

**PENENTUAN RADIOAKTIVITAS GROSS  $\beta$   
SERTA IDENTIFIKASI RADIONUKLIDA ALAM DENGAN  
METODE SPEKTROMETRI  $\gamma$  PADA SAMPEL MINYAK  
GORENG DAN KECAP**

**Skripsi**

**Oleh:  
Jundiana  
0210930022-93**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2007**

**PENENTUAN RADIOAKTIVITAS GROSS  $\beta$   
SERTA IDENTIFIKASI RADIONUKLIDA ALAM DENGAN  
METODE SPEKTROMETRI  $\gamma$  PADA SAMPEL MINYAK  
GORENG DAN KECAP**

**Skripsi**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
gelar Sarjana Sains dalam bidang Fisika



Oleh :  
**JUNDIANA**  
0210930022 – 93

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2007**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**PENENTUAN RADIOAKTIVITAS GROSS  $\beta$  SERTA  
IDENTIFIKASI RADIONUKLIDA ALAM DENGAN  
METODE SPEKTROMETRI  $\gamma$  PADA SAMPEL MINYAK  
GORENG DAN KECAP**

Oleh :

**JUNDIANA  
0210930022-93**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal .....  
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Telah diperiksa dan disahkan oleh :

**Menyetujui,**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Dr.Ir.Agus Taftazani  
NIP. 330 002 278**

**Drs.Unggul. P. Juswono, M.Sc  
NIP.131 879 050**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Drs.Adi Susilo, M.Si., Ph.D  
NIP.131 960 447**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**PENENTUAN RADIOAKTIVITAS GROSS  $\beta$   
SERTA IDENTIFIKASI RADIONUKLIDA ALAM DENGAN  
METODE SPEKTROMETRI  $\gamma$  PADA SAMPEL MINYAK  
GORENG DAN KECAP**

Oleh :  
**JUNDIANA**  
**0210930022-93**

**Mengesahkan,**

**Kepala**  
**Bidang Kimia dan Teknologi Proses**  
**Bahan**

**Pembimbing**  
**PTAPB-BATAN Yogyakarta**

**Dr.Ir.Agus Taftazani**  
**NIP.330 002 278**

**Dr.Ir.Agus Taftazani**  
**NIP. 330 002 278**

**Kepala**  
**Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan**  
**BATAN Yogyakarta**

**Prof. Drs. Sudjatmoko, SU**  
**NIP.330 001 101**

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Jundiana  
NIM : 021093022-93  
Program Studi : Fisika

Penulis Tugas Akhir :

### **PENENTUAN RADIOAKTIVITAS GROSS $\beta$ SERTA IDENTIFIKASI RADIONUKLIDA ALAM DENGAN METODE SPEKTROMETRI $\gamma$ PADA SAMPEL MINYAK GORENG DAN KECAP**

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Tugas Akhir ini adalah benar-banar karya sendiri, dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka TA ini, semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi.
2. Apabila di kemudian hari ternyata diketahui bahwa isi Tugas Akhir saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, April 2007  
Yang menyatakan,

(Jundiana)  
NIM.0210930022-93

# **PENENTUAN RADIOAKTIVITAS GROSS $\beta$ SERTA IDENTIFIKASI RADIONUKLIDA ALAM DENGAN METODE SPEKTROMETRI $\gamma$ PADA SAMPEL MINYAK GORENG DAN KECAP**

## **ABSTRAK**

Telah dilakukan pengukuran radioaktivitas Gross  $\beta$  serta identifikasi radionuklida pemancar  $\gamma$  pada sampel kecap, minyak goreng jagung, minyak goreng kelapa, dan minyak goreng kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung besarnya radioaktivitas gross  $\beta$ , mengidentifikasi radionuklida pemancar  $\gamma$ , dan melakukan pendugaan adanya jenis radionuklida penyumbang paparan radiasi  $\beta$  pada sampel minyak goreng dan kecap. Alat yang digunakan adalah alat cacah latar rendah dengan detector GM dan Spektrometer  $\gamma$  dengan detector Ge(Li).

Dari hasil penelitian didapatkan aktivitas (gross)  $\beta$  pada sampel kecap berkisar antara (0,01 – 0,16)Bq/g, pada sampel minyak goreng dari jagung berkisar antara (0,12 – 0,16)Bq/g, pada sampel minyak goreng dari kelapa berkisar antara (0,06 – 0,23)Bq/g, dan pada sampel minyak goreng dari kelapa sawit didapatkan aktivitas jenis gross  $\beta$  berkisar antara (0,1 - 0,15)Bq/g. Hasil aktivitas (gross)  $\beta$  menunjukkan harga yang masih berada dalam batas maksimum cemaran radioaktif pada buah dan sayuran segar maupun yang terolah menurut Keputusan Menteri Kesehatan RI No.00474 / B / II / 87, yaitu sebesar 300 Bq/kg.

Hasil identifikasi radionuklida alam dengan metode Spektrometri  $\gamma$  menunjukkan adanya 3 jenis radionuklida yang terdeteksi yaitu :  $^{208}\text{Tl}$  (583,704 keV),  $^{214}\text{Bi}$  (609,841 keV), dan  $^{40}\text{K}$  (1460,304 keV). Diduga radionuklida yang menjadi penyumbang paparan radiasi  $\beta$  dalam sampel minyak goreng dan kecap adalah radionuklida yang terdeteksi pada Spektrometer  $\gamma$  ( $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , dan  $^{40}\text{K}$ ), dan berasal dari unsur-unsur kimia yang terkandung dalam bahan baku dalam pembuatan minyak goreng dan kecap

# DETERMINATION OF GROSS $\beta$ RADIOACTIVITIES AND IDENTIFICATION OF NATURAL RADIONUCLIDE WITH $\gamma$ -SPECTROMETRY ON COOKING OIL AND SOY SAUCE

## ABSTRACT

The measurement of gross- $\beta$  radioactivity and identification of radionuclide in soy sauce, corn cooking oil, coconut cooking oil, and palm cooking oil has been done. This research was carried out to count value of the gross- $\beta$  radioactivity, identify  $\gamma$  - emitter radionuclides, and consider kind of radionuclides which radiate  $\beta$  in cooking oil and soy sauce. The instruments used for the analysis radioactivity are the low level counter with GM detector and  $\gamma$  - spectrometer with Ge (Li) detector.

The result showed that the gross -  $\beta$  activity in soy sauce was around (0,01 – 0,16) Bq/g, in corn oil was around (0,12 – 0,16) Bq/g, in coconut oil was around (0,06 – 0,23) Bq/g, and in oil palm was around (0,1 - 0,15) Bq/g. The result of the gross-  $\beta$  activity showed that the value was still under maximum radioactive pollution at fruit and fresh vegetable although it's processed according to Indonesian Republic Ministry of Health No.00474 / B / II / 87, is 300 Bq/kg.

The result of identification of radionuclide by  $\gamma$ -Spectrometry technique showed three natural radionuclides, they are:  $^{208}\text{Tl}$  (583,704 keV),  $^{214}\text{Bi}$  (609,841 keV), and  $^{40}\text{K}$  (1460,304 keV). Considered kind of radionuclides which radiate  $\beta$  in cooking oil and soy sauce are radionuclides that is identified in  $\gamma$ -Spectrometer ( $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , and  $^{40}\text{K}$ ), and from chemical elements in raw material which used to make cooking oil and soy sauce.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul : *Penentuan Radioaktivitas Gross  $\beta$  serta Identifikasi Radionuklida Alam dengan Metode Spektrometri  $\square$  pada Sampel Minyak Goreng dan Kecap*. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penulisan Tugas Akhir ini, khususnya kepada :

1. Ayahanda, Ibunda, Kakak, Adik, serta seluruh keluarga atas segala limpahan kasih sayang, do'a dan kepercayaan yang telah diberikan selama ini.
2. Bapak Prof. Drs. Sudjatmoko, SU., selaku Kepala Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan BATAN Yogyakarta.
3. Bapak Drs. Adi Susilo, M.Si, PhD., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr.Ir.Agus Taftazani, selaku Pembimbing I yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Drs.Unggul P.Juswono, M.Sc., selaku pembimbing II yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Bapak KH.Suyuthi Asyrof dan Ibu Nyai Hj.Masruroh Fahmi selaku Pengasuh PP.Al-Mubarak, yang tak henti-hentinya mendidik serta mendoakan penulis sehingga penulis lebih memahami arti kehidupan ini.
7. Teman-teman Fisika '02 yang telah banyak membantu dan memberi semangat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. The Big Family of Al-Mubarak, wa bil khusus angkatan '02 yang telah memberikan semangat, do'a, serta kasih sayangnya kepada penulis selama ini.
9. Seluruh karyawan dan laboran Bidang Kimia dan Teknologi Proses Bahan PTAPB-BATAN Yogyakarta, atas semua bantuannya selama melakukan penelitian.

