

PENENTUAN AKTIVITAS ^{14}C MODERN KORAL *OUTER ZONE* DAN *MIDDLE OUTER ZONE* DI KEPULAUAN SPERMONDE DENGAN METODE *LIQUID SCINTILLATION COUNTING (LSC)*

DETERMINATION OF ^{14}C MODERN CORALS *OUTER ZONE* AND *MIDDLE OUTER ZONE* ACTIVITY IN SPERMONDE ARCHIPELAGO WITH *LIQUID SCINTILLATION COUNTING METHOD (LSC)*

ADJI PERMATASARI HASRA

H012181008



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

PENENTUAN AKTIVITAS ^{14}C MODERN KORAL *OUTER ZONE* DAN *MIDDLE OUTER ZONE* DI KEPULAUAN SPERMONDE DENGAN METODE *LIQUID SCINTILLATION COUNTING (LSC)*

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi
Magister Kimia

Disusun dan diajukan oleh

ADJI PERMATASARI HASRA

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**



TESIS

**PENENTUAN AKTIVITAS ^{14}C MODERN KORAL *OUTER ZONE*
DAN *MIDDLE OUTER ZONE* DI KEPULAUAN SPERMONDE
DENGAN METODE *LIQUID SCINTILLATION COUNTING (LSC)***

Disusun dan diajukan oleh :

ADJI PERMATASARI HASRA
Nomor Pokok : H012181008

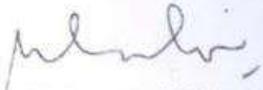
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

Pada tanggal 24 Agustus 2020

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,
Komisi Penasehat


Prof. Dr. Alfian Noor, M.Sc
Ketua


Dr. Muhammad Zakir M.Si
Anggota

Ketua Program Studi
Magister Kimia,


Dr. Hasnah Natsir, M.Si



LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adji Permatasari

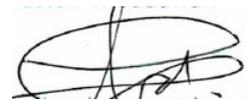
Nomor Mahasiswa : H012181008

Program studi : Kimia

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang penulis tulis ini benar-benar merupakan hasil karya penulis sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, penulis bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 24 Agustus 2020

Yang menyatakan



Adji Permatasari Hasra



PRAKATA

Alhamdulillah Rabbil Alamin. Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanahu Wata'ala*, hanya atas Rahmat dan izin-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul "**Penentuan Aktivitas ¹⁴C Modern Koral *Outer Zone* Dan *Middle Outer Zone* Di Kepulauan Spermonde Dengan Metode *Liquid Scintillation Counting (LSC)***"

Dalam penyelesaian tesis ini, penulis menyadari penulisan ini masih jauh dari kata kesempurnaan dengan berbagai kekurangan dan keterbatasan yang ada, oleh karena itu untuk kesempurnaannya penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun dari pembaca.

Penulis menyadari bahwa tesis ini dapat terselesaikan tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Ucapan terimakasih yang tak terhingga kepada Almarhum: Hasni N dan ibunda Usgirati Usman atas do'a, semangat, bantuan dan kasih sayang tulus yang telah diberikan. Ucapan terspesial untuk yang terkasih Iqbal Mansyur dan Ibu mertua Halima MR yang tidak pernah berhenti memberi semangat, bantuan dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dan dapat menempuh jenjang program S2.

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



1. Prof. Dr. H. Alfian Noor, M.Sc. dan Dr. Muhammad Zakir, M.Si selaku komisi penasihat yang telah mencurahkan seluruh perhatian, bimbingan dan motivasi selama proses penyusunan tesis.
2. Dr. Syarifuddin Liong, M.Si, Dr. Maming, M.Si. dan Dr. Rugaiyah Arfah, M.Si selaku komisi penilai, atas masukan yang telah diberikan demi penyempurnaan penulisan tesis.
3. Dr. Hasnah Natsir, M.Si selaku ketua program studi S2 kimia terima kasih atas motivasi dan bantuannya.
4. Dekan FMIPA, Ketua Jurusan Kimia FMIPA dan seluruh dosen Kimia Pascasarjana UNHAS yang telah membagi ilmunya serta seluruh staff Fakultas MIPA UNHAS atas bantuan dan kerjasamanya.
5. Kepala dan seluruh Staff Laboratorium Kimia Radiasi, Kimia Analitik, Biokimia, Kimia Fisika, Kimia Anorganik, Kimia Organik, IPA terpadu atas segala bantuan dan fasilitas yang telah diberikan selama proses penelitian.
6. Sahabat-sahabat Something Cakra Ulfha, Rifa'atul Mahmudah, Mukarramah Rahasti, Yuniar Hidayah, Muh. Idil Islami dan Fikri Tri Putra terimakasih selalu menyemangati dan selalu ada dikalah sedih dan senang.
7. Sahabat-sahabat istimewa Husni Awaliah dan Amar Wira yang selama ini memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
8. Sahabat-sahabat Bureng St Nurfajriani, Andi Akbar, Fauziah Nur

fa dan Diana Sanda Salu yang selalu menyempatkan waktunya untuk membimbing penulis dan memberikan masukannya.



9. Saudara-saudara tak sedarah Titrasi 2013 terimakasih untuk semua dukungan dan doanya.
10. Teman-teman seperjuangan S2-Kimia 2018 terkhusus untuk Musrifha Tahar yang selalu mengingatkan dan tidak henti-hentinya memberikan masukan dan semangat. Serta teman-teman time Conference ICSM kendari Felycitae Ekalaya Appa, Nur Awaliah dan Septaria Yolani Kalalinggi semoga juga segera menyelesaikan tugas akhirnya.
11. Kakak seperjuangan tim laboratorium kimia radiasi (Andi Tenri Sa'na dan Nurfaizah, Mahdalia, Asma Assa, Muliadi, Waode Rustiah, Rakhmad dll) terimakasih atas bantuan, masukan, saran, doa dan semangatnya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu saran dan kritikan yang membangun sangat diharapkan untuk penelitian dan penulisan yang lebih baik pada kesempatan mendatang.

Akhir kata, semoga tesis ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi berharga dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Makassar, 24 Agustus 2020



Penulis



ABSTRAK

ADJI PERMATASARI HASRA. *Penentuan Aktivitas ^{14}C Modern Koral Outer Zone Dan Middle Outer Zone Di Kepulauan Spermonde Dengan Metode Liquid Scintillation Counting (LSC)* (dibimbing oleh **Alfian Noor dan Muhammad Zakir**).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan aktivitas spesifik ^{14}C modern koral *outer zone* dan *middle outer zone* di kepulauan spermonde dengan metode *Liquid Scintillation Counting* (LSC). Pengambilan sampel dilakukan di wilayah *outer zone* dan *middle outer zone* Kepulauan Spermonde. Wilayah *outer zone* meliputi Pulau Papandangan, Suranti dan Kapoposang. Wilayah *middle outer zone* meliputi Pulau Sarappo Lompo, Kodingareng Keke dan Badi. Penelitian ini melalui langkah-langkah: pencucian sampel, ekstraksi karbonat, dan pengukuran aktivitas ^{14}C menggunakan LSC Hidex 300 SL. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas spesifik rata-rata ^{14}C modern koral Kepulauan Spermonde adalah $15,25 \pm 0,4$ DPM/g. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara nilai aktivitas ^{14}C modern di laut dan di daratan.

Kata kunci : *Liquid Scintillation Counting*, ^{14}C , esktraksi karbonat, koral, spermonde.



ABSTRACT

ADJI PERMATASARI HASRA. Determination of ^{14}C Modern Corals *Outer Zone* and *Middle Outer Zone* Activity in Spermonde Archipelago with *Liquid Scintillation Counting Method* (LSC) (Supervised by **Alfian Noor** and **Muhammad Zakir**).

This study aims to determine the specific activity of the ^{14}C modern corals *outer zone* and *middle outer zone* in Spermonde Islands with *Liquid Scintillation Counting Method* (LSC). Corals Sampling was taken from *outer zone* and *middle outer zone* Spermonde Archipelago. *Outer zone* include Papandangan, Suranti and Kapoposang Islands, *middle outer zone* one taken from Sarappo Lompo, Kodingareng Keke and Badi Islands. This research were conducted as follow: sample washing, carbonate extraction, and measurement of ^{14}C activity using LSC Hidex 300 SL. The results shown the average of ^{14}C specific activity of modern corals in Spermonde Archipelago is 15.25 ± 0.4 DPM/g. The specific activity ^{14}C modern in marine has no significant different with the spesific activity of ^{14}C modern in the land.

Keywords: *Liquid Scintillation Counting*, ^{14}C , carbonat extraction, coral, spermonde.



DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Korall dan Terumbu Karang.....	8
B. Kepulauan Spermonde	10
C. Pembentukan Radiokarbon	12
D. Penanggalan Radiokarbon (<i>Radiocarbon Dating</i>).....	14
E. Absorpsi	19
F. <i>Liquid Scintillation Counting</i> (LSC).....	21



1. Sistem dan Mekanisme Kerja LSC	23
a. Botol sampel	27
b. Flouresensi	27
c. <i>Quenching</i> (Pemadaman) dan Mekanisme Pemadaman.....	28
2. Sintilator	29
a. Sintilator Primer	32
b. Sintilator Sekunder	32
3. Pelarut Sintilator.....	33
a. Pelarut Primer.....	33
b. Pelarut Sekunder	34
G. Kerangka Konseptual	35
H. Hipotesis Penelitian	36
BAB III METODE PENELITIAN	37
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	37
B. Bahan dan Alat Penelitian.....	37
C. Prosedur Penelitian.	37
1. Pengambilan Sampel.....	37
2. Pembersihan Sampel Karang	38
3. Preparasi Sampel Karang	38
4. Penentuan Total Karbon	39
5. Pengukuran Aktivitas ^{14}C dalam Sampel Karang dengan LSC Hidex 300 SL	39



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Pengambilan Sampel.....	41
B. Pencucian Sampel.....	42
C. Estraksi Karbonat.....	43
D. Pengukuran Aktivitas ^{14}C	45
1. <i>Porites lobata</i> (Outer Zone).....	46
2. <i>Fungia fungites</i> (Outer Zone).....	48
3. <i>Acropora hyacinthus</i> ₁ (Outer Zone).....	50
4. <i>Acropora hyacinthus</i> ₂ (Middle Outer Zone).....	52
5. <i>Acropora loripes</i> (Middle Outer Zone).....	54
6. <i>Echinapora</i> (Middle Outer Zone).....	56
E. Perhitungan Aktivitas Spesifik.....	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	60
B. Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN.....	65



DAFTAR TABEL

nomor	halaman
1. Aktivitas Alami Sampel Radiokarbon Permukaan Bumi	18
2. Pelarut Primer dan Sifat Fisiknya	34
3. Data sampel koral yang diperoleh dari wilayah outer zone dan middle outer zone	41
4. Data perbandingan bobot terumbu karang Kepulauan Spermonde sebelum dan setelah proses pencucian	43
5. Data hasil pencacahan <i>Porites lobata</i> pada waktu optimum 60 menit.....	47
6. Data hasil pencacahan <i>Fungia fungites</i> pada waktu optimum 90 menit.....	49
7. Data hasil pencacahan <i>Acropora hyacinthus</i> ₁ pada waktu optimum 150 menit	51
8. Data hasil pencacahan <i>Acropora hyacinthus</i> ₂ pada waktu optimum 90 menit	53
9. Data hasil pencacahan <i>Acropora loripes</i> pada waktu optimum 60 menit	55
10. Data hasil pencacahan <i>Echinapora</i> pada waktu optimum 120 menit.....	57
11. Data aktivitas spesifik rata-rata ¹⁴ C sampel koral <i>outer zone</i> dan <i>middle outer zone</i> kepulauan spermonde.....	58



DAFTAR GAMBAR

nomor		Halaman
1.	Struktur tubuh Koral dengan Zooxanthella	8
2.	Siklus karbon internal pada simbiosis koral-zooxanthellae....	9
3.	Pembagian Zona di Kepulauan Spermonde	12
4.	Gambaran pembentukan dan distribusi ¹⁴ C di alam	13
5.	Pembentukan sinyal listrik detektor sintilasi.....	25
6.	Proses terjadinya sintilasi di dalam sampel dan larutan sintilator	31
7.	Desain alat absorpsi CO ₂	39
8.	Peningkatan massa larutan selama proses absorpsi hingga bobot tetap.....	44
9.	Data hasil pencacahan sampel <i>Porites lobata</i> pada waktu 5-240menit.....	46
10.	Data hasil pencacahan sampel <i>Fungia fungites</i> pada waktu 5-240menit.....	48
11.	Data hasil pencacahan sampel <i>Acropora hyacinthus₁</i> pada waktu 5-240 menit.....	50
12.	Data hasil pencacahan sampel <i>Acropora hyacinthus₂</i> pada waktu 5-240 menit.....	52
13.	Data hasil pencacahan sampel <i>Acropora loripes</i> pada waktu 5-240 menit.....	54
14.	Data hasil pencacahan sampel <i>Echinapora</i> pada waktu 5-240 menit.....	56



DAFTAR LAMPIRAN

nomor		Halaman
1.	Pencucian sampel koral	65
2.	Proses Estraksi Karbonat dan Penentuan Total Karbon	66
3.	Pencacahan sampel dan <i>background</i> menggunakan LSC Hidex 300 SL	67
4.	Lokasi sampling di Kepulauan Spermonde	68
5.	Data Optimasi Penyerapan Korall <i>outer zone</i> pada Ekstraksi Karbonat.....	69
6.	Data Optimasi Penyerapan Korall <i>middle outer zone</i> pada Ekstraksi Karbonat.....	70
7.	Perhitungan Total Karbon Sampel Koral	71
8.	Data Hasil Pencacahan Background pada Waktu 5-240 Menit	76
9.	Data hasil pencacahan sampel <i>Porites lobata</i> pada waktu 5-240 menit.....	77
10.	Data hasil pencacahan sampel <i>Fungia fungites</i> pada waktu 5-240 menit.....	78
11.	Data hasil pencacahan sampel <i>Acropora hyacinthus₁</i> pada waktu 5-240 menit.....	79
12.	Data hasil pencacahan sampel <i>Acropora hyacinthus₂</i> pada waktu 5-240 menit.....	80
13.	Data hasil pencacahan sampel <i>Acropora loripes</i> pada waktu 5-240 menit.....	81
14.	Data hasil pencacahan sampel <i>Echinapora</i> pada waktu 5-240 menit.....	82
	Dokumentasi Pengambilan Sampel.....	83
	Dokumentasi Pengerjaan Sampel	84



DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
Λ	Konstanta peluruhan radioaktif
$t_{1/2}$	Waktu paruh
N	Neutron
P	Proton
At	Radioaktivitas isotop ^{14}C dalam sampel
Ao	Radioaktivitas isotop ^{14}C pada saat tanaman atau hewan tersebut hidup
CPM	Cacahan Per Menit
DPM	Disintegrasi Per Menit
LSC	Liquid Scintillation Counter
LBC	Low Background Counter
QIP	Quenching Index Parameter
PMT	Photo Multiplier Tube
BP	Before Present
SIS	Spectral Index of the Sampler
tSIE	the transformed Spectral Index of the External Standard
S	Lintang Selatan
E	Bujur Timur



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Koral (*polip*) merupakan hewan dengan mulut yang dikelilingi oleh tentakel berfungsi sebagai penangkap mangsa dari perairan serta sebagai alat pertahanan diri. Setiap *polip* karang akan menghasilkan material untuk membentuk rangka luar koral (skeleton) yang berupa kalsium karbonat (CaCO_3) (Giyanto dkk., 2017). Tubuh koral terbagi atas dua lapisan yaitu ektodermis dan gastrodermis dan diantara kedua lapisan terdapat jaringan pengikat tipis yang disebut mesoglea. Pada bagian ektodermis terdapat sel penyekat sedangkan pada gastrodermis terdapat zooxanthellae (Suharsono, 2008).

Zooxanthellae merupakan nama lain dari *mikro-algae* yang hidup di dalam jaringan tubuh koral. *Mikro-algae* berasal dari kelompok Dinoflagellata yang termasuk dalam spesies *Symbiodinium microadriaticum* (Thamrin, 2007). Zooxanthellae dan koral memiliki hubungan yang saling menguntungkan. Zooxanthellae memberikan makanan bagi koral yang dibentuk melalui proses fotosintesis sedangkan koral memberikan perlindungan dan akses terhadap cahaya kepada zooxanthellae. Disamping keuntungan yang diperoleh koral sebagai inang dari zooxanthellae sebagai simbiosis berupa hasil fotosintesis, seperti gula,

amino dan oksigen. Disamping itu terjadi pengaruh tidak langsung yang mempercepat proses kalsifikasi dalam menghasilkan kalsium



karbonat sebagai kerangka koral. Siklus yang biasa dikenal dengan *Carbon Sink* tersebut akan terus berlanjut selama koral-zooxanthellae masih hidup (Wooldrige, 2013).

Berdasarkan siklus *Carbon Sink*, skeleton kalsium karbonat kalsifikasi koral mengandung susunan proxy geokimia yang telah digunakan untuk meningkatkan pemahaman kita tentang iklim masa lalu, sirkulasi lautan, dan atmosfer hingga proses yang terjadi di permukaan laut melalui pengukuran ^{14}C (radiokarbon) (Bolton dkk., 2016). Terumbu karang dapat tumbuh dari skala millimeter hingga sentimeter per-tahun. Selama dalam proses pertumbuhan akan terbentuk lingkaran tahunan (*annual band*) yang merupakan kerangka dari terumbu karang. Selama proses pembentukan karang terjadi inkorporasi isotop dan unsur-unsur yang mencerminkan kondisi lingkungan dalam air laut seperti suhu permukaan laut, kesetimbangan hidrologi (evaporasi dan presipitasi) dan sirkulasi laut (Arman dkk., 2013)

Radioisotop ^{14}C (radiokarbon) diproduksi di atmosfer paling atas yaitu dengan adanya reaksi antara radiasi kosmis dan nitrogen sehingga terbentuklah ^{14}C (Wiyatmo, 2009). Radiokarbon akan bereaksi dengan oksigen menjadi karbon dioksida yang selanjutnya akan diserap oleh tanaman untuk fotosintesis. Dalam hal ini karena ^{14}C bersifat radioaktif, maka radionuklida tersebut akan melakukan peluruhan sehingga jumlahnya terus berkurang secara eksponensial oleh waktu (Achmad., dkk 2007). Metode yang digunakan dalam pengukuran isotop ^{14}C adalah

metode radiokarbon. Metode ini didasarkan pada perhitungan ^{14}C yang masih terkandung dalam suatu sampel. Nilai aktivitas ini



kemudian dikonversikan menjadi umur setelah dibandingkan dengan standar acuan modern (Siregar dan Soehaimi, 2009).

Metode penanggalan radiokarbon pertama kali dikembangkan oleh Willard F. Libby dan pada tahun 1960 melaporkan bahwa aktivitas spesifik absolut ^{14}C pada sampel biosfer adalah $15,3 \pm 0,1$ dpm/gC. Nilai aktivitas spesifik absolut ^{14}C ini kemudian dijadikan standar acuan modern pada perhitungan umur sampel koral, sedimen, air, dan lain-lain. Libby mengambil sampel berbagai jenis kayu dan tumbuhan darat yang mewakili seluruh belahan bumi, namun sampai saat ini belum melaporkan nilai aktivitas ^{14}C pada hewan laut terkhusus pada koral. Oleh karena itu perlu dikembangkan standar acuan baru nilai aktivitas ^{14}C modern koral.

