

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada umumnya fosil menggambarkan kehidupan pada zaman purba, contohnya seperti fosil kayu serta merepresentasikan bagaimana keadaan baik makhluk hidup ataupun lingkungan seperti tumbuhan, hewan dan manusia. Hal terpenting dalam penentuan umur fosil kayu yaitu studi arkeologi dapat mengenal sejarah kehidupan di masa lampau. Metode pentarikan radiokarbon dalam fasa gas yaitu dianalisis umurnya dengan pencacah  $^{14}\text{C}$ . Metode ini didasarkan atas alasan bahwa proporsi  $^{14}\text{C}$  terhadap karbon udara relatif tidak berubah sejak zaman purba, sehingga sisa aktivitas radioaktif suatu sampel karbon berkorelasi dengan umur sejak sampel tersebut tidak menunjukkan aktivitas kehidupan, yang dihitung berdasarkan pemakaian angka waktu paruh peluruhan  $^{14}\text{C}$ .

### 2.1 Fosil

Fosil ialah sisa tulang belulang binatang atau sisa-sisa tumbuhan dari zaman purba yang membatu atau yang tertanam dibawah lapisan tanah. Suatu benda bisa disebut fosil apabila memiliki syarat antara lain: merupakan sisa organisme, terawetkan secara alamiah, pada umumnya padat/kompak/keras, mengandung kadar oksigen dalam jumlah sedikit, dan berumur lebih dari 10.000 tahun [7].

Dalam bidang arkeologi penemuan fosil merupakan bukti penting karena dapat memberikan informasi mengenai kondisi kehidupan pada masa lampau disuatu tempat. [8]. Fosilisasi terjadi ketika manusia, hewan, maupun tumbuhan yang mati terkubur didalam tanah dan terjadinya proses pengawetan baik secara menyeluruh, sebagian maupun jejaknya saja dengan cara penimbunan yang terakumulasi dalam sedimen [8].

Tahapan-tahapan dalam pembentukan fosil atau fosilisasi diantaranya yang pertama yaitu jenis fosil kayu dalam tanah. Kedua, yaitu tahap pergantian atau biasa sebagaimana dalam **Gambar II.1**, pergantian yang dimaksud ialah pergantian cangkang bertekstur keras dengan kandungan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) menjadi silika (Si). Ketiga, tahap perubahan dapat dilihat **Gambar II.2** bagian lunak dari batang tumbuhan berubah menjadi batu oleh presipitasi mineral yang larut dalam air sedimen [9]. Keempat, proses karbonisasi yaitu pencetakan karbon pada diagenesa dari material tumbuhan yang jatuh ke dalam lumpur atau rawa, terhindar

dari oksidasi dan tidak mengubah bentuk asalnya, seperti terdapat pada **Gambar II.3**. Terakhir, yaitu proses pencetakan terjadinya rongga pada saat diagenesa sisa makhluk hidup terlarut sebagaimana bentuk dan ukuran cetakan sesuai dengan aslinya, seperti terlihat di **Gambar II.4** terbentuknya hasil cetakan dari tumbuhan atau binatang akan berisi mineral pada isi rongganya [10].



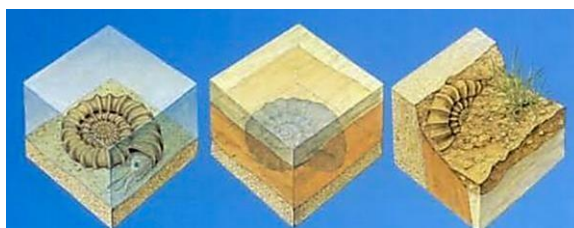
**Gambar II.1** Jenis fosil kayu berada dalam tanah. Sumber: Hynes (2006) [10]