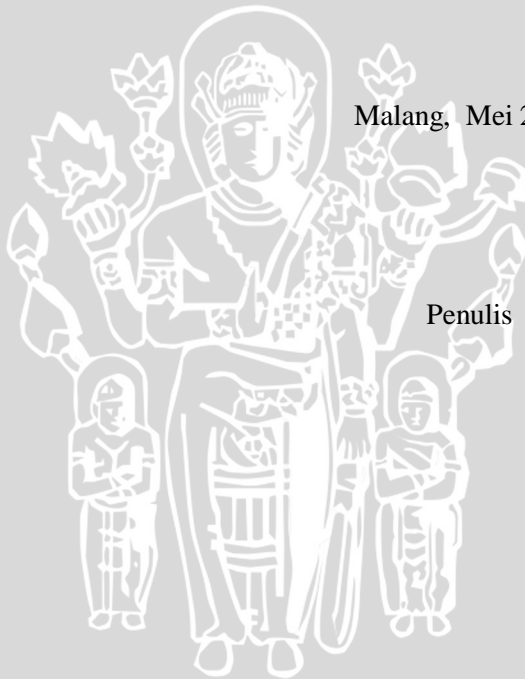


10. Seluruh civitas akademik Jurusan Fisika Universitas Brawijaya Malang, serta semua pihak yang telah membantu dalam penulisan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Amien ..... ~

Malang, Mei 2007

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>ABSTRAK / ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>BAB I : PENDAHULUAN</b>	
1.1.Latar Belakang .....	1
1.2.Rumusan Masalah.....	2
1.3.Batasan Masalah .....	3
1.4.Tujuan Penelitian .....	3
1.5.Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II : TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1.Radioaktivitas .....	5
2.1.1.Pengertian Radioaktivitas .....	5
2.1.2.Kinetika Peluruhan .....	5
2.1.3.Aktivitas .....	6
2.1.4.Kestabilan Inti .....	7
2.1.5.Macam-macam Peluruhan Radioaktif .....	8
2.2.Radioaktivitas Lingkungan.....	11
2.3.Interaksi Sinar $\gamma$ dengan Materi .....	11
2.4.Dosis-dosis Radiasi.....	14
2.5.Efek Radiasi Terhadap Tubuh Manusia .....	16
<b>BAB III : METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1.Waktu dan Tempat Penelitian .....	19
3.2.Alat dan Bahan .....	19
3.3.Prosedur Penelitian .....	19
3.3.1.Pengumpulan Sampel .....	20
3.3.2.Preparasi Sampel .....	21
3.3.3.Uji Kestabilan Alat .....	22
3.3.4.Kalibrasi Alat Cacah.....	22
3.3.4.1. Kalibrasi Spektrometer $\gamma$ .....	22

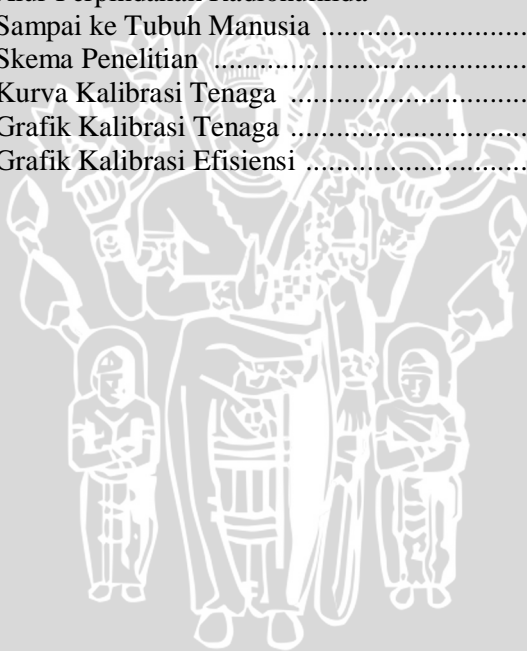
3.3.4.2. Kalibrasi Efisiensi Pencacah Gross $\beta$ .....	24
3.3.5. Proses Pencacahan Cuplikan.....	24
3.3.5.1. Pencacahan Radioaktivitas $\gamma$ serta Identifikasi Radionuklida.....	24
3.3.5.2. Pencacahan Radioaktivitas Gross $\beta$ .....	24
3.3.6. Analisa Data .....	25
3.3.6.1. Aktivitas Jenis Pemancar $\gamma$ .....	25
3.3.6.2. Aktivitas Jenis Gross $\beta$ .....	26
<b>BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Uji Kestabilan Alat .....	27
4.2. Hasil Kalibrasi Alat Cacah .....	28
4.2.1. Hasil Kalibrasi Tenaga dan Kalibrasi Efisiensi pada Spektrometer $\gamma$ .....	28
4.2.2. Hasil Kalibrasi Efisiensi Pencacah Gross $\beta$ .....	31
4.3. Hasil Pencacahan dan Perhitungan .....	31
4.3.1. Hasil Identifikasi Radionuklida Alam serta Hasil Pencacahan dan Perhitungan Aktivitas $\gamma$ .....	31
4.3.2. Hasil Pencacahan dan Perhitungan Aktivitas Gross $\beta$ .....	33
<b>BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1. Kesimpulan.....	39
5.2. Saran .....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1.	Grafik Perbandingan antara Z dan N .....	7
Gambar 2.2.	Skema Peluruhan $^{226}\text{Ra}$ .....	8
Gambar 2.3.	Skema Peluruhan $^{137}\text{Cs}$ .....	9
Gambar 2.4.	Skema Peluruhan $^{22}\text{Na}$ .....	10
Gambar 2.5.	Skema Peluruhan $^{60}\text{Co}$ .....	10
Gambar 2.6.	Efek Fotolistrik .....	12
Gambar 2.7.	Hamburan Compton .....	13
Gambar 2.8.	Pembentukan Pasangan .....	14
Gambar 2.9.	Alur Perpindahan Radionuklida Sampai ke Tubuh Manusia .....	20
Gambar 3.1.	Skema Penelitian .....	20
Gambar 3.2.	Kurva Kalibrasi Tenaga .....	23
Gambar 4.1.	Grafik Kalibrasi Tenaga .....	29
Gambar 4.2.	Grafik Kalibrasi Efisiensi .....	30



## DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1.	Dosis maksimum pada jaringan atau organ .....	14
Tabel 3.1.	Beberapa harga batas Chi_Square .....	22
Tabel 4.1.	Hasil pencacahan sumber standar $^{90}\text{Sr}$ pada sistem pencacah Gross $\beta$ dan sumber standar $^{137}\text{Cs}$ pada sistem spektrometri $\gamma$ .....	27
Tabel 4.2.	Hasil pencacahan $^{152}\text{Eu}$ .....	29
Tabel 4.3.	Hasil pencacahan dan perhitungan efisiensi menggunakan sumber standar $^{152}\text{Eu}$ .....	31
Tabel 4.4.	Hasil identifikasi radionuklida pemancar $\gamma$ pada sampel kecap .....	31
Tabel 4.5.	Hasil identifikasi radionuklida pemancar $\gamma$ pada sampel minyak jagung .....	32
Tabel 4.6.	Hasil identifikasi radionuklida pemancar $\gamma$ pada sampel minyak kelapa .....	32
Tabel 4.7.	Hasil identifikasi radionuklida pemancar $\gamma$ pada sampel minyak sawit .....	32
Tabel 4.8.	Hasil perhitungan aktivitas jenis rerata Gross $\beta$ pada sampel kecap .....	34
Tabel 4.9.	Hasil perhitungan aktivitas jenis rerata Gross $\beta$ pada sampel minyak jagung .....	34
Tabel 4.10.	Hasil perhitungan aktivitas jenis rerata Gross $\beta$ pada sampel minyak kelapa .....	34
Tabel 4.11.	Hasil perhitungan aktivitas jenis rerata Gross $\beta$ pada sampel minyak sawit .....	34

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Contoh perhitungan aktivitas Gross  $\beta$  dan Tabel hasil pencacahan dan perhitungan aktivitas gross  $\beta$
- Lampiran 2. Contoh perhitungan aktivitas pemancar  $\gamma$  dan Tabel hasil pencacahan dan perhitungan aktivitas  $\gamma$
- Lampiran 3. Hasil Uji Chi\_Square
- Lampiran 4. Perhitungan Aktivitas  $^{152}\text{Eu}$
- Lampiran 5. KURVA KALIBRASI EFISIENSI LBC
- Lampiran 6. Hasil penimbangan berat & besarnya efisiensi Gross  $\beta$  pada masing-masing cuplikan setelah dicocokkan dengan grafik LBC K – 40
- Lampiran 7. The Gamma Rays of The Radioanuclides : Tables Applied Gamma Ray Spectrometry
- Lampiran 8. Spektrum Gamma  $^{152}\text{Eu}$
- Lampiran 9. Table of Atomic Masses
- Lampiran 10. Foto Cuplikan dan Alat
- Lampiran 11. Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor :  
00474 / B / II / 87 Tentang Keharusan Menyertai  
Sertifikat Kesehatan dan Sertifikat Bebas Radiasi  
Untuk Makanan Impor
- Lampiran 12. Komposisi & Informasi Nilai Gizi pada Sampel  
Minyak Goreng & Kecap

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Sebagaimana kita ketahui bahwa minyak goreng dan kecap merupakan salah satu produk industri bahan makanan yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Diketahui, konsumsi minyak goreng di Indonesia mencapai 16,5 kg pertahun dimana 12,7 kg-nya merupakan minyak goreng sawit ([www.smurfink.blogspot.com](http://www.smurfink.blogspot.com)). Begitu juga dengan kecap, keberadaan kecap di Indonesia sangat disukai sehingga kebutuhannya semakin meningkat dari tahun ke tahun ([www.kompas.com/kesehatan/news/0404/11/143157.htm](http://www.kompas.com/kesehatan/news/0404/11/143157.htm)).

Diketahui, bahwa bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan minyak goreng dan kecap adalah berasal dari tumbuhan. Kedelai misalnya, digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan kecap dan kelapa sawit yang digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan minyak goreng sawit.