Pada akhir 1950-an komunitas radiokarbon internasional bekerja sama dengan Biro Standar Nasional A.S membuat standar modern baru yaitu *Reference Material 4990C Oxalic Acid*. Pada saat sekarang, standar karbon diproduksi oleh perusahaan internasional yaitu *National Institute of Standard and Technology (NIST)*. Standar modern inilah yang kemudian diperlukan sebagai faktor korelasi untuk karbon aktif yang terkandung di dalam sampel selama waktu hidupnya (Currie, 2004). Standar asam oksalat dibuat dari tanaman bit gula yang kemudian tidak lagi tersedia secara komersial. Sehingga standar lain yaitu Asam Oksalat II dibuat ketika stok Hox 1 mulai berkurang. Pada tahun 1977 standar asam oksalat II (Hox 2; *NIST SRM 4990C*) mulai dibuat dari tanaman molase bit Perancis (Strenstrom, 2011). Selain standar tersebut, terdapat standar

karbon sekunder lain yang paling umum yaitu sukrosa *ANU* (American National University). Standar modern karbon internasional



tersebut sulit didapat dan juga harganya sangat mahal. Sehingga perlunya dilakukan penelitian untuk membuat suatu standar modern karbon *in house reference material* (contoh standar). Standar modern karbon lokal ini diharapkan dapat digunakan sebagai standar modern karbon yang baru dan mengurangi ketergantungan terhadap *Standard Reference Material 4990C NBS Oxalic Acid* (standar modern karbon internasional untuk metode radiokarbon). Untuk membuat standar lokal ini diperlukan penelitian secara bertahap sehingga nantinya dapat diproduksi di dalam negeri dan digunakan untuk kegiatan rutin.

Suci dan Nicelia pada tahun 2013 melaporkan penelitian aktivitas ^{14}C dalam sampel, *dead carbon* dan standar radiokarbon (asam oksalat dan gula) didapatkan hasil faktor standar radiokarbon gula yaitu sebesar 0,9433 yang menunjukkan hasil yang lebih besar dari nilai standar karbon asam oksalat yaitu 0,7459. Sehingga dapat disimpulkan bahwa gula pasir putih kurang cocok untuk digunakan sebagai standar karbon nasional (*in house reference material*). Hal ini juga ditunjukkan dari umur kayu yang didapatkan berbeda dengan yang diperoleh dari pengujian dengan asam oksalat dan gula pasir putih. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode radiokarbon cacahan sintilasi.

Metode yang digunakan selama ini untuk penentuam umur ^{14}C yaitu dengan cara mencacah C_6H_6 dengan pencacah sintilasi cair, mencacah C dalam bentuk grafit dengan AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*) dan mencacah CH_4 dengan *Mini Gas Proportional* *metry*. Metode-metode ini telah jarang digunakan dalam penentuam umur karena biaya peralatan dan bahan reparasi sampelnya sangat mahal, preparasi sampel cukup rumit dan memerlukan



pertimbangan keterampilan teknis yang memadai sehingga dianggap tidak ekonomis dan efisien karena hanya dapat dianalisis satu sampel sehari.

Beberapa tahun terakhir ini para ahli telah mengembangkan metode pencacahan sintilasi cair untuk pengukuran α dan β total dalam sampel lingkungan. Metode pencacahan sintilasi cair kini tidak hanya digunakan untuk pencacahan radiasi β berenergi rendah, tetapi dapat digunakan pula untuk pencacahan α dan β total. Metode ini dikenal dengan LSC (*Liquid Scintillation Counting*). Kelebihannya dibanding dengan metode elektrodeposisi ialah sediaan yang berbentuk cair memudahkan sampel terlarut secara homogen, sehingga tidak ada pengaruh serapan diri. Metode ini dapat mendeteksi ^3H dan ^{14}C , serta dapat menentukan α dan β total sekaligus, sehingga dapat menghemat waktu (Tjahaja dan Mutiah, 2000). Penelitian lain yang juga menggunakan pencacahan sintilasi cair yaitu dalam menentukan perubahan muka laut masa lampau berdasarkan umur fosil kerang (Suyarso, 2010). Pada tahun 2012, Satrio menentukan umur air lumpur Lapindo dan stalaktit Gunung Kidul dengan metode absorpsi CO_2 menggunakan pencacah sintilasi cair.

Berdasarkan pemaparan latar belakang tersebut maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai standar modern karbon yang nantinya dapat digunakan di Indonesia. Pada penelitian ini dilakukan penentuan aktivitas ^{14}C modern koral *outer zone* dan *middle zone* kepulauan spermonde dengan metode *Liquid Scintillation Counting* (LSC).



B. Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas pada penelitian ini, yaitu:

1. berapa aktivitas ^{14}C modern Korala *outer zone* Kepulauan Spermonde dengan metode LSC?
2. berapa aktivitas ^{14}C modern Korala *middle outer zone* Kepulauan Spermonde dengan metode LSC?
3. apakah aktivitas ^{14}C modern Korala *outer zone* dan *middle outer zone* Kepulauan Spermonde dapat dijadikan standar untuk menentukan umur fosil koral dengan metode LSC?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. menentukan aktivitas spesifik ^{14}C modern Korala *outer zone* Kepulauan Spermonde melalui metode LSC.
2. menentukan aktivitas spesifik ^{14}C modern Korala *middle outer zone* Kepulauan Spermonde melalui metode LSC.
3. membandingkan modern Korala *outer zone* dan *middle outer zone* Kepulauan Spermonde dengan data standar oleh Libby untuk menentukan umur fosil koral dengan metode LSC.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah dapat memberikan kontribusi data standar acuan baru aktivitas ^{14}C modern koral di Kepulauan Spermonde.

Standar acuan ^{14}C modern koral ini selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan umur koral di Kepulauan Spermonde pada khususnya



dan dunia pada umumnya, serta dapat dimanfaatkan untuk mengetahui iklim masa lalu, sirkulasi lautan, dan atmosfer hingga proses yang terjadi di permukaan laut dan dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk rekonstruksi kehidupan organisme di masa lalu.

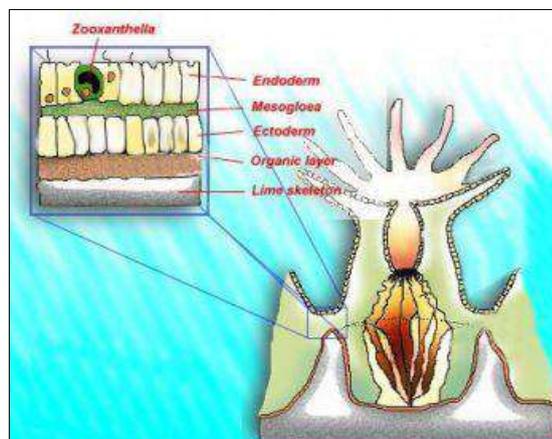


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Koral dan Terumbu Karang

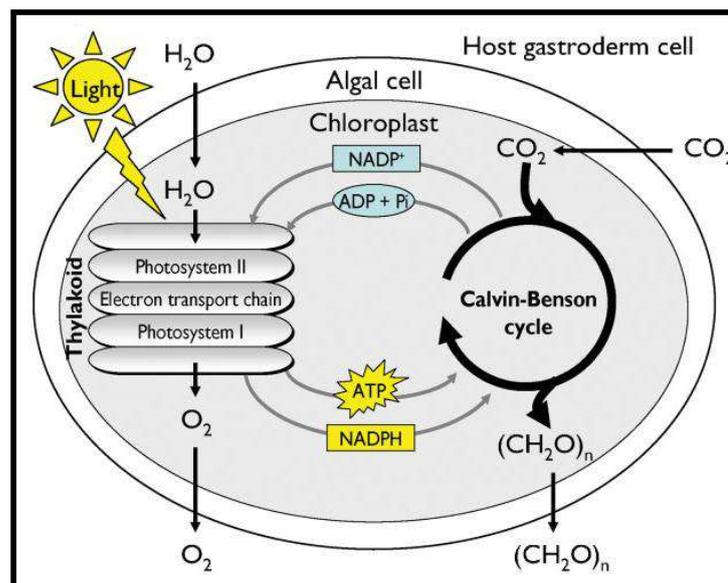
Terumbu karang dengan keunikan simbiosisnya antara hewan karang dengan flora zooxantella mampu menyerap karbon untuk proses fotosintesis dengan menghasilkan oksigen. Penyerapan karbon tersebut dapat mengurangi jumlah karbon yang ada di atmosfer. Terumbu karang (*Coral reef*) sebagai ekosistem dasar laut dengan penghuni utama karang batu yang mempunyai arsitektur yang mengagumkan dan dibentuk oleh ribuan hewan kecil disebut polip. Ukuran polip bervariasi, yaitu kurang dari 1 mm hingga 15 cm lebih. Sebagian besar koral hidup berkoloni yang terdiri atas ribuan polip dalam sebuah struktur koral. Namun ada pula jenis koral yang hidup soliter sebagai polip tunggal. Mulut koral dikelilingi oleh tentakel yang berfungsi untuk menangkap mangsa dari perairan serta sebagai alat pertahanan diri. Koral memiliki rongga tubuh (*coelenteron*) yang juga merupakan saluran pencernaan (**gastrovascular**) (Craig, 2011).



r 1. Struktur tubuh Koral dengan Zooxanthella (Wooldrige, 2010).



Pada tubuh terdapat dua lapisan, yaitu lapisan ektodermis dan gastrodermis. Pada ektodermis terdapat sel penyengat sedangkan pada gastrodermis terdapat zooxanthellae. Keberadaan *zooxanthellae* dalam struktur karang membuat karang tampak berwarna dan memberinya energi untuk tumbuh. *Zooxanthellae* tumbuh pada sel-sel dalam jaringan karang seperti pada gambar 1. *Zooxanthellae* menggunakan energi dari sinar matahari untuk mengubah produk sisa metabolik karang menjadi energi yang dibutuhkan karang untuk tumbuh. Terumbu karang memerlukan sinar matahari dan perairan yang jernih agar dapat tumbuh sehat (Wooldrige, 2010).