**Gambar II.2** Proses fosilisasi batu pada kayu. Sumber: Palmer (2002) [8]



**Gambar II.3** Proses fosilisasi karbonisasi pada daun. Sumber: Hynes (2006) [10]



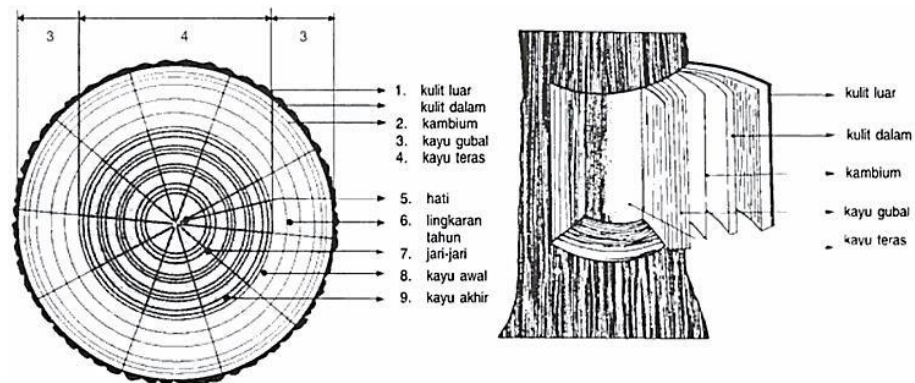
**Gambar II.4** Proses fosilisasi pencetakan pada amonit yang mati dan jatuh ke dasar laut. Sumber: Hynes (2006) [10]

## 2.2 Kayu

Pada tumbuhan terdapat bagian berbentuk batang, cabang, atau ranting yang mengeras akibat mengalami proses lignifikasi (perkayuan) yang disebut kayu. Tersusun dari sel-sel yang tumbuh berorientasi memanjang sesuai perkembangan arah batang serta terhubung diantara satu sama lain melalui lubang yang disebut empulur. Empulur merupakan jaringan lunak kering, memiliki rongga-rongga berukuran kecil dan terletak di bagian terdalam pada batang kayu tumbuhan berpembuluh yang menjadi pusat batang. Fungsi dari sel-sel kayu bervariasi tergantung bentuknya yakni sebagai kekuatan mekanik untuk penopang tubuh dari tumbuhan, alat transportasi cairan (zat makanan, air, dan mineral) serta sebagai tempat untuk menyimpan cadangan makanan [11].

Kayu memiliki kekurangan utama yaitu stabilitas dimensi untuk kelembaban rendah, kerentanan tinggi terhadap serangan biologis dan fotodegradasi UV di luar ruangan [12]. Bagian-bagian kayu terdiri dari kulit, kambium, kayu gubal, kayu teras, hati, lingkaran tahun, dan jari-jari yang dapat dilihat dalam **Gambar II.5**.

Kulit terdapat pada bagian terluar kayu dan mempunyai dua bagian yaitu kulit bagian luar yang mati dan mempunyai ketebalan yang bervariasi menurut jenis pohonnya dan kulit bagian dalam yang bersifat hidup dan tipis. Kulit berfungsi sebagai pelindung bagian-bagian yang lebih dalam terhadap kemungkinan pengaruh dari luar yang bersifat merusak, misalnya iklim, serangga, hama, kebakaran serta perusak-perusak kayu lainnya. [13]. Kambium merupakan jaringan yang mempunyai lapisan tipis dan bening, melingkari kayu. Fungsi kambium ke arah luar, kambium membentuk kulit baru menggantikan kulit lama yang telah rusak dan ke arah dalam, membentuk kayu yang baru. [13].



**Gambar II.5** Bagian-bagian kayu. Sumber: Dumanauw (2001) [13]

Kayu adalah komposit polimer yang pada dasarnya mengandung selulosa, hemiselulosa, lignin dan zat ekstraktif [14]. Zat ekstraktif termasuk zat mikromolekul yaitu zat berbobot molekul rendah yang mudah larut dalam pelarut seperti air, eter dan alkohol. Zat ekstraktif biasanya berupa senyawa lemak, lilin, resin, tanin dan lain-lain [15]. Sedangkan selulosa, hemiselulosa dan lignin merupakan zat makromolekul yang termasuk ke dalam unsur karbohidrat dan non-karbohidrat. Unsur karbohidrat terdiri dari selulosa dan hemiselulosa yang merupakan polisakarida. Sedangkan unsur non-karbohidrat terdiri dari lignin [13]. Kayu sebagian besar tersusun atas tiga unsur yaitu unsur C, H dan O. Unsur-unsur tersebut berasal dari tanah berupa  $H_2O$  dan dari udara berupa  $CO_2$ . Kandungan anorganik dalam kayu diukur sebagai kadar abu yang memiliki komponen utama Ca (hingga 50%), K dan Mg, yang diikuti oleh Na, Mn, P dan Cl [15]. Komposisi unsur kayu dapat dilihat pada **Tabel II.1**.