Ditinjau dari bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan minyak goreng dan kecap, maka dimungkinkan adanya perpindahan radionuklida yang berasal dari tanah kemudian terserap oleh tanaman melalui akar. Radionuklida yang terdapat dalam tanaman dapat mencapai manusia secara langsung, yaitu dengan mengkonsumsi makanan dari hasil olahan tanaman tersebut. Seperti halnya mengkonsumsi minyak goreng dan kecap yang merupakan hasil olahan dari tanaman. Sehingga, radionuklida yang ada dalam minyak goreng dan kecap dimungkinkan berasal dari bahan dasar yang digunakan.

Kedelai sebagai bahan dasar pembuatan kecap diketahui mengandung unsur kimia yang dominan berupa Fosfor (P). Fosfor (P) mempunyai beberapa radioisotop seperti  $^{32}\text{P}$  dan  $^{33}\text{P}$ , sehingga bersifat radioaktif yang sama-sama sebagai pemancar  $\beta^-$ . Selain Fosfor, kedelai juga mengandung unsur Ca dan K yang juga mempunyai radioisotop. Begitu juga kelapa sawit sebagai bahan dasar dalam pembuatan minyak goreng sawit, diketahui mengandung unsur kimia berupa Fe dan Cu. Kedua unsur kimia tersebut sama-sama mempunyai radioisotop pemancar  $\beta^-$  ( Tipler dan Llewellyn, 2002).

Apabila manusia mengkonsumsi makanan yang mengandung radionuklida, maka secara tidak langsung radionuklida akan masuk

ke dalam tubuh manusia dan akan mengendap pada jaringan/organ tubuh tertentu. Radionuklida yang masuk ke dalam tubuh manusia dapat menyebabkan gangguan pada jaringan/organ pada tubuh manusia, sehingga terjadinya gangguan pada kesehatan manusia.

Menurut Thayib (1985), radionuklida adalah bahan dalam alam lingkungan hidup yang bersifat khusus dengan konfigurasi unsur kimia tak mantap dan mengalami peluruhan radioaktif sambil memancarkan radiasi dalam bentuk partikel  $\alpha$  atau  $\beta$  dan sinar X serta sinar  $\gamma$ . Interaksi radiasi dengan bahan material biologis mengakibatkan energi dilepaskan ke material ini dengan menyebabkan terjadinya berbagai macam pengaruh yang merusak. Dengan demikian, radiasi dapat merusak dan mengganggu kesehatan manusia, meskipun dengan berbagai cara yang arif, radiasi dapat pula dipakai untuk berbagai hal yang menguntungkan seperti diagnosis dan perlakuan medis.

Radioaktivitas dan jenis radionuklida dalam suatu produk industri bahan makanan merupakan salah satu uji kualitas dari semua produk yang dikonsumsi oleh masyarakat. Minyak goreng dan kecap sebagai salah satu contoh produk industri bahan makanan yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui tingkat radioaktivitas serta jenis radionuklida yang ada pada sampel minyak goreng dan kecap.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Radionuklida dapat masuk ke dalam tubuh manusia secara langsung melalui rantai makanan, salah satunya dapat berupa bahan makanan yang dikonsumsi oleh masyarakat. Masuknya radionuklida dalam tubuh manusia akan mengakibatkan gangguan jaringan, sehingga dapat mengakibatkan dampak yang berbahaya jika melebihi ambang batas yang dibolehkan. Minyak goreng dan kecap merupakan salah satu contoh produk industri bahan makanan yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat, sehingga perlu diketahui seberapa besar kandungan radioaktivitas serta jenis radionuklida apa saja yang terkandung dalam sampel minyak goreng dan kecap tersebut.



### **1.3. Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini hanya mengukur besarnya kandungan radioaktivitas Gross  $\beta$  dengan menggunakan alat cacah  $\beta$  Geiger Muller, dan mengidentifikasi radionuklida alam yang terdeteksi pada Spektrometer  $\gamma$  dalam sampel minyak goreng dan kecap, serta tidak menjelaskan prinsip kerja alat cacah yang digunakan.

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk : menghitung besarnya kandungan radioaktivitas Gross  $\beta$  pada sampel minyak goreng dan kecap, mengidentifikasi jenis radionuklida berdasarkan puncak tenaga  $\gamma$  yang terdeteksi dalam sampel minyak goreng dan kecap dengan metode Spektrometri  $\gamma$ , dan melakukan pendugaan adanya jenis radionuklida penyumbang paparan radiasi  $\beta$  pada sampel minyak goreng dan kecap.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi masyarakat dalam mengkonsumsi minyak goreng dan kecap.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Radioaktivitas

#### 2.1.1. Pengertian Radioaktivitas

Menurut Susetyo (1988), radioaktivitas adalah gejala perubahan keadaan inti atom secara spontan yang disertai radiasi berupa zarah dan atau gelombang elektromagnetik. Perubahan dalam inti atom tentu saja membawa perubahan dari satu nuklida menjadi nuklida yang lain atau dari satu unsur menjadi unsur yang lain. Peristiwa perubahan inti menjadi inti atom yang lain disebut *disintegrasi inti atom* atau peluruhan radioaktif.

Gejala radioaktivitas semata-mata ditentukan oleh inti atom yang bersangkutan dan tidak dapat dipengaruhi, dipercepat atau diperlambat dengan mengubah kondisi diluar inti atom seperti suhu, tekanan, bentuk senyawa kimia dan sebagainya. Peluruhan radioaktif merupakan peristiwa rambang (random) murni yang tunduk pada kaidah-kaidah statistik.

#### 2.1.2. Kinetika Peluruhan

Suatu bahan radioaktif pada prinsipnya karena inti atom bahan tersebut tidak stabil. Oleh karena tidak stabil, maka inti atom bahan meluruh disertai pemancaran radiasi hingga dicapai suatu keadaan inti baru yang stabil, artinya inti tersebut tidak radioaktif dan tidak mampu memancarkan radiasi lagi .

Agar gejala radioaktivitas dapat dinyatakan secara kuantitatif, ditinjau suatu peluruhan radioaktif sederhana sebagai berikut (Susetyo, 1988) :



dimana X disebut induk dan Y adalah anak luruhnya. Laju reaksi peluruhan atau perubahan cacah inti atom induk persatuan waktu sebanding dengan cacah inti atom induk yang ada pada saat itu. Apabila cacah atom induk pada saat t adalah  $N_t$ , maka dapat ditulis :

$$\frac{dN_t}{dt} = -\lambda N_t \quad (2.1)$$

adalah tetapan peluruhan radioaktif.

Apabila persamaan (2.1) diintegalkan maka akan didapatkan :

$$N_t = N_o e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

$N_o$  adalah cacah inti induk pada saat  $t = 0$ .

Laju peluruhan suatu radionuklida biasanya dinyatakan secara karakteristik dengan suatu tetapan yang disebut *waktu paro* dan biasa diberi lambang  $t_{1/2}$  atau  $T$ . Waktu paro suatu radionuklida adalah waktu yang diperlukan agar cacah atom radionuklida tersebut menjadi setengah dari cacahnya semula. Pada saat  $t = T$ , maka

$N_t = \frac{1}{2} N_o$ , sehingga persamaan (2.2) diperoleh (Akhadi, 2000) :

$$\begin{aligned} N_t &= N_o e^{-\lambda t} \\ \frac{1}{2} N_o &= N_o e^{-\lambda T} \\ \frac{1}{2} &= e^{-\lambda T} \\ \ln \frac{1}{2} &= -\lambda T \\ \ln 1 - \ln 2 &= -\lambda T \\ T &= \frac{0,693}{\lambda} \text{ atau } \lambda = \frac{0,693}{T} \end{aligned} \quad (2.3)$$

### 2.1.3. Aktivitas

Menurut Akhadi (2000), aktivitas zat radioaktif hanya menunjukkan jumlah inti radioaktif yang melakukan peluruhan, tetapi tidak menunjukkan jumlah radiasi yang dipancarkannya. Dalam setiap kali melakukan peluruhan, zat radioaktif dapat memancarkan lebih dari satu macam radiasi.

Aktivitas suatu radionuklida pada saat  $t$  adalah cacah disintegrasi persatuan waktu yang terjadi pada saat  $t$  tersebut. Aktivitas pada saat  $t$  biasanya dilambangkan dengan  $A_t$  dan tidak lain adalah laju peluruhan radioaktivitas  $dN_t/dt$ , sehingga persamaan (2.1) dapat ditulis sebagai :

$$A_t = N_t \quad (2.4)$$

Jumlah atom radioaktif selalu berkurang setiap saat karena terjadinya peluruhan. Dengan demikian, aktivitas zat radioaktif pun selalu berkurang setiap saat. Dari persamaan (2.2) dan (2.4) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 N_t &= N_o e^{-\lambda t} \\
 \lambda N_t &= \lambda N_o e^{-\lambda t} \\
 A_t &= A_o e^{-\lambda t}
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

Dengan :

$A_t$  = Aktivitas zat radioaktif setelah waktu t

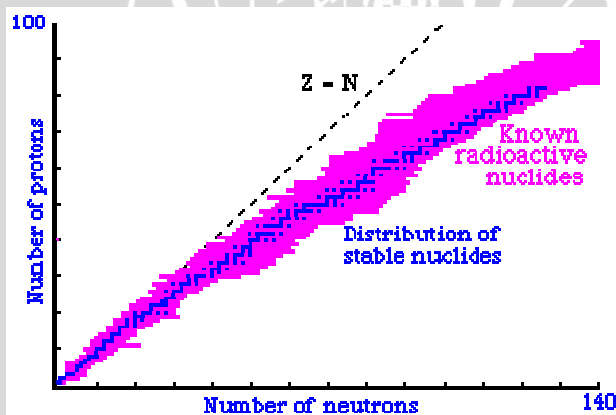
$A_o$  = Aktivitas zat radioaktif mula-mula

Secara internasional telah disepakati suatu satuan aktivitas yang disebut *becquerel*, disingkat Bq. Satu becquerel didefinisikan sebagai satu disintegrasi inti persekon (dps). Disamping satuan becquerel, masih dipergunakan satuan lama yang disebut satuan *Curie*, disingkat Ci.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

#### 2.1.4. Kestabilan Inti

Gejala radioaktivitas pada hakekatnya menunjukkan ketidakstabilan inti atom. Perbandingan cacah neutron dan proton (N/Z) dalam suatu inti atom sangat menentukan kestabilan inti tersebut dan demikian menentukan apakah inti tersebut bersifat radioaktif atau tidak.