Gambar 2. Siklus karbon internal pada simbiosis karang-zooxanthellae (Wooldrige, 2013).

Gambaran umum siklus karbon internal pada simbiosis karang-zooxanthellae terlihat pada gambar 2. Fotosintesis zooxanthellae terjadi di kloroplas alga, dimana reaksi terang terjadi di membrane tilakoid, dan reaksi gelap (*Calvin-Benson cycle*) terjadi di stroma. Karbon yang



digunakan untuk fotosintesis zooxanthellae berupa HCO_3^- yang berasal dari air laut atau CO_2 yang merupakan residu respirasi oleh hewan koral. Hasil fotosintesis $((\text{CH}_2\text{O})_n)$ sebanyak 95% dimanfaatkan oleh koral, misalnya H_2CO_3 yang selanjutnya dapat dipecah menjadi HCO_3^- dan H^+ . Bentuk HCO_3^- inilah yang dapat digunakan oleh karang untuk membentuk rangka kapur. Mekanisme transpor ion karbonat atau bikarbonat masih belum diketahui dengan jelas. Akan tetapi, beberapa peneliti menyatakan bahwa HCO_3^- ditransportasikan dengan bantuan dua pembawa anion (*anion carrier*). Fotosintesis oleh algae yang bersimbiosis membuat karang pembentuk terumbu menghasilkan deposit cangkang yang terbuat dari kalsium karbonat, kira-kira 10 kali lebih cepat daripada karang yang tidak membentuk terumbu (ahermatipik) dan tidak bersimbiose dengan zooxanthellae (Wooldrige, 2013).

Di Indonesia koral memiliki keanekaragaman jenis yang sedikit tinggi dibandingkan dengan yang terdapat di Samudera Hindia. Secara umum jumlah spesies koral (*Reef Building Corals*) yang tumbuh di *Indo-Pacific* cenderung lebih banyak dibandingkan dengan *Atlantic* (Supriharyono, 2007).

B. Kepulauan Spermonde

Kepulauan Spermonde (*Spermonde shelf*) terdapat di bagian selatan Selat Makassar, tepatnya di pesisir barat daya Pulau Sulawesi. Sebaran pulau karang yang terdapat di Kepulauan Spermonde terbentang ke selatan sejajar pantai daratan Pulau Sulawesi Van Vuuren dalam Klerk (1983). Kepulauan Spermonde dikenal oleh



masyarakat pulau sebagai pulau-pulau Sangkarang dan terdiri atas \pm 121 pulau, mulai dari Kabupaten Takalar di selatan hingga Mamuju di Sulawesi Barat (Jompa, 2012).

Kepulauan Spermonde memiliki tingkat keragaman karang yang cukup tinggi karena terdapat 78 genera dan sub genera, dengan total spesies 262, seperti yang pernah dicatat oleh Moll (1983). Dilihat dari tingkat penyebaran karang, sekitar 80 - 87% terdapat di daerah terumbu terluar. Namun demikian, Jompa (1996) mencatat adanya pengurangan tingkat penutupan karang hidup dan keragaman jenis (*diversity*) sebanyak 20% dalam kurun waktu 12 tahun dibandingkan dengan yang dicatat oleh Moll (1983), untuk beberapa lokasi yang sama (Jompa, 2012).

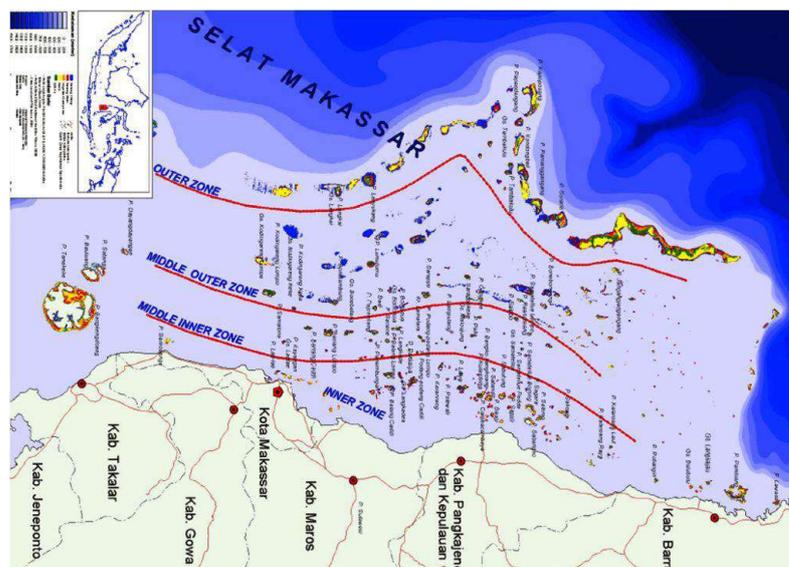
Hutchinson (1945) *dalam* Hoeksema, 1990) membagi Kepulauan Spermonde menjadi empat zona, membentang dari utara ke selatan. Menurut Klerk (1983); Moll (1983); Hoeksema dan Moka (1989) Pembagian zona distribusi terumbu karang tersebut sering dijadikan dasar dalam penelitian yang berkaitan penyebaran dengan terumbu karang di wilayah kepulauan ini. Pembagian Zona tersebut meliputi (Jompa, 2012) :

1. Zona pertama atau zona bagian dalam merupakan zona terdekat dari pantai daratan utama Pulau Sulawesi, dengan kedalaman laut rata-rata 10 m dan substrat dasar yang didominasi oleh pasir berlumpur.
2. Zona kedua, berjarak kurang lebih 5 km dari daratan Sulawesi, mempunyai ke dalaman laut rata-rata 30 m dan banyak dijumpai pulau karang.

a ketiga dimulai pada jarak 12,5 km dari pantai Sulawesi dengan lamam laut antara 20–50 m. Pada zona ini banyak dijumpai ah terumbu karang yang masih tenggelam.



4. Zona keempat atau zona terluar merupakan zona terumbu penghalang (*barrier reef zone*) dan berjarak 30 km dari daratan utama Sulawesi. Di sisi timur pulau-pulau karang ini kedalaman lautnya berkisar 40–50 m, sedangkan pada sisi barat dapat mencapai kedalaman lebih dari 100 m.



Gambar 3. Pembagian Zona di Kepulauan Spermonde (Muller dkk.,2012)

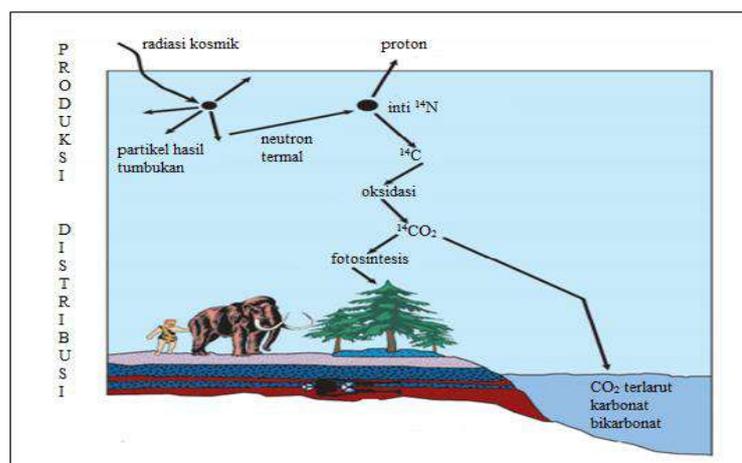
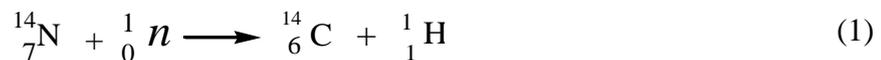
C. Pembentukan Radiokarbon

Radiasi kosmogenik adalah radiasi yang terbentuk karena adanya interksi nuklir antara radiasi kosmis dari angkasa luar dengan atom-atom yang ada di atmosfer bumi (Yuliati dan Akhadi 2005). Radiasi ini terdiri atas dua macam yaitu radiasi kosmik primer dan radiasi kosmik sekunder. Radiasi kosmik primer berasal dari bintang-bintang di angkasa luar yang memancarkan radiasi proton 87%, alfa 12% dan lainnya 1%. Saat radiasi kosmik primer berenergi tinggi memasuki daerah atmosfer bumi, maka terjadi reaksi inti antara partikel-partikel kosmik dengan unsur-unsur yang ada di dalam atmosfer bumi seperti karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N) dan lain-lain (Syahrir, 2001). Reaksi nuklir yang



terjadi dapat menghasilkan sinar kosmik sekunder yang terdiri dari meson, elektron, foton, neutron, proton, dan lainnya. Partikel tersebut selanjutnya akan menghasilkan sinar kosmik sekunder lainnya pada saat pertumbukan dengan unsur-unsur di atmosfer atau meluruh dalam perjalanannya menuju permukaan bumi (Yuliati dan Akhadi, 2005).

Pada saat sinar tersebut memasuki atmosfer maka terjadi tumbukan dengan inti atom yang berada pada lintasannya sehingga menimbulkan hujan zarah sekunder. Diantara zarah sekunder tersebut terdapat neutron yang timbul dari inti target yang bersintegrasi. Masing-masing neutron dapat bereaksi terhadap inti hidrogen dalam atmosfer untuk membentuk radiokarbon dengan pemancaran proton seperti pada Gambar 3. Proton mengambil seluruh elektron dan menjadikan sebuah atom hidrogen. $^{14}_7\text{N}$ meluruh menjadi radiokarbon dengan umur paruh sekitar 5.730 tahun (Wiyatmo, 2009).



4. Gambaran pembentukan dan distribusi ^{14}C di alam (Wiyatmo,2009)



Pada Gambar 4 terlihat bahwa radionuklida ^{14}C dapat jatuh ke bumi bersama-sama dengan angin, hujan maupun salju. Apabila masuk ke atmosfer bumi ^{14}C akan bereaksi dengan oksigen membentuk karbon dioksida ($^{14}\text{CO}_2$). Selanjutnya melalui proses fotosintesis dan bantuan klorofil daun pada tanaman akan menghasilkan karbohidrat atau glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) melalui persamaan reaksi (2) (Yuliati dan Akhadi, 2005).