**Tabel II.1** Komposisi Unsur Kayu. Sumber: Haygreen (1987) [16]

Unsur	% Berat Kering
Karbon	49
Hidrogen	6
Oksigen	44
Nitrogen	Sedikit
Abu	0,1

Perbandingan komposisi kimia lignin dan hemiselulosa berbeda pada kayu keras dan kayu lunak, sedangkan selulosa merupakan komponen yang seragam pada semua kayu [11]. Perbandingan komposisi kimia dapat dilihat pada **Tabel II.2**. Selulosa merupakan komponen kayu yang terbesar dalam kayu lunak dan kayu keras, yang jumlahnya mencapai hampir setengahnya. Selulosa berfungsi sebagai komponen struktur utama dinding sel tumbuhan [15].

Hemiselulosa merupakan heteropolisakarida yang memiliki fungsi sama dengan selulosa sebagai bahan pendukung dalam dinding sel. Hemiselulosa bersifat non-kristalin dan tidak bersifat serat. Hemiselulosa mengikat lembaran serat selulosa membentuk mikrofibril yang mengikat stabilitas pada dinding sel kayu. [11].

Lignin merupakan komponen makromolekuler dinding sel ketiga. Lignin tersusun dari satuan-satuan fenilpropan yang tersusun atas karbon, hidrokarbon dan oksigen [17]. Lignin terdapat diantara sel-sel yang berfungsi sebagai pengikat sel-sel dan pada dinding sel lignin berfungsi sebagai penguat dinding sel kayu. Lignin pula berpengaruh dalam mempertinggi sifat racun pada kayu sehingga membuat kayu tahan terhadap serangan serangga dan cendawan [16].

**Tabel II.2** Komponen kimia menurut golongan kayu. Sumber: Haygreen (1987) [16]

Tipe	% Berat Kering		
	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin
Kayu Keras	40-44	15-35	18-25
Kayu Lunak	40-44	20-32	25-35

### 2.3 Fosil Kayu

Fosil kayu memiliki nilai sejarah yang tak ternilai karena dapat menjadi bukti hidupnya suatu jenis pohon tertentu pada zaman pra sejarah yang tak ternilai. Salah satu ciri ditemukannya fosil kayu yaitu produk gunung api tersier. Fosil kayu merupakan kayu yang sudah membantu diamana semua bahan organik telah digantikan oleh mineral (silika atau sejenis kuarsa), dengan stuktur kayu tetap terjaga. [13].



Proses pembentukan fosil kayu dimulai dari masuknya air yang mengandung mineral ke dalam sel-sel pohon melapisi lignin dan selulosa yang membusuk sehingga membatu yang disebut permineralisasi secara kimiawi maupun fisika [18]. Kayu memiliki unsur dominan yaitu karbon, saat kayu mati maka unsur karbon di dalam kayu digantikan oleh mineral yaitu silika yang terkandung pada air di dalam tanah sehingga kayu membatu dan disebutlah fosil kayu [19].

Kayu yang membatu dapat mempertahankan struktur aslinya secara keseluruhan hingga tingkat mikroskopiknya, seperti struktur-struktur cincin, lingkaran tahun dan berbagai macam jaringan yang terdapat dalam kayu [20]. Proses pembentukan kayu menjadi fosil terjadi dalam kurun waktu yang cukup lama sekitar ribuan atau jutaan tahun, semakin sedikitnya kandungan organik (senyawa karbon) didalam sampel dan semakin banyaknya kandungan mineral di dalam sampel maka semakin tua umur dari sampel kayu tersebut dan begitupun sebaliknya [2]. Dapat dilihat contoh dari fosil kayu pada **Gambar II.6**.



**Gambar II.6** Fosil Kayu. Sumber: Yoon (2008) [19]

#### **2.4 Kandungan Mineral Fosil Kayu**

Fosil mempunyai peran penting dalam memineralisasi jaringan yang berfungsi dalam peristiwa biologi dan kimia pada fosil tersebut. Jaringan yang termineralisasi adalah struktur komposit dari anorganik, organik dan sel-sel. Mineral yang terkandung dalam fosil sudah banyak berubah akibat adanya tekanan, pH, konsentrasi ion. Perubahan mineral pada fosil bertujuan untuk menyeimbangkan kondisi kimia maupun fisik pada fosil tersebut [21]. Mineral pada fosil kayu terdapat berbagai unsur disamping unsur karbon misalnya Si, Zn, Cu, Pb, Ca, Mn,

Fe, P, K, Ti, dan Al. Dalam peta distribusi unsur memungkinkan kolerasi antara fosil dengan unsur-unsur kimia yang dikandungnya, mineral yang sering tampak pada analisis *X-ray Flourescence* (XRF) adalah Si, Al, Ca, dan Fe [22].