**Gambar 2.1** : Grafik perbandingan antara Z dan N  
([www.shef.ac.uk](http://www.shef.ac.uk))

Nuklida - nuklida radioaktif adalah nuklida - nuklida yang mempunyai harga N/Z lebih kecil atau lebih besar dari harga

$(N/Z)_{\text{stabil}}$ , yaitu yang terletak diatas dan dibawah garis kestabilan. Disamping itu, ada juga nuklida-nuklida radioaktif yang diluar garis kestabilan yaitu yang mempunyai nomor atom  $> 83$ .

### 2.1.5. Macam-macam Peluruhan Radioaktif

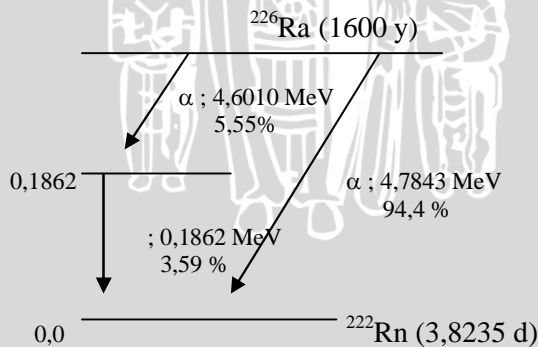
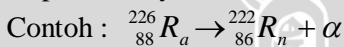
Macam - macam peluruhan radioaktif berdasarkan ketiga daerah dalam pita nuklida tersebut adalah :

1. Nuklida dengan nomor atom  $Z > 83$  akan memancarkan zarah  $\alpha$
2. Nuklida dengan  $N/Z > (N/Z)_{\text{stabil}}$  akan memancarkan zarah  $\beta^-$
3. Nuklida dengan  $N/Z < (N/Z)_{\text{stabil}}$  akan memancarkan zarah  $\beta^+$

Setelah inti tersebut memancarkan zarah  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ , biasanya akan diikuti oleh pancaran radiasi elektromagnetik yang disebut sinar  $\gamma$ .

#### 1. Peluruhan

Ketidakstabilan inti atom pada daerah  $Z > 83$  terutama disebabkan karena inti atom menjadi terlalu besar dan bukan karena perbandingan harga  $N/Z$ . Untuk menstabilkan dirinya, inti jenis ini akan memancarkan zarah yang terdiri dari 2 proton dan 2 neutron, yang disebut zarah  $\alpha$ . Zarah  $\alpha$  tidak lain adalah inti  ${}^4\text{H}$ . Sebagai akibat peluruhan  $\alpha$  akan dihasilkan inti baru dengan nomor atom berkurang dua dari inti semula dan nomor massanya berkurang empat (Susetyo, 1988).

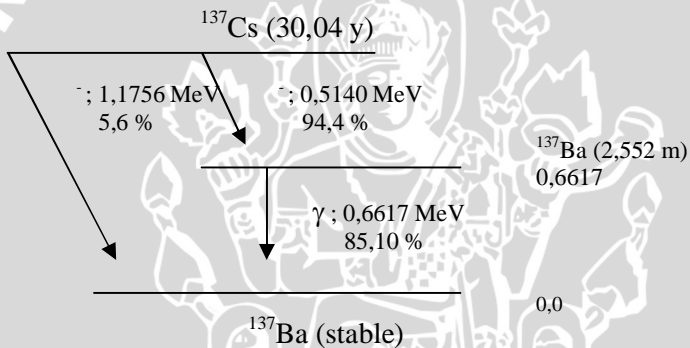
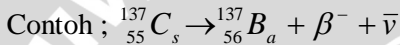


**Gambar 2.2** : Skema Peluruhan  ${}^{226}\text{Ra}$  (Martin, 2000)

## 2. Peluruhan

- $N/Z > (N/Z)_{\text{stabil}}$

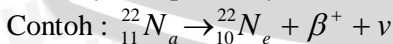
Inti-inti atom pada daerah ini tidak stabil karena intinya mengandung neutron terlalu banyak dibandingkan dengan protonnya. Untuk menstabilkan dirinya, sebuah neutron ( $n$ ) akan berubah menjadi proton ( $p^+$ ). Perubahan ini diikuti dengan pancaran elektron yang disebut juga sebagai zarah  $\beta^-$  dan sebuah anti neutrino  $\bar{\nu}$ . Antineutrino adalah zarah elementer yang mempunyai massa hampir sama dengan nol dan tidak bermuatan listrik sehingga sangat sukar dibuktikan adanya. Akibat peluruhan  $\beta^-$  maka nomor atom inti akan naik satu sedang nomor massanya tetap (Susetyo, 1988).

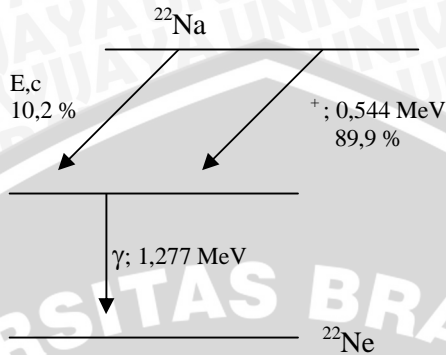


**Gambar 2.3** : Skema Peluruhan  ${}^{137}\text{Cs}$  (Martin, 2000)

- $N/Z < (N/Z)_{\text{stabil}}$

Nuklida - nuklida pada daerah ini tidak stabil karena intinya mengandung proton terlalu banyak dibandingkan dengan neutronnya. Untuk menstabilkan dirinya, sebuah proton akan berubah menjadi neutron dengan memancarkan sebuah positron atau zarah  $\beta^+$  dan sebuah neutrino  $\nu$ . Neutrino adalah zarah yang sama dengan antineutrino hanya berbeda arah spinnya. Akibat peluruhan  $\beta^+$ , inti atom akan mengalami penurunan nomor atom, sedang nomor massanya tetap (Susetyo, 1988).





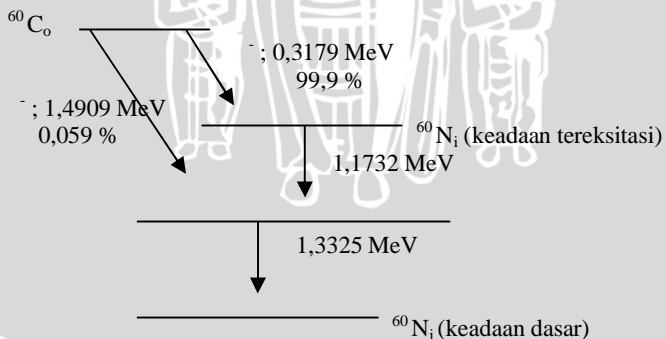
**Gambar 2.4** : Skema Peluruhan  $^{22}\text{Na}$  (Wiriyosimin, 1995)

### 3. Peluruhan

Setelah memancarkan zarah  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ , inti atom akan berada dalam keadaan tereksitasi. Inti yang tereksitasi ini segera akan menuju ke keadaan dasar dengan jalan memancarkan radiasi elektromagnetik yang disebut sinar  $\gamma$ . Massa dan muatan suatu inti yang memancarkan sinar  $\gamma$  tidak berubah.

Contoh :  $^{60}\text{Co} \rightarrow ^{60}\text{Ni} + \beta^- + \bar{\nu}$

$^{60}\text{Ni}$  yang terbentuk berada dalam keadaan tereksitasi, 2,5057 MeV di atas keadaannya dan segera meluruh dengan memancarkan dua sinar  $\gamma$ , masing-masing dengan tenaga sebesar 1,1732 MeV dan 1,3325 MeV.



**Gambar 2.5** : Skema peluruhan  $^{60}\text{Co}$  (Martin, 2000)

## **2.2. Radioaktivitas Lingkungan**

Radioaktivitas Lingkungan menurut asalnya ada 2 macam, yaitu :

### **1. Radioaktivitas alam**

Radioaktivitas alam sudah ada sejak terbentuknya bumi dan alam semesta ini. Radioaktivitas alam ini dapat berasal dari dalam bumi (radiasi primordial) dan radiasi yang berasal dari luar bumi (radiasi kosmogenis).

Radiasi Primordial berasal dari mineral-mineral yang ada dalam batu-batuan dan dari dalam tanah, antara lain K-40 serta sederetan nuklida hasil peluruhan alam. Dari sekian banyak radionuklida primordial, ada 3 kelompok radionuklida primordial yang tergolong tua karena waktu paruhnya diatas 100 juta tahun. Ketiga kelompok radionuklida primordial tersebut adalah :

1. Radionuklida deret Uranium
2. Radionuklida deret Aktinium
3. Radionuklida deret Thorium

Radiasi kosmogenis (radiasi sinar kosmis) berasal dari luar atmosfer bumi yaitu dari energi yang dipancarkan oleh bintang-bintang yang ada di alam raya ini, termasuk radiasi yang berasal dari matahari (Wardhana, 1994).