Meskipun ^{14}C di bumi meluruh secara tunak, tembakan sinar kosmik secara tetap memperbaharui persediaannya. Setelah dihasilkan dalam atmosfer, atom ^{14}C menempel pada molekul oksigen membentuk CO_2 radioaktif. Makhluk hidup, seperti tanaman hijau mengambil karbon dioksida supaya tetap hidup, sehingga setiap tanaman mengandung karbon radioaktif yang terserap bersama dengan karbon dioksida yang diserapnya. Begitu pula pada binatang, akan memakan tanaman yang mengandung karbon dioksida radioaktif sehingga binatang pun menjadi radioaktif. Pencampuran radiokarbon sangat efisien sehingga memiliki proporsi ^{14}C terhadap karbon biasa ^{12}C yang sama (Wiyatmo, 2009).

D. Penanggalan Radiokarbon (*Radiocarbon Dating*)

Penanggalan radiokarbon adalah salah satu metode yang digunakan dalam penentuan umur temuan benda kuno dalam bidang

...i. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Willard F. Libby
...rkerjasama dengan James Arnold dan Ernest C. Anderson pada



tahun 1940 di *Institute for Nuclear Studies*, Universitas California. Jumlah radionuklida kosmogenik ^{14}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}C di dalam tubuhnya tidak terjadi lagi. Di lain pihak karena ^{14}C tersebut bersifat radioaktif, maka radionuklida tersebut akan melakukan peluruhan sehingga jumlahnya terus berkurang secara eksponensial oleh waktu (Yuliati dan Akhadi, 2005).

Penanggalan radiokarbon telah digunakan di beberapa negara untuk mendata usia temuan-temuan arkeologi. Berbagai temuan sejarah dan arkeologi telah didata menggunakan teknik ini. Di negara seperti Amerika, penanggalan ini digunakan untuk menentukan usia benda arkeologi berupa 300 pasang sandal bertali ditenun yang ditemukan dalam gua yang dikenal sebagai *Fort Rock Cave* di Oregon, Amerika Serikat. Hasil pendataan sampel organik dalam sandal menunjukkan bahwa benda tersebut dibuat sekitar 9.000 tahun lalu. Kemudian penanggalan radiocarbon juga telah digunakan untuk memperkirakan saat terbentuknya Danau Kawah di Oregon. Danau itu muncul karena adanya letusan gunung berapi kuno yang menghancurkan puncak gunung sehingga reruntuhan dan lahar panasnya mengubur seluruh kawasan dan membakar atau menghanguskan hutan-hutan di sekitarnya. Sampel yang dipakai untuk penyelidikan ini adalah arang dari suatu pohon yang hangus

ar panas. Hasil pengukuran kadar ^{14}C dalam arang tersebut
kkan bahwa Danau Kawah di Oregon tadi terbentuk kira-kira
tahun lalu. Penanggalan radiokarbon juga telah berhasil



mengungkap misteri homo sapiens moderen yang menjadi nenek moyang masyarakat Amerika Serikat. Laporan sementara mengenai kehadiran nenek moyang masyarakat Amerika Serikat di bumi belahan barat (*Western Hemisphere*) sebelumnya diperkirakan telah berlangsung sejak 30.000 sampai 40.000 tahun silam. Tetapi bukti paling akurat yang diperoleh dengan penanggalan radiocarbon menunjukkan bahwa leluhur bangsa Amerika Asli yang oleh orang Eropa disebut Bangsa Indian itu dating melalui Siberia Timur dan Alaska sekitar 13.000 sampai 15.000 tahun silam (Yuliati dan Akhadi, 2005).

Peluruhan radiokarbon dalam makhluk hidup diawali pada saat makhluk hidup itu mati, jasad makhluk hidup tersebut tidak lagi menyerap radiokarbon, sehingga seiring waktu radiokarbon yang dikandungnya terus menerus akan meluruh menjadi $^{14}_7N$ setelah 5.730 tahun sehingga benda itu memiliki $\frac{1}{2}$ jumlah radiokarbon relatif terhadap kandungan karbon total seperti yang dikandungnya semasa hidup. Dengan menentukan perbandingan radiokarbon terhadap karbon biasa, maka kita akan dapat menentukan umur mumi, alat-alat kayu, pakaian, kulit, batu bara, dan bend-benda lain dari kebudayaan purba sampai dengan umur 50.000 tahun (sekitar Sembilan kali umur $^{14}_6C$) (Wiyatmo, 2009).

Proses peluruhan ^{14}C berlangsung melalui pemancaran partikel β membentuk isotop N^{14} yang stabil. Supaya kandungan $^{14}_6C$ dapat diukur,

dalam sampel suatu organisme yang mati setelah selang waktu yang lama, ia 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 seKoral masih hidup adalah A_0 dan aktivitas massa karbon dari sampel yang akan ditentukan umurnya adalah A_t , maka umur sampel tersebut adalah (Hidayat, 2008):

$$t = \frac{t_{1/2}}{0.693} \ln \frac{A_0}{A_t} \quad (3)$$

Dimana t = Umur Sampel
 $t^{1/2}$ = Waktu paruh radiokarbon
 A_t = Aktivitas isotop ^{14}C yang diukur
 A_0 = Aktivitas isotop ^{14}C modern

Usia radiokarbon dari sampel diperoleh dari pengukuran sisa radioaktivitas. Pengukuran dihitung dari aktivitas (per gram C) yang tersisa dalam sampel yang usianya diketahui, dibandingkan dengan aktivitas yang ada dalam sampel modern dan background (Nicelia dkk., 2013).

Nilai aktivitas alami rata-rata radiokarbon permukaan bumi yang disajikan pada Tabel 1. Sampel yang diteliti meliputi beberapa jenis kayu dan tanaman darat di beberapa negara yang mewakili bumi secara umum berdasarkan garis lintang geomagnetik bumi (Libby, 1960).



Tabel 1. Aktivitas alami sampel radiokarbon permukaan bumi (Libby, 1960)

Sumber	Lintang Geomagnetik	Aktivitas Spesifik
Cemara putih, Yukon	60	14,84 ± 0,30
Cemara Norwegia, Swedia	55	15,37 ± 0,54
Kayu Elm, Chicago	53	14,72 ± 0,54
Fraxinus Excelsior, Switzerland	49	15,16 ± 0,30
Daun kamperfuli, Oak Ridge, Tenn	47	14,60 ± 0,30
Ranting Pohon Cemara, New Mexico	44	15,82 ± 0,47
Briar Afrika Utara	40	14,47 ± 0,44
Oak, Sherafut, Palestina	34	15,19 ± 0,40
Kayu tidak terdeteksi, Teheran, Iran	28	15,57 ± 0,31
Fraxinus mandshurica, Japan	26	14,84 ± 0,30
Kayu tidak terdeteksi, Panama	20	15,94 ± 0,51
Chlorophora excelsa, Liberia	11	15,08 ± 0,34
Sterculia excelsa, Copabana, Bolivia	1	15,47 ± 0,50
Kayu Ulin, Majoro, Pulau Marshall	0	14,53 ± 0,60
Jenis kayu tidak diketahui, Ceylon	2	15,29 ± 0,67
Pohon Kayu Besar, Tierra del Fuego	45	15,37 ± 0,49
Minyak kayu putih, New South Wales, Australia	45	16,31 ± 0,43
Minyak daging anjing laut dari Antartik	65	15,69 ± 0,30
Jumlah Rata-rata		15,3 ± 0,1

Standar modern radiokarbon merupakan Asam Oksalat I ($C_2H_2O_4$) NIST (*National Institute of Standards and Technology; Gaithersburg, Maryland, USA*). Asam oksalat I merupakan NIST SRM 4990 B dan

dengan HOx1. Asam oksalat ini adalah standar internasional dalam kalibrasi peralatan radiokarbon. Aktivitas asam oksalat yang diperoleh pada



tahun 1950 adalah sebesar 95% dimana nilai ini setara dengan pengukuran aktivitas standar radiokarbon mutlak kayu pada tahun 1.890. Kayu pada tahun 1890 ini terpilih sebagai standar radiokarbon karena kayu tersebut tumbuh sebelum adanya efek bahan bakar fosil revolusi industri. Aktivitas kayu 1890 ini dikoreksi untuk peluruhan radioaktif pada tahun 1950. Sehingga tahun 1950 adalah 0 BP tahun dalam konvensi penanggalan radiokarbon. Tahun 1950 dipilih tanpa adanya alasan khusus selain untuk menghormati publikasi radiokarbon pertama pada bulan Desember 1949 (Suci dkk., 2013).

Penanggalan ^{14}C untuk menentukan umur sampel karbon selama ini dilakukan dengan metode sintesis benzena (C_6H_6). Dengan metode ini dapat dianalisis satu sampel dalam sehari dengan biaya bahan yang relatif tinggi. Akhir-akhir ini telah dikembangkan metode baru, yaitu metode absorpsi CO_2 . Metode terakhir ini sering disebut *direct counting* CO_2 , karena radioisotop ^{14}C yang terkandung didalamnya secara langsung dicacah dan dikonversi menjadi umur. Pengembangan dan penerapan metode ini dilakukan dengan tujuan mendukung berbagai penelitian hidrologi, kelautan, klimatologi, geologi dan arkeologi secara lebih cepat, ekonomis dan praktis. Hasil analisis ^{14}C untuk sampel yang sama menggunakan metode absorpsi CO_2 dibandingkan metode sintesis benzena relatif sama (Siregar dkk., 2012).

