi lemah dan inti berada dalam keadaan tidak stabil. Besarnya radioaktivitas suatu unsur ditentukan oleh konstanta peluruhan (γ), yang menyatakan laju peluruhan tiap detik, dan waktu paro, kedua besaran tersebut bersifat khas untuk setiap radionuklida (Faisal, 2009).

Radioaktivitas suatu unsur timbul dari radioaktivitas satu atau lebih isotopnya. Terdapat banyak unsur di alam yang tidak mempunyai isotop radioaktif, walaupun demikian, isotop seperti itu dapat disiapkan menjadi radioaktif secara artifisial (buatan) dan dapat berguna dalam penelitian dalam bidang kedokteran maupun biologi sebagai unsur "perunut". Pada abad sebelumnya, Rutherford membedakan komponen dalam radiasi menjadi tiga komponen, komponen inti yang disebut alfa (α), beta (β), dan gamma (λ) yang akhirnya dikenal sebagai inti ${}^4_2\text{He}$, elektron, dan foton berenergi tinggi secara berurutan (Beiser, 1992).

2.5.1 Peluruhan Radioaktif

Menurut Wiyatmo (2006), terdapat lima jenis peluruhan radioaktif yaitu peluruhan gamma, 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.

Tabel 1. Jenis Peluruhan Radioaktif

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 γ menyatakan foton sinar gamma

Proses peluruhan ${}^{14}C$ berlangsung melalui pemancaran partikel β atau positron membentuk isotop ${}^{14}N$ yang stabil. Supaya kandungan ${}^{14}C$ 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. 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 , maka umur sampel tersebut dapat dilihat pada Persamaan (1) (Hidayat, 2008):

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{A_0}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

A = Radioaktivitas isotop ${}^{14}C$ dalam sampel

A_0 = Radioaktivitas isotop ${}^{14}C$ pada saat tanaman atau hewan tersebut hidup (15,3 dpm/gC) (Libby, 1960)

$t_{1/2}$ = waktu paruh = 5730 tahun

$\ln 2$ = 0.693

t = umur sampel

2.5.2 Laju Peluruhan Radioaktif

Proses peluruhan mengikuti hukum laju reaksi orde satu, bahwa kecepatan peluruhan hanya bergantung pada jumlah inti radiaktif dalam contoh. Persamaan kecepatan peluruhan, dapat dilihat pada Persamaan (2) dan Persamaan (3):

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

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

keterangan:

$$\begin{aligned} -dN / dt &= \text{kecepatan disintegrasi inti radioaktif} \\ \lambda &= \text{tetapan peluruhan} \\ N &= \text{jumlah inti radioaktif} \end{aligned}$$

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. Kecepatan cacah dapat dilihat pada Persamaan (4):

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

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).

2.5.3 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 λ . 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).

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

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

Dengan mengintegrasikan Persamaan (5) diperoleh Persamaan (6):

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

dalam Persamaan (6), $N(t)$ adalah jumlah atom radioaktif pada waktu t (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 terhingga.

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 Liquid Scintillation Counter

Liquid scintillation counter (LSC) merupakan teknik yang sudah populer untuk mendeteksi dan mengukur jumlah radioaktivitas (aktivitas ^{14}C) dari radionuklida sejak tahun 1950-an. Metode LSC menggunakan sampel radioaktif yang dimasukkan dalam vial sintilasi dan ditambahkan dengan campuran sintillator khusus. Campuran sintillator yang biasa disebut koktail terdiri dari pelarut DIN (Diisopropylnaftalene) atau linier alkilbenzene dengan zat terlarut fluor seperti 2,5-diphenyloxazole (PPO) dengan konsentrasi pada larutan antara 2-10 g/L (L'Annunziata, 2012).

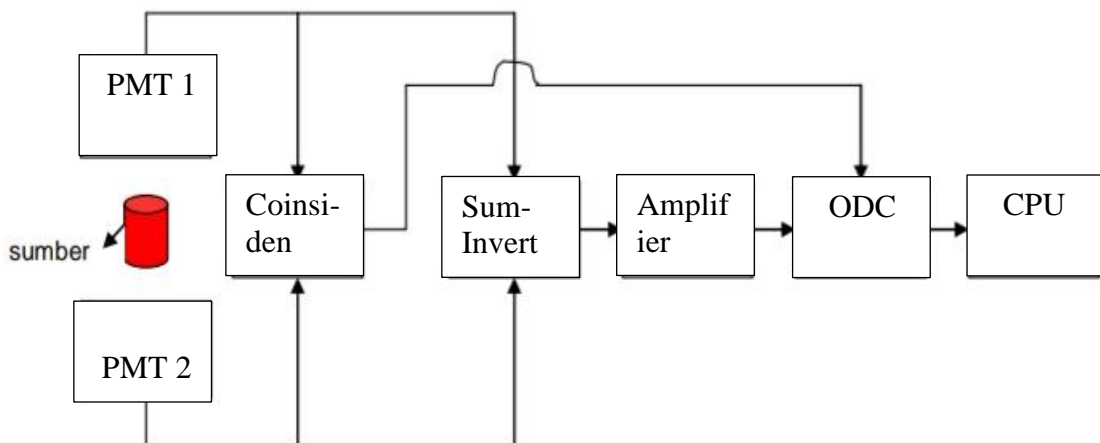
Analisis menggunakan LSC memungkinkan untuk mendeteksi dan menentukan jumlah radiasi alpha dan beta yang dipancarkan dari radionuklida. Dalam sistem pengukuran menggunakan LSC tidak terjadi penyerapan radiasi oleh medium sampel karena sampel dilarutkan secara homogen dalam campuran yang terdiri dari pelarut dengan sintilator cair. Dengan sistem homogen tersebut memungkinkan sampel radionuklida berinteraksi secara langsung dengan sintilator cair (Putra, 2016).

Teknik *liquid scintillation counting* digunakan pada pengukuran kuantitatif aktivitas larutan radioaktif. Keuntungan utama penggunaan LSC adalah preparasi sampel yang relatif sederhana dan efisiensi deteksi yang tinggi. Keakuratan mencapai 100% untuk partikel α dan hampir 100% untuk partikel β berenergi tinggi (Broda dkk., 2016).

Perangkat LSC bersifat relatif sehingga dalam penggunaannya memerlukan suatu standar berbentuk larutan dalam vial dengan volume sekitar 15 mL. Tahapan yang paling penting dalam proses pengukuran menggunakan LSC

adalah prosedur preparasi sampel. Banyak sampel biologi yang berupa serpihan harus diukur menggunakan peralatan jenis ini. Sampel seperti ini tidak dapat secara langsung ditempatkan dalam wadah vial dan siukur secara langsung. Sampel tersebut perlu dipreparasi sedemikian rupa sehingga membentuk larutan atau campuran yang homogen dan mengandung larutan sintilator.

Prinsip dasar kerja dari peralatan ini adalah adanya detektor dengan tabung penguat cahaya (PMT) yang mendeteksi larutan radioaktif, kemudian diperkuat dengan *amplifier* dan dianalisis dengan sistem ADC selanjutnya akan terbentuk spektrum. Dalam menganalisis data, daerah luasan dari spektrum yang muncul pada setiap daerah energi (*setting gate*) tampilan dapat berupa daerah luasan dalam besaran cacahan per minute (CPM), sedangkan nilai aktivitas dalam besaran disintegrasi per minute (DPM) berbanding lurus dengan nilai CPM dan berbanding terbalik dengan efisiensi pencacahan, lebih lengkapnya bagan liquid scintillation counter dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram perangkat liquid scintillation counter (Wurdiyanto, 2014)