## 2.5 Pentarikan Radiokarbon

Pentarikan radiokarbon ini telah ditemukan oleh Willard F. Libby guru besar kimia University of Chicago dan koleganya pada tahun 1950. Berkat penemuannya itu, ia mendapatkan hadiah nobel untuk kimia pada tahun 1960. Pentarikan radiokarbon merupakan suatu metoda penentuan umur absolut dengan memanfaatkan material yang mengandung unsur karbon (senyawa organik) dan menggunakan isotop  $^{14}\text{C}$  (karbon-14) untuk pengukuran umur yang terdapat didalam suatu sampel dengan kisaran waktu tidak lebih dari  $\pm 50.000$  B.P. (*before present*) tahun yang lalu atau “sebelum sekarang” [23].

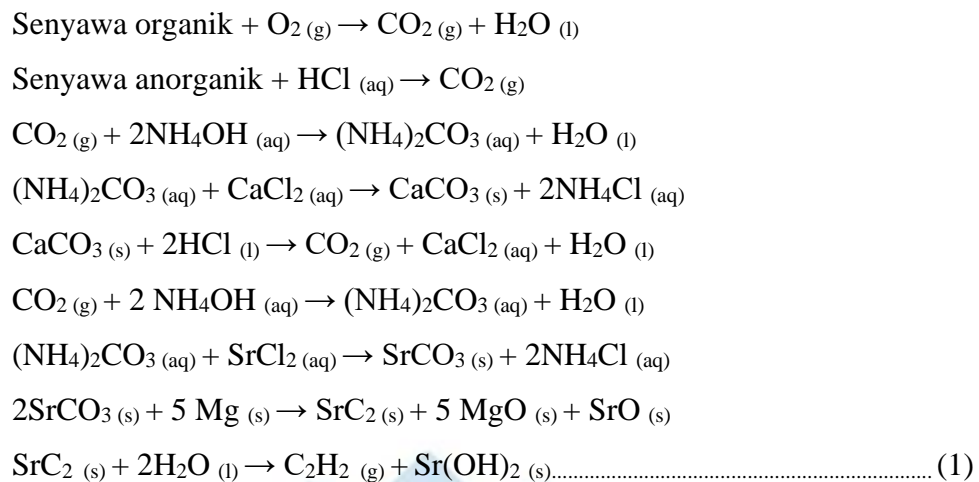
Penentuan umur dapat dilakukan dalam bentuk padat, cair dan gas. Diantara ketiga metode tersebut, bentuk gas adalah metode yang sering dilakukan karena mengingat interpretasi ketelitiannya baik dan preparasinya tidak menyulitkan. Pengukuran pada fasa gas dalam bentuk gas asetilena ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) adalah metode yang sering dilakukan di lingkup pengujian radiokarbon, Pusat Survei Geologi Bandung. Dalam pembentukan gas asetilena dilakukan beberapa tahapan pengerjaan dimulai dari preparasi, pencucian, pengendapan, pembentukan karbida setelah itu pembentukan gas asetilena [23].

### 2.5.1 Pengukuran Radiokarbon $^{14}\text{C}$

Cara penentuan umur fosil melalui kandungan radionuklida ini disebut penanggalan radioaktif atau disebut juga pengukuran radiokarbon [24]. Metode pengukuran atau penanggalan radiocarbon merupakan metode yang bisa digunakan untuk mengukur umur semua benda selama memiliki isotop  $^{14}\text{C}$  di dalamnya, baik benda organik maupun anorganik.