E. Absorpsi CO_2

Metode penentuan umur menggunakan ^{14}C selama ini dilakukan dengan cara mencacah C_6H_6 dengan pencacah sintilasi cair, mencacah C



dalam bentuk grafit dengan *Accelerator Mass Spectrometry*, dan mencacah CH_4 dengan *Mini Gas Proportional Spectrometry*. Metode-metode ini dilakukan dengan preparasi sampel yang cukup rumit, lama, dan memerlukan pertimbangan keterampilan teknis yang memadai sehingga untuk penelitian hidrologi khususnya dianggap tidak ekonomis dan efisien, karena hanya dapat dianalisis satu sampel sehari (Satrio dkk, 2007).

Dua dekade terakhir ini diterapkan metode baru yaitu metode absorpsi CO_2 . Metode absorpsi CO_2 sering disebut juga sebagai metode *direct counting* $^{14}\text{CO}_2$, karena kandungan ^{14}C dalam CO_2 langsung dicacah dengan pencacah sintilasi cair. Preparasi sampel dengan metode ini melibatkan pemakaian bahan kimia penyerap CO_2 yang pada umumnya tersedia dalam bentuk larutan *carbosorb* dan larutan sintilasi (sintilator) Permafluor-V, keduanya dari Packard Co. Akan tetapi, saat ini Packard sudah tidak lagi memproduksi kedua bahan tersebut, sehingga laboratorium ^{14}C di beberapa negara mengembangkan sendiri pengganti bahan-bahan kimia tersebut (Satrio dkk, 2007).

Varlam dkk., (2010) menggunakan 2-metoksietilamin sebagai absorber CO_2 untuk analisis ^{14}C dalam air sungai, Satrio dan Sidauruk (2010) menggunakan absorber 2-metoksietilamin dalam tanah dan air tanah. Faurescu dkk., (2010) menggunakan 2-metoksietilamin pada sampel sedimen. Maming dkk., (2014) melaporkan penentuan umur terumbu karang dengan menggunakan larutan KOH.



F. Liquid Scintillation Counting (LSC)

LSC merupakan teknik utama tidak hanya untuk pengukuran radionuklida pemancar beta murni, tetapi juga peluruhan oleh penangkapan elektron (*elektron capture*) dan emisi alfa. Keuntungan utama LSC adalah efisiensi pencacahan yang tinggi yang mencapai 100%, prosedur relatif sederhana untuk persiapan sampel dan fitur untuk mendapatkan spektrum beta sampel. Teknik pengukuran ini masih merupakan metode radiometrik utama dalam penentuan radionuklida pemancar beta, terutama yang memancarkan partikel beta energi rendah dan peluruhan dengan penangkapan elektron (L'Annunziata, 2011).

Liquid scintillation counting adalah metode yang menggunakan sample radioaktivitas yang dimasukkan dalam vial sintillasi dan ditambahkan dengan scintillator khusus. 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 (Putra, 2016).

Karbon-14 merupakan radionuklida pemancar sinar beta energi rendah (B_{β} : 0,155 MeV), data aktivitas spesifiknya pada

sangat rendah, meskipun sampel tersebut masih segar. Oleh karena itu, untuk keperluan pencacahan radiasi yang dipancarkan oleh ^{14}C diperlukan pencacahan khusus dengan radiasi latar yang sangat



rendah LBC (*Low Background Counter*), sehingga didapatkan ketelitian yang tinggi dalam menginterpretasi data hasil cacahan sampel. Pencacahan ^{14}C dalam bentuk senyawa benzena dapat dilakukan dengan menggunakan pencacahan pendar cair LSC (*Liquid Scintillation Counting*). Penanggalan radiokarbon ini mampu memberikan hasil pengukuran yang paling akurat dibandingkan dengan metode penanggalan lainnya (Yuliati dan Akhadi, 2005).

Proses sintilasi adalah terpancarnya percikan cahaya ketika terjadi transisi elektron dari tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah di dalam detektor, bila terdapat kekosongan elektron pada orbit yang lebih dalam. Kekosongan tersebut dapat disebabkan oleh lepasnya elektron (proses ionisasi) atau loncatnya elektron ke lintasan yang lebih tinggi ketika dikenai radiasi (proses eksitasi). Energi radiasi diubah menjadi pancaran cahaya tampak pada proses sintilasi ini. Semakin besar energi radiasi yang diserap maka semakin banyak percikan cahayanya (Hadijahyono, 2006).

Metode sintilasi cair ini berkembang secara independen sejak tahun 1950, tepatnya ketika Reynold & Kalman menemukan bahwa pada larutan organik tertentu akan berflourosensi jika berinteraksi dengan sinar radiasi energi tinggi. Sinar flourosensi ini yang nantinya akan diubah menjadi ledakan-ledakan fotoelektron di dalam PMT dan terukur sebagai pulsa

perti yang terlihat pada Gambar 4 (Noor, 2003).

Setiap radiasi yang mengenai alat ukur akan dikonversikan menjadi pulsa listrik, baik dengan mekanisme ionisasi maupun sintilasi.



Bila kuantitas radiasinya semakin tinggi maka jumlah pulsa listrik yang dihasilkannya semakin banyak. Sedangkan semakin besar energinya semakin tinggi pulsanya. Informasi yang dihasilkan dengan cara pulsa adalah jumlah pulsa (cacahan) dan tinggi pulsa listrik. Untuk mengkonversikan sebuah radiasi menjadi sebuah pulsa listrik dibutuhkan waktu tertentu, yang sangat dipengaruhi oleh jenis detektornya. Bila terdapat dua buah radiasi yang datang secara berurutan dengan selang waktu lebih cepat daripada waktu konversi detektor, maka radiasi yang terakhir tidak akan tercacah (Haditjahyono, 2006).

1. Sistem dan Mekanisme Kerja LSC

Metode pencacahan sintilasi cair pertama kali dikenal pada tahun 1953 oleh Hayes. Metode ini merupakan suatu metode yang digunakan dalam pengukuran radioaktivitas energi rendah, seperti ^3H dan ^{14}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. Tabung pengganda foton berfungsi untuk mengubah pancaran foton menjadi 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

ng lainnya, sehingga elektron yang terlepas akan ditarik oleh
a dalam dinode dan ini akan 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 Mutiah, 2000).

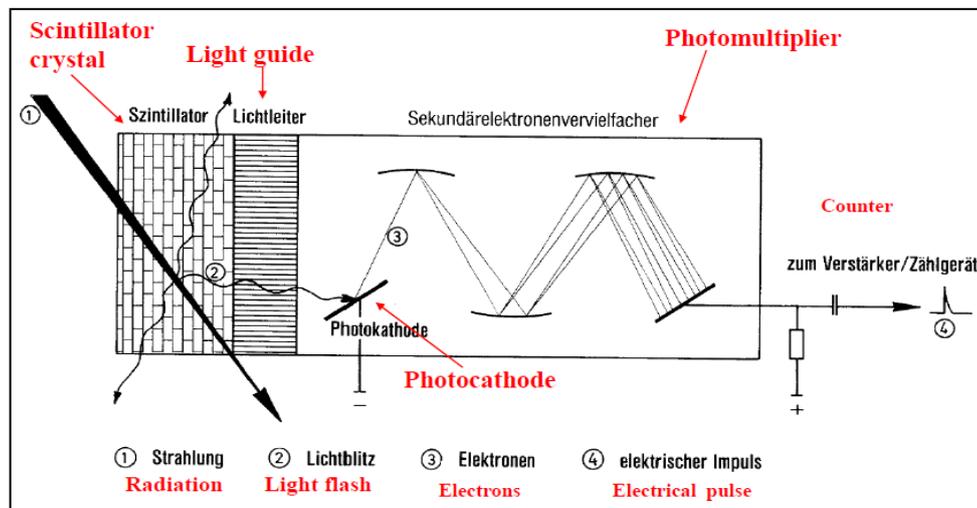
Detektor sintilasi cair sangat spesial dibandingkan dengan jenis detektor yang lain karena berwujud cair. Sampel radioaktif yang akan diukur dilarutkan dahulu ke dalam sintilator cair ini sehingga sampel dan detektor menjadi satu kesatuan larutan yang homogen. Secara geometri pengukuran ini dapat mencapai efisiensi 100% karena semua radiasi yang dipancarkan sumber akan ditangkap oleh detektor. Metode ini sangat diperlukan untuk mengukur sampel yang memancarkan radiasi β berenergi rendah seperti ^3H dan ^{14}C . Masalah yang harus diperhatikan pada metode ini adalah *quenching* yaitu berkurangnya sifat transparan dari larutan (sintilator cair) karena mendapat campuran sampel. Semakin pekat konsentrasi sampel maka akan semakin buruk tingkat transparansinya sehingga percikan cahaya yang dihasilkan tidak dapat mencapai *photomultiplier* (Haditjahyono, 2006).

PhotoMultiplier Tube (PMT) adalah peralatan yang linear, karena jumlah pulsa yang dihasilkan berbanding proporsional dengan jumlah foton yang terdeteksi, sehingga jumlah pulsa selama selang waktu pengukuran tertentu merupakan indikasi jumlah peka, sehingga sintilasi yang terjadi selama pencacahan berlangsung. Tabung photomultiplier terbuat dari tabung hampa yang kedap cahaya dengan photokatoda yang

si sebagai masukan pada salah satu ujungnya dan terdapat a dinode untuk menggandakan electron. Photokatoda yang



ditempelkan pada bahan sintilator, akan memancarkan elektron bila dikenai cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai. Elektron yang dihasilkannya akan diarahkan, dengan perbedaan potensial, menuju dinode pertama. Dinode tersebut akan memancarkan beberapa elektron sekunder bila dikenai oleh elektron. Elektron-elektron sekunder yang dihasilkan dinode pertama akan menuju dinode kedua dan dilipatgandakan kemudian ke dinode ketiga dan seterusnya sehingga elektron yang terkumpul pada dinode terakhir berjumlah sangat banyak. Dengan sebuah kapasitor kumpulan elektron tersebut akan diubah menjadi pulsa listrik (Haditjahyono, 2006).



Gambar 5. Pembentukan sinyal listrik detektor sintilasi (Noor, 2003).