### **2. Radioaktivitas Buatan**

Radioaktivitas buatan timbul karena dibuat manusia. Ada dua cara terjadinya radioaktivitas buatan yang dapat masuk ke dalam lingkungan hidup, yaitu : ledakan nuklir di atmosfer dan reaksi dalam reaktor nuklir. Radiasi buatan saat ini banyak dijumpai, dalam aplikasinya yang ternyata telah dapat meningkatkan kesejahteraan hidup manusia. Radiasi buatan dapat diperoleh melalui penembakan / reaksi inti terhadap suatu atom unsur yang tidak radioaktif menjadi radioaktif (Thoyib, 1985).

## **2.3. Interaksi Sinar dengan Materi**

Interaksi sinar dengan materi bisa terjadi melalui bermacam-macam proses, tetapi yang penting dalam spektrometri adalah : efek fotolistrik, hamburan Compton dan pembentukan pasangan.



## 1. Efek fotolistrik

Efek fotolistrik adalah interaksi antara foton dengan sebuah elektron yang terikat kuat dalam atom yaitu elektron pada kulit bagian dalam suatu atom, biasanya kulit K atau L. Foton akan menumbuk elektron tersebut dan karena elektron itu terikat kuat-kuat maka elektron akan menyerap seluruh tenaga foton. Sebagai akibatnya elektron akan dipancarkan keluar dari atom dengan tenaga gerak sebesar selisih tenaga foton dan tenaga ikat elektron :

$$E_e = E - W \quad (2.6)$$

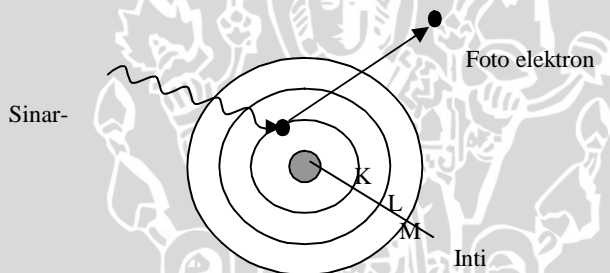
Dimana :

$E_e$  = tenaga kinetik elektron

$E$  = tenaga foton

$W$  = tenaga ikat elektron

Elektron yang dipancarkan itu disebut fotoelektron. Efek fotolistrik secara skematis digambarkan dalam Gambar 2.6 :



**Gambar 2.6** : Efek Fotolistrik (Susetyo,1988)

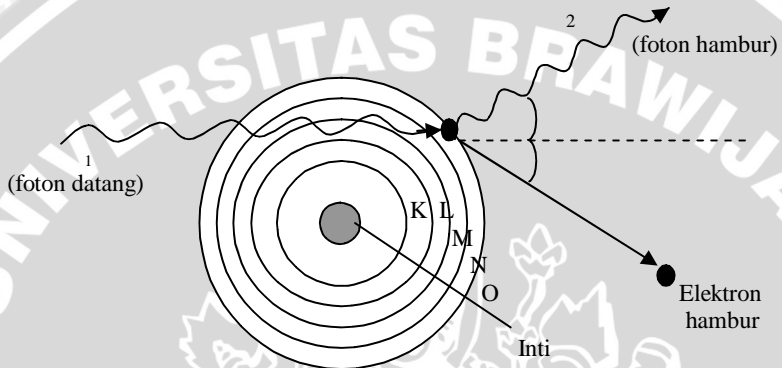
Atom yang terionisasi akibat efek fotolistrik tentu saja berada dalam keadaan teruja/tidak stabil. Lowongan yang ditinggalkan fotoelektron akan segera diisi oleh elektron pada kulit berikutnya dan demikian seterusnya.

## 2. Hamburan Compton

Hamburan Compton terjadi antara foton dan sebuah elektron bebas atau yang terikat lemah. Elektron-elektron yang dapat dikategorikan sebagai elektron yang terikat lemah adalah elektron yang berada pada kulit terluar suatu atom. Apabila foton menumbuk elektron jenis ini maka berdasarkan hukum kekekalan

momentum tidak mungkin elektron akan dapat menyerap seluruh tenaga foton seperti yang terjadi dalam efek fotolistrik.

Foton hanya akan menyerahkan sebagian tenaganya kepada elektron dan kemudian terhambur menurut sudut terhadap arah gerak foton mula-mula. Elektron yang mula-mula bebas dan diam (stasioner) itu akan terlempar kedepan dan keluar dari sistem atom.



**Gambar 2.7 :** Hamburan Compton (Susetyo,1988)

Elektron yang dilepaskan itu disebut sebagai elektron Compton. Tenaga sinar yang terhambur setelah tumbukan merupakan fungsi tenaga mula-mula dan sudut hamburan :

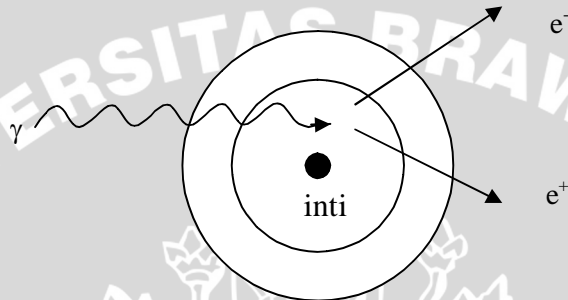
$$E_{\gamma} = \frac{E_0}{1 + \left( \frac{E_0}{m_0 c^2} \right) (1 - \cos\theta)} \quad (2.7)$$

Dimana :

- E = tenaga sinar terhambur
- $E_0$  = tenaga sinar mula-mula
- $m_0$  = massa diam elektron
- c = laju cahaya dalam hampa
- $\theta$  = sudut hamburan

### 3. Pembentukan Pasangan

Apabila suatu foton yang bertenaga cukup tinggi melalui medan listrik yang sangat kuat disekitar inti atom (medan coulomb inti) maka foton tersebut akan lenyap dan sebagai gantinya muncul pasangan elektron dan positron ( $e^-$  dan  $e^+$ ). Peristiwa ini disebut efek pembentukan pasangan.



**Gambar 2.8** : Pembentukan Pasangan (Susetyo,1988)

### 2.4. Dosis – dosis Radiasi

Metode pengukuran dosis radiasi dikenal dengan sebutan *dosimetri radiasi*. Selama perkembangannya, besaran yang dipakai dalam pengukuran jumlah radiasi selalu didasarkan pada jumlah ion yang terbentuk dalam keadaan tertentu atau pada jumlah energi radiasi yang diserahkan kepada bahan. Besarnya dosis maksimum yang diperbolehkan adanya radiasi yang mengendap dalam suatu jaringan / organ dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** : Dosis maksimum pada jaringan atau organ  
(Gabriel, 1996)

Jaringan atau Organ	Batas Dosis (Rem/th)
Gonad, sumsum tulang, kelenjar kelamin	0,5
Kulit, tulang, kelenjar thyroid	3
Tangan, lengan bagian bawah, kaki	7,5
Organ lain	1,5

Adapun beberapa besaran dan satuan dasar yang berhubungan dengan radiasi pengion, diantaranya yaitu :

## 1. Dosis Serap

Dosis serap didefinisikan sebagai jumlah energi yang diserahkan oleh radiasi atau banyaknya energi yang diserap oleh bahan persatuan massa bahan tersebut. Besarnya dosis serap tersebut tidak bergantung pada jenis radiasi, energi radiasi maupun sifat bahan penyerap, tetapi hanya bergantung pada jumlah energi radiasi yang diserap persatuan massa bahan yang menerima penyinaran radiasi tersebut.

Secara matematis, dosis serap (D) dirumuskan sebagai :

$$D = dE/dm \quad (2.8)$$

Dengan dE adalah energi yang diserap oleh medium bermassa dm.

Dalam sistem SI besaran dosis serap diberi satuan khusus, yaitu : Gray (Gy), dimana :

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} \\ = 100 \text{ rad}$$

## 2. Dosis Ekuivalen

Ditinjau dari sudut biologi yang ditimbulkan, ternyata efek yang timbul pada suatu jaringan akibat penyinaran oleh bermacam-macam radiasi pengion tidak sama, meskipun dosis serap dari beberapa jenis radiasi yang diterima oleh jaringan itu sama besar. Jadi penyerapan sejumlah energi radiasi yang sama dari beberapa jenis radiasi yang berbeda tidak menimbulkan efek biologi yang sama. Efek biologi yang timbul ternyata juga bergantung pada jenis dan kualitas radiasi. Neutron sebagai contoh, lebih berbahaya daripada sinar beta dengan dosis yang sama.

Untuk menunjukkan kualitas dari radiasi dalam kaitannya dengan akibat biologi yang dapat ditimbulkannya, Komisi Internasional untuk Proteksi Radiasi (ICRP) melalui Publikasi ICRP No.60 Tahun 1990, memperkenalkan faktor bobot radiasi ( $W_R$ ) . Dosis ekuivalen dalam organ T yang menerima penyinaran radiasi R ( $H_{T,R}$ ) ditentukan dengan persamaan :

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R} \quad (2.9)$$

Dengan  $D_{T,R}$  adalah dosis serap yang dirata-ratakan untuk daerah organ atau jaringan T yang menerima radiasi R, sedang  $W_R$  adalah faktor bobot dari radiasi R. Satuan dari dosis ekuivalen adalah *Sivert* (Sv), dimana :

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

### 3. Dosis Efektif

Hubungan antara peluang timbulnya efek biologi tertentu akibat penerimaan dosis ekuivalen pada suatu jaringan juga bergantung pada organ atau jaringan yang disinari. Untuk menunjukkan keefektifan radiasi dalam menimbulkan efek tertentu pada suatu organ digunakan besaran yang disebut dosis efektif. Faktor bobot dosis ekuivalen untuk organ T disebut faktor bobot jaringan ( $W_T$ ).