Metode penanggalan radiokarbon ini didasarkan atas alasan bahwa proporsi  $^{14}\text{C}$  terhadap karbon (C) diudara relatif tidak berubah semenjak zaman purba, sehingga sisa aktivitas radioaktif suatu organisme berkolerasi dengan umur ketika organisme tersebut mati [25]. Umur dari organisme tersebut dihitung berdasarkan pemakaian angka waktu paruh peluruhan  $^{14}\text{C}$  yaitu 5568 tahun [26], penentuan

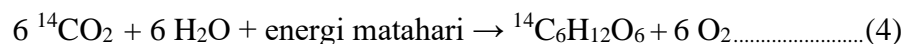
umur dilakukan dalam bentuk gas asetilen ( $C_2H_2$ ) dengan tahapan-tahapan reaksi sebagai berikut [27]:



Setiap pengukuran dari suatu sampel dilakukan tergantung pada kepekaan detektor terhadap sinar kosmik di atmosfer, sehingga perlu adanya koreksi bilangan aktivitas isotop  $^{14}C$  yang terukur, yakni dengan menggunakan *background counting* (yang dianggap sebagai titik nol dari aktivitas  $^{14}C$  pada alat). *Background counting* ini biasanya menggunakan bahan berupa karbon yang berumur sangat tua, seperti marmer, koral, batu gamping, batubara, dan lain-lain. Bahan tersebut dianggap sebagai karbon yang sudah mati sehingga tidak ada aktivitas karbon radioaktifnya. *Background counting* dalam rumus penentuan umur disebut dengan karbon mati atau *Dead Carbon* (DC) [28].

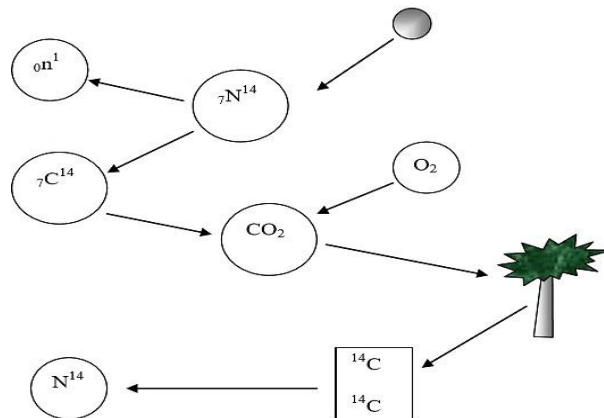
### 2.5.2 Pembentukan Radioisotop $^{14}C$

Isotop  $^{14}C$  yang terbentuk di atmosfer dan dapat jatuh ke bumi bersamaan dengan angin, hujan maupun salju. Ketika masuk ke atmosfer bumi, isotop  $^{14}C$  akan bereaksi dengan oksigen membentuk karbon dioksida ( $^{14}CO_2$ ). Kemudian melalui penyerapan oleh akar dan proses fotosintesis dengan bantuan klorofil daun pada tanaman, molekul  $CO_2$  memasuki jaringan tanaman yang dapat dilihat pada **Gambar II.7**. Sehingga dalam proses fotosintesis tersebut akan dihasilkan karbohidrat berupa glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) melalui persamaan reaksi sebagai berikut [24]:





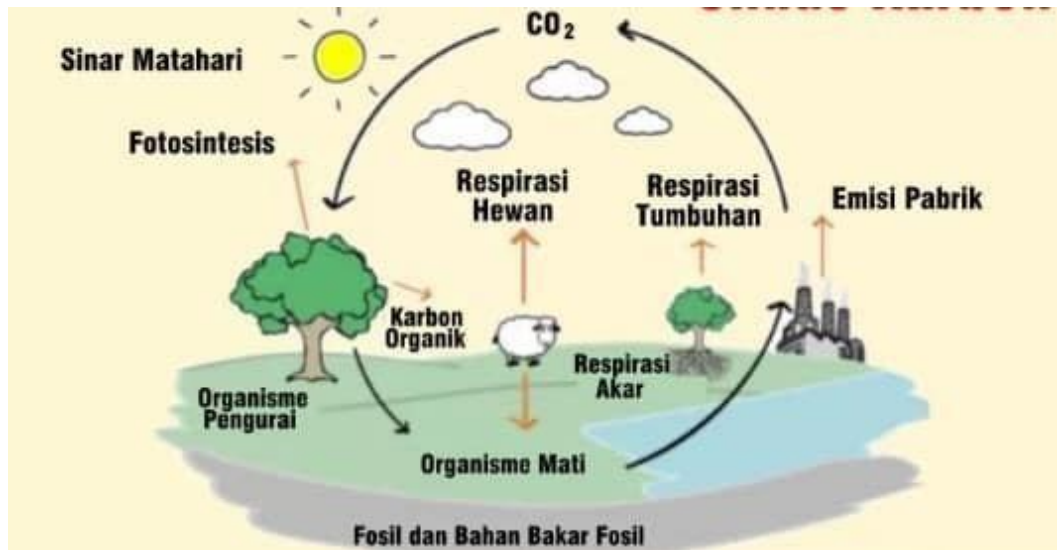
Kandungan isotop  $^{14}\text{C}$  relatif stabil pada organisme hidup karena terjadinya kesetimbangan antara yang hilang dengan yang masuk. Namun, setelah organisme tersebut mati maka isotop  $^{14}\text{C}$  yang masuk terhenti sehingga mengakibatkan jumlah isotop  $^{14}\text{C}$  di dalam tubuh organisme akan berkurang dikarenakan  $^{14}\text{C}$  akan meluruh menjadi  $^{14}\text{N}$  yang stabil [23]. Tanaman hijau yang mengalami fotosintesis memperoleh unsur karbon dari udara dan karbohidrat yang dihasilkan tanaman tersebut merupakan sumber makanan bagi makhluk hidup sehingga dapat berperan sebagai sumber karbon dalam tubuh makhluk hidup (manusia dan hewan) baik secara langsung maupun tidak langsung melalui rantai makanan yang panjang [24].