Pada umumnya tinggi pulsa yang dihasilkan oleh PMT berkisar dalam orde milivolt. Pulsa listrik yang dihasilkan oleh PMT pada umumnya adalah sinyal analog, sehingga diperlukan alat bantu untuk memperbesar amplitudo sinyal tersebut yaitu penguat. Diperlukan dua penguat untuk penguat sinyal, yaitu *pre amplifier* yang dihubungkan



langsung ke detektor untuk memperbesar sinyal detektor dan penguat utama atau *main amplifier* yang berfungsi untuk memperbesar sinyal keluaran dari *pre amplifier*. Sinyal keluaran dari detektor selalu tidak lepas dari pengaruh pulsa derau walaupun telah diperkuat dengan penguat, sehingga jika sinyal tersebut langsung diteruskan ke alat pencacah maka derau akan ikut memberi kontribusi cacahan. Untuk mengatasi hal tersebut, pulsa derau harus dipisahkan dari sinyal. Dalam hal ini digunakan pemisah yang memiliki tingkat pemisahan tertentu yang dapat diatur (Tjahaja dan Mutiah, 2000).

Alat ukur radiasi cara arus dapat mengeliminasi kerugian cara pulsa karena cara pulsa pengukurannya lebih lambat, untuk dapat mengubah sebuah radiasi menjadi sebuah pulsa listrik dibutuhkan waktu konversi tertentu. Pada alat ukur radiasi cara arus yang ditampilkan bukan informasi setiap radiasi yang memasuki detektor melainkan integrasi dari jumlah muatan yang dihasilkan oleh radiasi tersebut dalam satuan waktu. Proses konversi pada cara pengukuran arus ini tidak dilakukan secara individual setiap radiasi melainkan secara akumulasi. Informasi yang ditampilkan adalah intensitas radiasi yang memasuki detektor. Kelemahan cara ini adalah ketidakmampuannya memberikan informasi energi dari setiap radiasi, sedang keuntungannya proses pengukurannya jauh lebih cepat daripada cara pulsa. Meskipun proses pengukuran sistem ini lebih cepat tanggap atau respon terhadap radionuklida berbeda untuk energi

berbeda sehingga alat ukur radiasi harus dikalibrasi dengan sumber yang mempunyai tingkat energi sama dengan energi radiasi yang diukur di lapangan. Oleh karena itu sudah



merupakan suatu ketentuan bahwa setiap alat ukur radiasi harus dikalibrasi secara periodik oleh instansi yang berwenang. Hal ini dilakukan untuk menguji ketepatan nilai yang ditampilkan alat terhadap nilai sebenarnya. Perbedaan nilai antara yang ditampilkan dan yang sebenarnya harus dikoreksi dengan suatu parameter yang disebut sebagai Faktor Kalibrasi (Holnizar dan Wurdianto, 2011).

a. Botol sampel

Dalam pencacahan sampel dalam metode sintilasi cair digunakan botol yang bersifat:

1. Tahan terhadap zat kimia
2. Dapat meneruskan cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai
3. Memiliki bentuk yang baik dan mudah diproduksi
4. Relatif murah

Umumnya botol yang digunakan adalah botol botol gelas atau plastik yang berkapasitas 20 mL, untuk tempat sampel radioaktif dan flour dan botol yang lebih kecil bisa juga digunakan. Fotoelektron dan fotokatoda yang dipercepat oleh dinoda kutup positif. Percepatan fotoelektron menghasilkan elektron sekunder pada tumbukan dengan dinoda positif. Setiap elektron cepat yang dihasilkan selanjutnya menumbuk dinoda lainnya yang potensialnya lebih tinggi. Setelah percepatan elektron dari dinoda ke dinoda signal dari keluaran fotoelektron dapat digunakan 10^6 sampai 10^9 , yang pada akhirnya signal

ng dihasilkan sebanding dengan intensitas foton yang diemisikan
pl (Antoni, 1995).



b. Flouresensi

Salah satu proses yang terjadi dalam pengukuran sampel radioaktif dengan alat LSC adalah flourensi. Flouresensi adalah peristiwa pemancaran radiasi dari molekul setelah molekul menyerap radiasi. Peristiwa flouresensi hampir selalu terjadi sesudah sebagian energi vibrasi dan elektronik hilang, sehingga panjang gelombang radiasi flouresensi akan lebih panjang (frekuensinya lebih rendah) dari pada panjang gelombang radiasi absorpsi. Waktu yang diperlukan untuk berflouresensi antara 10^{-9} dan 10^{-6} detik. Flouresensi banyak digunakan untuk analisis zat-zat organik maupun anorganik (Antoni, 1995).

c. *Quenching* (Pemadaman) dan Mekanisme Pemadaman

Persoalan yang kerap dihadapi dalam penggunaan LSC adalah *quenching* (pemadaman flourensensi). Pemadaman adalah peristiwa pengurangan efisiensi pada pada proses transfer dalam larutan sintilator. Pemadaman menyebabkan menurunnya keluaran cahaya tiap partikel, konsekuensinya menghasilkan pulsa keluaran yang lebih kecil di dalam PMT atau tidak dapat menghasilkan pulsa yang dapat terdeteksi. Efisiensi pencacahan dapat berkurang karena adanya gejala pemadaman (*quenching*). Pemadaman ini dapat terjadi karena adanya oksigen atau kotoran dalam botol kering (*dry via*) sebagai wadah pelarut sintilasi. Efek pemadaman pada spektrum β^- adalah pergeseran spektrum flourosensi ke arah tenaga yang lebih rendah. Semakin besar pemadaman yang

terjadi maka spektrum flourosensi akan semakin bergeser ke kiri atau ke arah tenaga yang lebih rendah (Yarianto dkk, 2001).



Pemadaman (*quenching*) menyebabkan berkurangnya jumlah foton dalam rangkaian kondensasi dalam proses sintilasi cair, sehingga berpengaruh pada efisiensi pencacahan. Untuk mendapatkan hasil cacahan yang akurat maka perlu menaikkan efisiensi pencacahan. Berkurangnya jumlah foton yang dihasilkan dapat menyebabkan laju cacah berkurang dan akibatnya efisiensi pencacahan kecil (Elistina, 2007).

Pemadam (*quenching*) dibagi menjadi dua, yaitu pemadam kimia dan pemadam warna. Pemadam kimia terjadi sebelum sintilator memancarkan cahaya yang disebabkan ketidakmurnian sedangkan pemadam warna adalah penyerapan sinar tampak maupun UV yang dihasilkan pada proses sintilasi. Untuk meredam pemadam dan menaikkan efisiensi pencacahan maka diperlukan parameter indikator pemadam *Quenching Indicator Parameter* (Elistina, 2007).

Quenching Indikator Parameter (QIP) ini ada 2 macam yaitu *Spectral Index of the Sample* (SIS) dan *the transformed Spectral Index of the External Standard* (tSIE). SIS merupakan interaksi antara radioaktivitas sampel dan sintilasi dalam vial sampel, sedangkan *tSIE* merupakan interaksi antara radioaktivitas dari sumber eksternal (^{33}Ba) dan sintilasi dalam *vial* sampel untuk menentukan tingkat pemadam (Elistina, 2007).

2. Sintilator

ada metode pencacahan sintilasi cair sampel yang mengandung pelarut organik. Pelarut organik dilarutkan atau disuspensikan ke dalam larutan sintilator (*scintillator solution* atau *cocktail*) yang sesuai di dalam vial gelas atau



plastik. Bahan sintilator yaitu bahan yang akan memancarkan kelipan (foton) jika berinteraksi dengan partikel radiasi (Yarianto dkk, 2001).

Pada umumnya sintilator cairan terdiri atas dua sintilator. Persyaratan-persyaratan untuk mendapatkan sintilator yang baik adalah bahwa sintilator tersebut harus dapat menghasilkan panjang gelombang yang sesuai dengan respon tabung photomultiplier dan harus dapat larut dalam zat pelarut (Antoni, 1995).

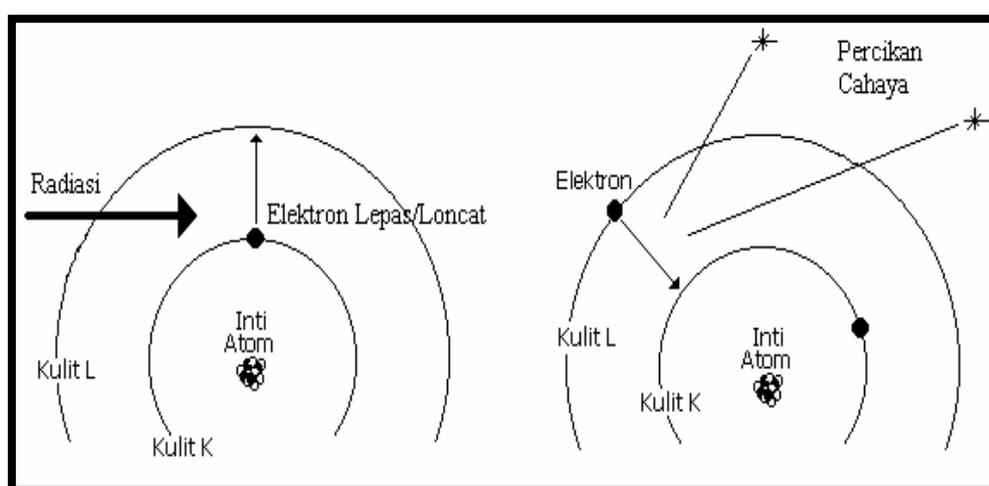
Partikel radioaktif dalam sampel yang dilarutkan dalam larutan sintilator akan bertumbukan dengan molekul pelarut yang menyebabkan molekul pelarut menjadi tereksitasi. Pada saat molekul pelarut kembali ke tingkat energi semula terjadi hamburan energi, yang sebagian kemudian diteruskan ke molekul sintilator dan kembali menyebabkan molekul sintilator tereksitasi. Pada saat kembali ke tingkat energi semula molekul sintilator ini memancarkan foton. Foton kemudian terdeteksi oleh PMT, sehingga dihasilkan pulsa listrik yang sebanding dengan energi partikel radioaktif. Adapun proses sintilasi ini dapat diperlihatkan pada gambar 2 (Tjahaja dan Mutiah, 2000).