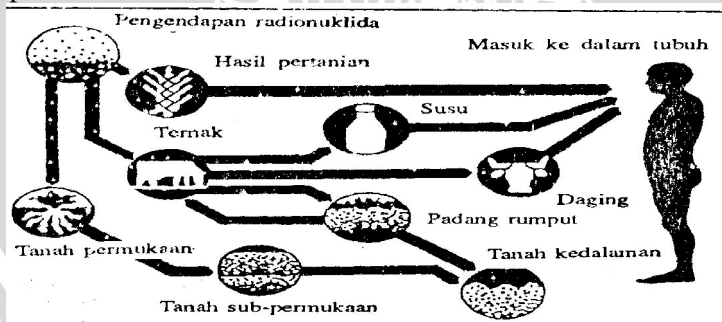
Dosis efektif ( $H_E$ ) dalam organ T yang menerima penyinaran radiasi dengan dosis ekuivalen  $H_T$  ditentukan melalui persamaan :

$$H_E = W_T \cdot H_T \quad (2.10)$$

### 2.5. Efek Radiasi Terhadap Tubuh Manusia

Dalam kehidupan sehari – hari manusia tidak mungkin dapat menghindarkan diri dari serbuan radiasi lingkungan, terutama yang berasal dari sumber – sumber radiasi alamiah. Disadari atau tidak, manusia yang hidup di permukaan bumi ini selalu mendapatkan jatah dosis radiasi yang berasal dari berbagai sumber radiasi alamiah disekitarnya. Jalur masuknya radionuklida ke dalam tubuh dapat langsung melalui pernafasan, makanan maupun minuman. Jika suatu radionuklida yang ada di lingkungan terserap oleh tanaman maka jalur yang dilalui radionuklida tersebut untuk sampai kepada manusia adalah rantai makanan. Air minum yang terkontaminasi radionuklida juga dapat berperan sebagai jalur untuk sampai kepada manusia.

Berikut ini disajikan Gambar Alur Perpindahan Radionuklida Sampai ke Tubuh Manusia :



**Gambar 2.9 :** Alur Perpindahan Radiouklida Sampai ke Tubuh Manusia (Akhadi, 2000)

Dampak radiasi terhadap tubuh manusia dapat menimbulkan efek somatic berupa kerusakan sel-sel jaringan tubuh dan efek genetic (hereditas) berupa mutasi sel-sel produksi. *Efek somatic* adalah efek akibat terkena paparan radiasi yang secara langsung tampak atau segera dirasakan oleh orang yang terkena paparan radiasi. Hal ini disebabkan karena sel-sel di dalam tubuh mati atau tidak membelah lagi sehingga sel menjadi rusak. Namun, dapat juga akibat efek somatic tersebut baru tampak setelah beberapa waktu kemudian (tertunda), seperti timbulnya kanker dan sebagainya. Sedangkan *efek hereditas (genetic)* adalah efek yang merusak sel-sel reproduksi sehingga berpengaruh pada sifat keturunan atau genetic seseorang yang terkena radiasi.

Komisi Internasional untuk perlindungan radiasi (ICRP) membagi efek radiasi pention terhadap tubuh manusia menjadi dua, yaitu (Akhadi, 2000) :

### **1. Efek Stokastik**

Adalah efek yang kemunculannya pada individu tidak bisa dipastikan tetapi tingkat kebolehjadian munculnya efek tersebut dapat diperkirakan berdasarkan data statistic yang ada. Efek stokastik berkaitan dengan paparan radiasi dosis rendah yang dapat muncul pada tubuh manusia dalam bentuk kanker (kerusakan somatic) atau cacat pada keturunan (kerusakan genetic). Dalam efek stokastik tidak dikenal adanya dosis ambang. Jadi sekecil apapun dosis radiasi yang diterima tubuh ada kemungkinannya akan menimbulkan kerusakan sel somatic maupun sel genetic.

Menurut pakar radiobiologi, radiasi pention dapat memutuskan rantai molekul DNA dalam kromosom inti sel. Kerusakan inti sel ini dapat memberi peluang terjadinya mutasi sel. Mutasi itu akan menimbulkan perubahan sifat ataupun gangguan fungsi sel anak yang diwariskan dari sel induknya. Akibat radiasi yang diterima sel cukup rendah maka sel tersebut hanya mengalami kerusakan namun tidak sampai mati. Sel yang belum mati ada kemungkinan akan melakukan penyembuhan. Dalam proses penyembuhan ini di dalam inti sel terjadi proses rekombinasi antara kromosom-kromosom yang putus.

Selama proses penyembuhan sel-sel yang mengalami kerusakan karena radiasi, adakalanya proses tersebut tidak mengantarkan kromosom mencapai posisi seperti komposisi semula, misal beberapa kromosom yang patah melakukan rekombinasi

namun tidak dengan pasangan semula sehingga sel mengalami mutasi. Apabila mutasi tersebut terjadi pada sel-sel somatik pembentuk jaringan tubuh, maka mutasi sel ini dapat mengakibatkan munculnya bibit kanker dalam tubuh. Namun apabila mutasi ini terjadi pada sel-sel genetik untuk reproduksi (sel-sel untuk berkembang biak), maka mutasi tersebut akan diwariskan kepada keturunan. Kerusakan genetik ini dapat mengakibatkan terjadinya cacat pada keturunan.

## **2. Efek Deterministik**

Adalah efek yang pasti muncul apabila jaringan tubuh manusia terkena paparan radiasi pengion dengan dosis tertentu. Efek deterministic berkaitan dengan paparan radiasi dosis tinggi yang kemunculannya dapat langsung dilihat atau dirasakan oleh individu yang terkena radiasi. Efek tersebut dapat muncul seketika hingga beberapa minggu setelah penyinaran. Efek ini mengenal adanya dosis ambang. Jadi hanya radiasi dengan dosis tertentu yang dapat menimbulkan efek deterministic tertentu.

Efek deterministic termasuk ke dalam kelompok efek segera, dengan masa tunggu pemunculannya tergantung kepada dosis yang diberikan pada suatu sistem biologi bersangkutan. Beberapa efek deterministic yang dapat muncul akibat paparan radiasi dosis tertinggi pada tubuh manusia adalah :

- a. Penerimaan dosis radiasi sebesar 100.000 mSv (100 Sv) atau lebih mengakibatkan kerusakan system syaraf pusat yang akan diikuti dengan kematian setelah beberapa jam atau hari.
- b. Penyinaran radiasi dengan dosis 10-50 Sv pada tubuh mengakibatkan kerusakan saluran pencernaan dan dapat mengakibatkan kematian setelah 1-2 minggu kemudian.
- c. Dosis radiasi 3-5 Sv dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan sumsum tulang yang diikuti kematian setelah 1-2 bulan kemudian.
- d. Penyinaran yang mengenai mata dengan dosis 2-5 Sv dapat mengakibatkan terjadinya katarak pada lensa mata.
- e. Penyinaran keseluruhan tubuh dengan dosis 1-2 Sv menimbulkan gejala mual-mual yang diikuti muntah.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan pada bulan Juli – Oktober 2006 di Laboratorium Bidang Kimia dan Teknologi Proses Bahan dan Laboratorium Radioaktivitas Latar Rendah PTAPB – BATAN Yogyakarta.

#### **3.2. Alat dan Bahan**

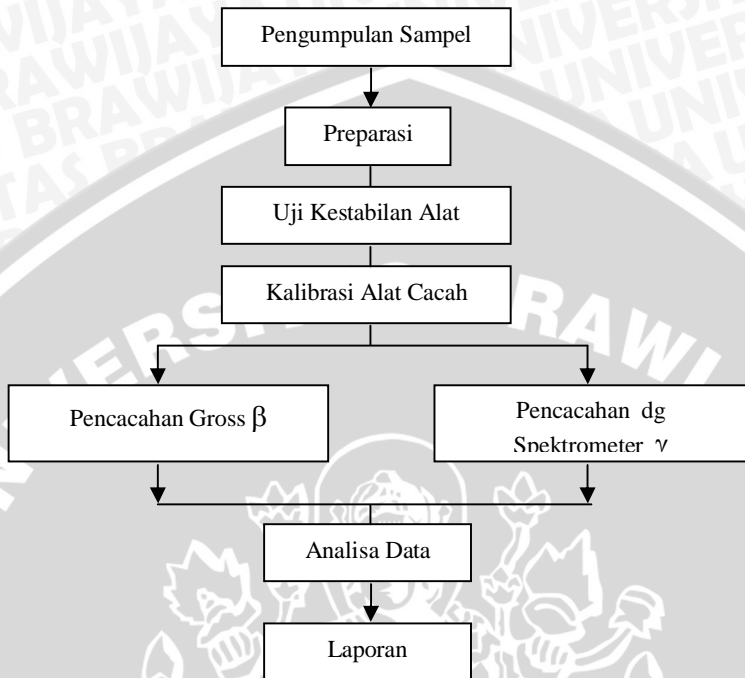
Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah : Botol 600 ml, Jerigen, Planset, Pipet, Propipet, Timbangan Ohaus, Alat cacah GM (Gross  $\beta$ ), Stopwatch, dan Spektrometer  $\gamma$  dengan detektor Ge(Li).