**Gambar II.7** Pembentukan Radioisotop  $^{14}\text{C}$  dalam jaringan tanaman. Sumber: Satrio (2000) [29]

Tanaman hijau menyerap atau mengambil karbon dioksida agar tetap hidup, sehingga mengakibatkan tanaman hijau mengandung karbon radioaktif yang terbawa bersama dengan karbon dioksida. Makhluk hidup memakan tanaman sehingga makhluk hidup pun memiliki radiokarbon didalam tubuhnya, akan tetapi makhluk hidup yang telah mati jasadnya tidak lagi menyerap radiokarbon dan radiokarbon yang dikandungnya terus menerus akan meluruh. Setelah 5568 tahun (waktu paruh  $^{14}\text{C}$ ), benda itu hanya memiliki setengah jumlah radiokarbon relatif terhadap kandungan karbon total seperti yang dikandungnya ketika berada dalam keadaan hidup. Dengan menentukan perbandingan radiokarbon terhadap karbon biasa, kita dapat menentukan umur benda purba dan jasad yang berasal dari benda organik. Metode yang baik ini memungkinkan penentuan umur murni tanah, kayu, batu bara, dan benda-benda lain dari kebudayaan yang umurnya sampai 50.000 tahun, sekitar sembilan kali umur paruh  $^{14}\text{C}$ . Pembentukan  $\text{CO}_2$  dalam siklus hidrologi seperti yang dapat dilihat pada **Gambar II.8**.  $\text{CO}_2$  yang terdapat diudara

jatuh bersama air hujan dan masuk ke dalam siklus hidrologi dengan cara turun ke permukaan tanah dan memasuki aliran air tanah.



**Gambar II.8** Pembentukan CO<sub>2</sub> dalam siklus hidrologi. Sumber: Satrio (2000)

[29]

Pada saat pertama kali air hujan jatuh, air hujan tersebut masih memiliki umur modern. Selama perjalanan air hujan tersebut menembus lapisan tanah, aktivitas radioisotop <sup>14</sup>C yang terkandung dalam CO<sub>2</sub> terlarut tersebut terus mengalami proses peluruhan sejalan dengan waktu paruhnya. Sehingga semakin jauh perjalanannya, aktivitas radioisotop <sup>14</sup>C semakin menurun sehingga semakin tua umur dari air tersebut [29].

### 2.5.3 Dead Carbon (DC)

*Dead Carbon* (DC) atau karbon mati merupakan suatu material yang dianggap tidak memberikan aktivitas radioaktif atau memiliki aktivitas yang mendekati nol dan digunakan sebagai koreksi terhadap sinar kosmik atmosfer yang terhitung oleh alat pencacah proporsional. Material yang dapat dijadikan sebagai *dead carbon* diantaranya adalah batu bara, lignit, karbonat tua, marmer, antrasit dan kayu rawa [30].

Marmer merupakan salah satu material *dead carbon* yang terbentuk jutaan tahun yang lalu dan material ini berasal dari proses fosilisasi organisme hidup yang tentunya mengandung pula isotop <sup>14</sup>C pada jaringannya [23].