Menurut L'Annunziata (1998) Natrium hidroksida menyerap atau perangkap CO₂ dengan reaksi yang menghasilkan larutan natrium karbonat. Kalium hidroksida melakukan dengan cara yang sama dengan membentuk kalium karbonat. Beberapa koktail LSC yang direkomendasikan untuk larutan penyerap tersebut adalah sebagai



poly-fluor, yang menerima hingga 2 mL 0,1 M natrium hidroksida/CO₂ dalam 10 mL cocktail

- b. Opti-Fluor, yang menerima hingga 5 mL dari 0,1 M natrium hidroksida /CO₂ dalam 10 mL cocktail
- c. Hionic-Fluor, yang menerima hingga 5 mL 1,0 M natrium hidroksida sepenuhnya jenuh dengan CO₂ dalam 10 mL cocktail
- d. Ultima-Flo AF yang menerima 10 mL 0,5 M NaOH/CO₂ atau 5 mL 1,0 M NaOH/CO₂ dalam 10 mL cocktail



Gambar 6. Proses terjadinya sintilasi di dalam sampel dan larutan sintilator (Tjahaja dan Mutiah, 2000)

Hionic-Fluor cocok untuk digunakan dengan larutan hidroksida-karbonat karena kapasitas sampel untuk larutan terkonsentrasi dan pH basa. Idealnya, pH akhir harus di atas 9 untuk menghindari pembebasan CO₂ yang terjebak. Cocktail yang mengandung sistem campuran surfaktan, seperti *ultima gold* atau *ultima gold XR* dapat digunakan, namun penghitungan harus dilakukan pada hari yang sama dengan koktail

memiliki potensi untuk penurunan CO₂ pada penyimpanan lama (terutama dengan menurunnya tingkat CPM). Cocktail yang mengandung



ester fosfat bebas asam seperti aquasafe tidak boleh digunakan, karena sifat asamnya akan menyebabkan cepat hilangnya ^{14}C sebagai $^{14}\text{CO}_2$ (L'Annunziata, 1998).

a. Sintilator Primer

Sintilator primer adalah pereaksi kimia yang berfungsi mengubah energi eksitasi menjadi cahaya. Banyak bahan yang dapat digunakan sebagai sintilator. Sampai saat ini masih banyak digunakan adalah PPO (2,5-diphenyloxazole), karena efisiensi sintilasinya cukup baik untuk medium yang pekat, selain itu daya larutnya baik, harga relatif rendah, dan tidak mudah bereaksi dengan pereaksi kimia lain yang terkandung dalam larutan sintilator. Selain PPO, Butil-PBD (2-4-t-butylphenyl-5-4-biphenyl-1,3,4-oxazole) dan BBOT (2-4-biphenyl-p-terhenylbenzoxazole) dapat mengemisikan sejumlah besar cahaya di daerah tampak dan yang paling efisien sebagai sintilator primer sekarang ini (Tjahaja dan Mutiah 2000).

b. Sintilator Sekunder

Sintilator sekunder merupakan pereaksi kimia yang berfungsi untuk menggeser atau mengubah panjang gelombang cahaya. Salah satu yang digunakan sebagai larutan sintilator sekunder adalah bis-MSB (P-bis-o-methylstyryl-benzene) yang mempunyai daya larut cukup baik. Contoh lain sintilator sekunder adalah POPOP atau 1,4-di-2-5-

azalil-benzena yang dipergunakan dalam sintilator cairan dan sebagai penggeser (*Shifter*) panjang gelombang. POPOP atau



1,4-di-2-5-fenilaksazalil-benzena digunakan pada sintilator cairan dalam jumlah yang kecil tetapi senyawa tersebut harus benar-benar dalam keadaan murni, karena pada umumnya detektor sintilasi sangat sensitif (Yarianto dkk, 2001).

3. Pelarut Sintilator

Menurut Antoni (1995) Zat pelarut yang baik digunakan harus dalam keadaan baik dan memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Dapat melarutkan sintilator dalam konsentrasi yang cukup
2. Dapat meneruskan energi dengan baik dari zat pelarut dari molekul-molekul sintilator
3. Mudah melarutkan cuplikan
4. Mempunyai titik beku rendah ($\leq 4\text{ }^{\circ}\text{C}$)
5. Tidak mengandung racun (non-toxic)

Pelarut yang biasa dipakai secara komersial untuk membuat larutan sintilator adalah xylen. Xylen memberikan efisiensi konversi energi yang tinggi. Contohnya adalah l-xylen mumi (orto, meta dan para) atau campuran antara dua isomer dengan perbandingan tertentu. Selain xylen, Toluen, POPOP atau 1,4-di-2-5-feniloksazolil-benzena, serta pelarut lain seperti benzena, merupakan pelarut sebagai larutan sintilator. Sintilator cair terdiri dari pelarut, pengelipprimer dan pengelip sekunder. Ketiga bahan campuran tersebut harus memenuhi syarat tertentu, yaitu dapat menangkap tenaga zarah β^- , dapat secara efisien merubah tenaga

menjadi foton (kelipan), dan foton yang dihasilkan dapat dideteksi unakan tabung pelipat ganda foton (Yarianto dkk, 2001).



a. Pelarut Primer

Pelarut primer merupakan pereaksi kimia yang berfungsi mengubah energi kinetik radiasi menjadi energi eksitasi. Pelarut primer memiliki struktur kimia yang membuat pelarut primer efisien dalam mengubah energi radiasi ke energi eksitasi. Struktur pelarut primer memberikan efisiensi tinggi adalah struktur pada senyawa hidrokarbon aromatik seperti toluen, xylen dan juga ada beberapa daftar pelarut primer yang biasa dipakai dalam metode pencacahan sintilasi cair beserta sifat fisik yang berkaitan dapat dilihat pada Tabel 2 (Tjahaja dan Mutiah, 2000).

Tabel 2. Pelarut Primer dan Sifat Fisiknya (Tjahaja dan Mutiah, 2000).

Pelarut	RPH*	Titik Leleh	Flash Point (°C)
Pseudokumene	1,12		120
p-xylen	1,10	12 sd 13	86
m-xylen	1,07		77
Xylen (campuran isomer)	1,05		77-90
Toluen	1,00		40
o-xylen	0,98		90
Benzen	0,85	5,5	12
1,4 Dioxan/naftalen	0,65	11,8	54

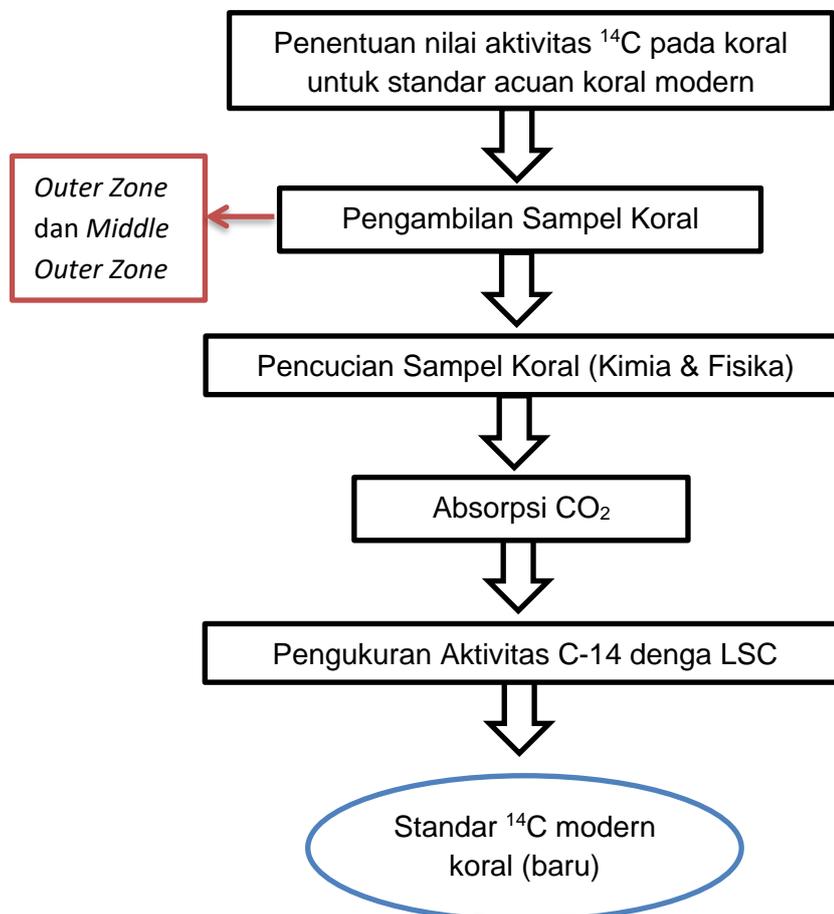
b. Pelarut Sekunder

Pelarut sekunder terdiri dari pereaksi kimia yang berfungsi menarik radioaktif ke pelarut primer. Pelarut sekunder ini bersifat meningkatkan efisiensi pelarut primer. Pelarut sekunder diperlukan untuk



sampel yang tidak larut dalam pelarut primer, agar dapat terbentuk larutan yang homogen. Air tidak larut dalam pelarut aromatik seperti toluen atau xilen, karena tingginya tegangan permukaan antara pelarut dan air. Akan tetapi, jika tegangan ini dikurangi maka air dapat berikatan dengan larutan (Tjahaja dan Mutiah, 2000).

G. Kerangka Konseptual



H. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kajian pustaka, dirumuskan hipotesis bahwa aktivitas ^{14}C modern koral pada *outer zone* dan *middle outer zone* Kepulauan Spermonde dapat dijadikan standar untuk menentukan umur fosil koral di Kepulauan Spermonde.