Bahan – bahan yang digunakan adalah : Minyak goreng (minyak jagung, minyak kelapa, dan minyak kelapa sawit) dan kecap sebagai sampel yang akan diteliti, sumber standar  $^{90}\text{Sr}$  untuk uji kestabilan pada alat cacah GM, sumber standar  $^{152}\text{Eu}$  untuk kalibrasi tenaga dan kalibrasi efisiensi pada Spektrometer  $\gamma$ , dan sumber standar  $^{137}\text{Cs}$  untuk uji kestabilan pada Spektrometer  $\gamma$ .

#### **3.3. Prosedur Penelitian**

Sebelum dilakukan analisis mengenai kandungan radioaktivitas gross  $\beta$  dan pemancar sinar  $\gamma$  pada sampel minyak goreng dan kecap, ada beberapa prosedur penelitian yang harus dilakukan, yaitu seperti yang terlihat pada Gambar skema penelitian dibawah ini :





**Gambar 3.1** : Skema penelitian

### 3.3.1. Pengumpulan Sampel

Pengumpulan sampel minyak goreng dan kecap dilakukan pada bulan Mei 2006. Sampel didapatkan dari pembelian di supermarket – supermarket yang berada di Propinsi Jatim dan Propinsi DIY.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah salah satu hasil dari produk industri bahan makanan yang berupa minyak goreng dan kecap. Minyak goreng yang diteliti terdiri dari 3 jenis, yaitu : minyak goreng dari kelapa sawit, jagung dan kelapa. Dari ketiga jenis minyak goreng tersebut, masing-masing diambil beberapa sampel dari berbagai produk industri bahan makanan yang berbeda. Diambil banyaknya sampel minyak goreng dari kelapa sawit, jagung dan kelapa berturut-turut adalah 5, 4 dan 4 jenis produk industri. Begitu juga dengan kecap diambil 4 jenis dari produk industri yang berbeda-beda. Masing-masing sampel dikumpulkan sebanyak  $\pm 2$  L.

Karena dalam penelitian ini tidak disebutkan asal produk (perusahaan) dari masing-masing sampel yang digunakan, maka dipakai kode tertentu untuk mengganti jenis sampel tersebut. Adapun kode-kode yang digunakan adalah sebagai berikut : K-1, K-2, K-3, K-4 adalah kode untuk kecap yang berasal dari perusahaan 1, 2, 3, 4 ; MJ-1, MJ-2, MJ-3, MJ-4 adalah kode untuk minyak jagung yang berasal dari perusahaan 1, 2, 3, 4 ; MK-1, MK-2, MK-3, MK-4 adalah kode untuk minyak kelapa yang berasal dari perusahaan 1, 2, 3, 4 ; dan MS-1, MS-2, MS-3, MS-4, MS-5 adalah kode untuk minyak sawit yang berasal dari perusahaan 1, 2, 3, 4, 5.

### **3.3.2. Preparasi Cuplikan**

Perlu dilakukan preparasi terlebih dahulu sebelum cuplikan siap untuk dicacah. Langkah awal yang dilakukan yaitu menghomogenkan semua jenis minyak goreng dan kecap (sampel) yang telah terkumpul dengan cara memasukkan semua kemasan minyak goreng dan kecap tersebut (baik dalam kemasan 600 ml, 1500 ml ataupun 2 L) ke dalam jurigen menurut jenisnya masing-masing. Namun sebelum sampel tersebut dimasukkan ke dalam jurigen, terlebih dahulu dilakukan pelabelan pada jurigen. Sampel setelah dimasukkan ke dalam jurigen menurut kode yang telah ditetapkan, barulah dilakukan pengocokan selama  $\pm 15$  menit dengan tujuan agar sampel tersebut menjadi homogen.

Untuk pengukuran Gross , sampel yang telah dihomogenkan diambil 1 ml dengan bantuan alat pipet dan propipet, kemudian diletakkan dalam planset dan siap untuk dicacah. Pada analisis ini, satu sampel diambil 3 cuplikan yang masing-masing dilakukan satu kali pencacahan. Pada pengukuran spektrometri , sampel yang telah dihomogenkan dimasukkan ke dalam botol 600 ml sebanyak 500 ml lalu diberi kode dan siap untuk dicacah. Analisis spektrometri sama dengan analisis gross yaitu pada satu sampel diambil 3 cuplikan yang masing-masing dilakukan satu kali pencacahan.

### 3.3.3. Uji Kestabilan Alat

Untuk mengetahui apakah alat cacah dalam kondisi optimum perlu diuji kestabilannya. Untuk menentukan dan menguji penampilan alat cacah, digunakan metode Chi\_Square. Tes ini membandingkan nilai yang teramati dengan nilai acuan. Pencacah dapat dikatakan masih berfungsi dengan baik jika nilai yang teramati bersesuaian dengan nilai harga batas  $\chi^2$

$$\chi^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{\bar{X}} \quad (3.1)$$

Untuk tingkat keyakinan sebesar 95 %, harga  $\chi^2$  harus terletak diantara dua harga batas yang ditentukan oleh jumlah pengukuran (n).

**Tabel 3.1** : Beberapa harga batas Chi\_Square (Suratman,1997)

Jumlah Pengukuran (n)	Harga Batas $\chi^2$	
	Min	Max
10	3,3	16,9
20	10,1	30,2
30	17,7	42,6

### 3.3.4. Kalibrasi Alat Cacah

#### 3.3.4.1. Kalibrasi Spektrometer $\gamma$

Suatu perangkat spektrometer  $\gamma$  dapat dipakai untuk melakukan analisis, alat tersebut perlu dikalibrasi terlebih dahulu secara cermat dan teliti. Ada dua macam kalibrasi yang perlu dilakukan yaitu kalibrasi tenaga dan kalibrasi efisiensi.

#### 1. Kalibrasi Tenaga

Kalibrasi tenaga diperlukan untuk tujuan analisis kualitatif spektrometri  $\gamma$ . Kalibrasi ini perlu dilakukan untuk mengetahui hubungan kesebandingan antara nomor salur dan tenaga, yaitu dengan mencacah sumbar standar multigamma  $^{152}\text{Eu}$ . Digunakan sumber standar Eu-152 karena mempunyai banyak puncak yang tersebar secara merata dari tenaga rendah sampai ke tenaga tinggi.

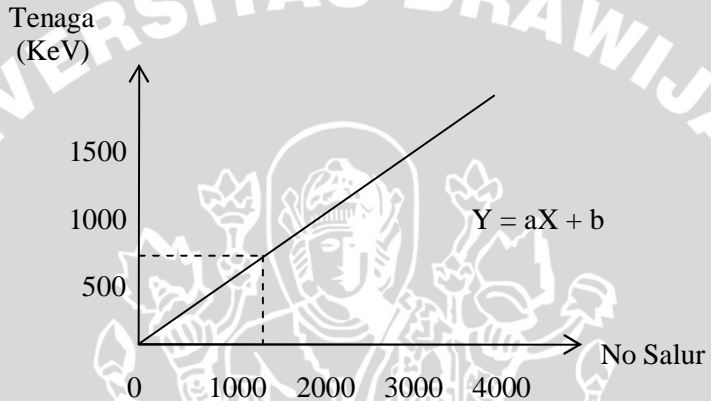
Apabila dibuat plot tenaga sinar (diketahui) dengan nomor salur puncak (diukur) maka akan diperoleh suatu garis lurus. Secara matematis, hubungan linier tersebut dapat dinyatakan melalui persamaan :

$$Y = a X + b \quad (3.2)$$

dimana :

Y = tenaga

X = nomor salur



**Gambar 3.2 :** Kurva kalibrasi tenaga

## 2. Kalibrasi Efisiensi

Analisa kuantitatif dalam spektrometri membutuhkan kalibrasi efisiensi. Dalam spektrometri , laju cacah biasanya dinyatakan dalam satuan cacah per sekon (cps) dan satuan aktivitas yang sesungguhnya dari suatu sumber radioaktif adalah becquerel (Bq) atau seringkali juga dinyatakan sebagai disintegrasi per sekon (dps).

Dalam spektrometri , efisiensi deteksi didefinisikan sebagai berikut :

$$\% \varepsilon(E) = \frac{\text{cps}}{\text{dps} \cdot Y(E)} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dimana :

(E) = Efisiensi deteksi pada tenaga E (%)

Cps = Laju pencacahan (cps)

Dps = Aktivitas sumber standar (dps)

Y(E) = Yield atau intensitas mutlak (dari tabel tenaga radionuklida)

Harga laju cacah (cps) didapatkan dengan jalan menentukan luas puncak serapan total suatu puncak dan membaginya dengan waktu pencacahan (dalam detik).

### 3.3.4.2. Kalibrasi Efisiensi Pencacah Gross $\beta$

Efisiensi pencacahan Gross  $\beta$  dihitung berdasarkan nisbah laju cacah (cps) dan laju luruh atau aktivitas (dps) sumber radioisotop standar. Sumber standar yang digunakan adalah K-40 dalam KCl. Standar ini dipilih karena K-40 merupakan radionuklida yang dominan berada dilingkungan.