#### 2.5.4 Before Present (B.P.)

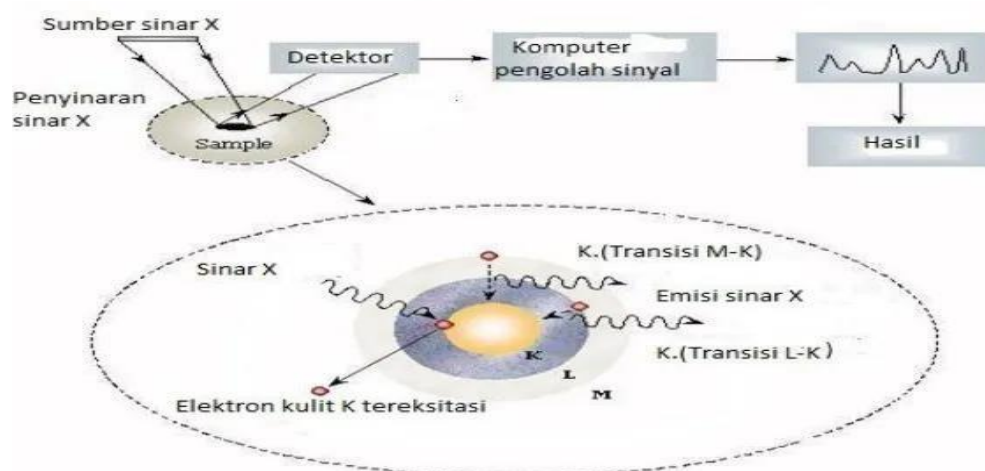
*Before Present* (B.P.) adalah skala waktu yang digunakan dalam istilah geologi dan disiplin ilmu lainnya yang secara spesifik menunjukkan kejadian yang telah terjadi, karena '*present*' merupakan perubahan waktu, maka ditetapkan tanggal 1 Januari 1950 sebagai standar skala waktu, seperti yang digunakan dalam penanggalan radiokarbon. Penanggalan radiokarbon pertama kali digunakan pada tahun 1940, awal mula pengukuran radiokarbon pada tahun 1950 sebagai skala waktu acuan untuk *before present* (B.P.) [31].

#### 2.5.5 Metode Deteksi

Pada tahun 1928 Geiger dan Mueller membuat alat pencacah untuk menentukan radiasi  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ . Alat pencacah Geiger-Mueller kemudian dikembangkan suatu alat yang khusus untuk menentukan radioaktivitas isotop  $^{14}\text{C}$  (yang menghasilkan partikel  $\beta$ ) dalam bentuk asetilen. Penentuan umur dengan metode radiokarbon dengan menggunakan alat pencacah radiocarbon [23].

### 2.6 X-ray Fluorescence (XRF)

*X-ray Fluorescence* adalah teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dengan dasar interaksi sinar-X dengan material analit. Teknik ini banyak digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang terutama banyak terdapat dalam batuan dan mineral. Sampel yang digunakan biasanya berupa serbuk hasil penggilingan atau pengepresan menjadi bentuk pelet.



**Gambar II.9** Prinsip kerja *x-ray fluorescence*

Prinsip kerja dari alat ini adalah foton yang memiliki energi tinggi (*X-Ray*) menembak elektron pada kulit dalam (biasanya kulit K atau L) yang menyebabkan elektron tersebut berpindah ke lapisan kulit luarnya, kekosongan elektron kulit dalam menyebabkan keadaan menjadi tidak stabil sehingga membuat elektron dari kulit bagian atasnya berpindah mengisi kekosongan tersebut dengan cara mengemisikan sinar (*Fluorescence*), dengan energi sebesar perbedaan energi dari kedua keadaan dan panjang gelombang yang sesuai dengan karakteristik dari tiap elemen.

Intensitas sinar yang diemisikan akan sebanding dengan konsentrasi dari tiap elemen yang terkandung. Intensitas sinar-X karakteristik untuk setiap unsur ditentukan dengan cara merotasikan kristal dan detektor pada sudut yang dibutuhkan untuk mendifraksi panjang gelombang karakteristik tersebut. Intensitas sinar-X kemudian diukur untuk setiap unsur dan setiap unsur pada standar yang telah diketahui konsentrasinya [2].