Untuk menghitung efisiensi digunakan rumus :

$$\% = \varepsilon (\text{gross}) = \frac{\text{cps}}{\text{dps}} \times 100\% \quad (3.4)$$

dimana :

$\varepsilon$  = Efisiensi pencacahan dalam %

Cps = Cacah sumber standar (cps)

Dps = Aktivitas sumber standar pada saat pencacahan (dps)

Dps diperoleh melalui rumus :

$$A_t = A_o \exp^{-0,693 t/T} \quad (3.5)$$

### 3.3.5. Proses Pencacahan Cuplikan

#### 3.3.5.1. Pencacahan Radioaktivitas $\gamma$ & Identifikasi Radionuklida

Proses pencacahan radioaktivitas  $\gamma$  serta Identifikasi Radionuklida adalah sebagai berikut : Sebelum digunakan alat dipanaskan terlebih dahulu kurang lebih selama 20 menit pada dengan tegangan 0 Volt. Setelah 20 menit, tegangan dinaikkan menjadi 2000 V dan waktu disetel sesuai dengan kehendak. Dilakukan kalibrasi alat yaitu kalibrasi tenaga dan kalibrasi efisiensi dengan mencacah sumber standar multigamma  $^{152}\text{Eu}$ . Setelah dilakukan kalibrasi, pengukuran pertama adalah pengukuran cacah latar (background) yaitu dengan mencacah tempat (botol) kosong.

Sampel yang siap untuk dicacah dimasukkan kedalam kamar detektor secara bergantian selama waktu yang telah ditentukan (Sumber : Laboratorium Kimia dan Teknologi Proses Bahan PTAPB BATAN).

### 3.3.5.2. Pencacahan Radioaktivitas Gross $\beta$

Proses pencacahan radioaktivitas Gross adalah sebagai berikut : Ditekan tombol POWER alat pencatat cacah, kemudian diatur tegangan tinggi alat pada tegangan 1,15 kV. Dilakukan optimasi alat untuk mencari harga Chi\_Square yaitu untuk mengetahui alat tersebut masih layak dipakai atau tidak untuk mencacah sampel. Optimasi dilakukan dengan mencacah sumber standar  $^{90}\text{Sr}$ . Setelah itu sampel dimasukkan ke dalam kamar detektor GM yang dipasang tepat dibawah detektor.

Ditekan tombol START pada alat pencatat cacah secara bersamaan dengan menekan tombol START pada alat pengukur waktu (stopwatch). Setelah dicapai waktu yang diinginkan (20 menit), lalu ditekan tombol STOP pada alat pencatat cacah secara bersamaan dengan menekan tombol STOP pada stopwatch. Dicatat besarnya cacah yang tertera pada alat pengukur cacah, kemudian sampel dikeluarkan dari kamar detektor. Untuk melakukan pencacahan berikutnya, ditekan tombol RESET pada alat pencatat cacah (Sumber : Laboratorium Radioaktivitas Latar Rendah PTAPB BATAN)

### 3.3.6. Analisa Data

#### 3.3.6.1. Aktivitas Jenis Pemancar $\gamma$

Besarnya aktivitas pemancar  $\gamma$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$A_{\gamma} = \frac{Dps}{W} \quad (3.6)$$

Dps didapatkan dari :

$$Dps = \frac{cps}{\varepsilon(E).Y(E)}$$

Dimana :

$A_\gamma$  = Aktivitas  $\gamma$  (Bq/l, Bq/kg)

Cps = Cacah per sekon (cps)

(E) = Efisiensi deteksi pada tenaga E (%)

Y(E) = Yield atau intensitas mutlak (dari tabel tenaga radionuklida)

Dps = Disintegrasi per sekon (dps).

W = Berat sampel (L, Kg)

### 3.3.6.2. Aktivitas Jenis Gross $\beta$

Besarnya aktivitas Gross dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$A_\beta = \frac{Dps}{W} \quad (3.7)$$

Dps didapatkan dari :

$$Dps = \frac{cps}{\varepsilon(\text{gross})}$$

Dimana :

$A_\beta$  = Aktivitas  $\beta$  (Bq/l, Bq/kg)

Cps = Cacah per sekon (cps)

= Efisiensi pencacahan (%)

Dps = Disintegrasi per sekon (dps).

W = Berat sampel (L, Kg)

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Uji Kestabilan Alat

Uji kestabilan alat digunakan untuk mengetahui keadaan alat cacah apakah dalam keadaan optimum atau tidak. Uji kestabilan alat dilakukan dengan menggunakan metode Chi\_Square ( $\chi^2$ ). Pengukuran Chi\_Square ini sebaiknya dilakukan setiap akan memulai pencacahan.

Uji Chi\_Square pada detektor GM (Gross  $\beta$ ) dilakukan dengan mencacah sumber standar  $^{90}\text{Sr}$  sebanyak 10 kali pengulangan selama 1 menit pada setiap pencacahan. Sumber standar  $^{90}\text{Sr}$  dibuat pada tanggal 4 Nopember 1983 yang mempunyai aktivitas awal sebesar 0,022  $\mu\text{Ci}$  dan waktu paro 28,5 tahun. Pada spektrometri  $\gamma$ , uji Chi\_Square dilakukan dengan menggunakan sumber standar  $^{137}\text{Cs}$  sebanyak 10 kali pengulangan selama 100 detik pada setiap pencacahan.

Adapun hasil pencacahan sumber standar pada masing-masing alat cacah disajikan pada Tabel 4.1 sebagai berikut :

**Tabel 4.1** : Hasil pencacahan sumber standar  $^{90}\text{Sr}$  pada sistem pencacah Gross  $\beta$  dan sumber standar  $^{137}\text{Cs}$  pada sistem spektrometri  $\gamma$

Cacah ke (n)	Hasil Pencacahan	
	Sumber standar $^{90}\text{Sr}$ pada sistem pencacah Gross $\beta$	Sumber standar $^{137}\text{Cs}$ pada sistem spektrometri $\gamma$
1	7451	3544
2	7614	3505
3	7728	3600
4	7612	3449
5	7474	3655
6	7571	3586
7	7526	3552
8	7539	3591
9	7600	3531
10	7726	3444

Berdasarkan hasil perhitungan (Lampiran 3), diperoleh harga Chi\_Square yaitu pada pencacahan sumber standar  $^{90}\text{Sr}$  didapatkan



harga Chi\_Square sebesar 10,3, sedangkan pada pencacahan sumber standar  $^{137}\text{Cs}$  didapatkan harga Chi\_Square sebesar 11,33. Karena dalam pencacahan dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan, maka secara statistik harga batas Chi\_Square yang berlaku adalah 3,30 – 16,90. Didapatkan bahwa nilai Chi\_Square masih berada dalam range untuk 10 kali pengukuran, sehingga disimpulkan bahwa alat digunakan masih stabil dan dapat diandalkan secara statistik.

## **4.2. Hasil Kalibrasi Alat Cacah**

### **4.2.1. Hasil Kalibrasi Tenaga dan Kalibrasi Efisiensi pada Spektrometer $\gamma$**

Kalibrasi tenaga dan kalibrasi efisiensi dilakukan dengan menggunakan sumber standar multigamma  $^{152}\text{Eu}$ . Sumber standar ini dibuat pada tanggal 15 Juni 1979 dengan aktivitas awal ( $A_0$ ) sebesar  $1,975 \times 10^5$  dps dan waktu paro selama 13,1 tahun. Karena kalibrasi dilakukan pada tanggal 9 Agustus 2006, maka didapatkan aktivitas kini ( $A_t$ ) sebesar 47018,4874 dps. Untuk perhitungan aktivitas kini ( $A_t$ ) dari sumber standar  $^{152}\text{Eu}$  dapat dilihat pada Lampiran 4. Pencacahan ini dilakukan selama 300 detik dan didapatkan hasil sebagai berikut :

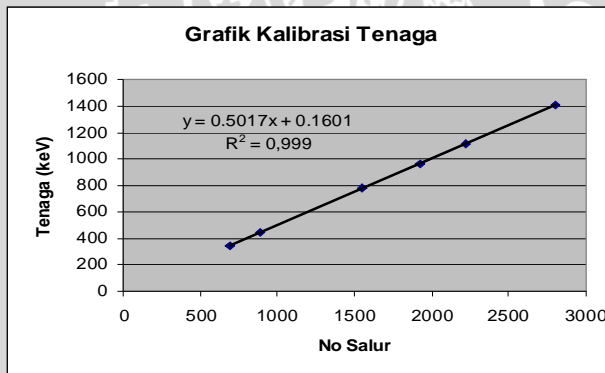
#### **1. Kalibrasi Tenaga**

Dari hasil pencacahan sumber standar multigamma  $^{152}\text{Eu}$ , didapatkan beberapa puncak gamma yang tersebar merata dari tenaga terendah sampai pada tenaga tertinggi. Hasil pencacahan yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut :

**Tabel 4.2** : Hasil pencacahan  $^{152}\text{Eu}$

No salur (Xi)	Tenaga (keV) (Yi)
686	344,28
885	443,98
1551	778,90
1920	963,43
2217	1112,08
2806	1408,03

Dari hasil pencacahan  $^{152}\text{Eu}$ , dilakukan pengeplotan ke dalam bentuk grafik, hubungan antara nomor salur (Xi) dan tenaga sinar  $\gamma$  (Yi) yang menghasilkan sebuah garis lurus. Hasil grafik kalibrasi tenaga dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut :



**Gambar 4.1** : Grafik kalibrasi tenaga

Dari hasil grafik kalibrasi tenaga diatas diperoleh persamaan linier yaitu :  $y = 0,5017 x + 0,1601$ . Dengan kelinieran ( $r$ ) sebesar 0,999, dapat disimpulkan bahwa alat yang digunakan masih dalam keadaan stabil.

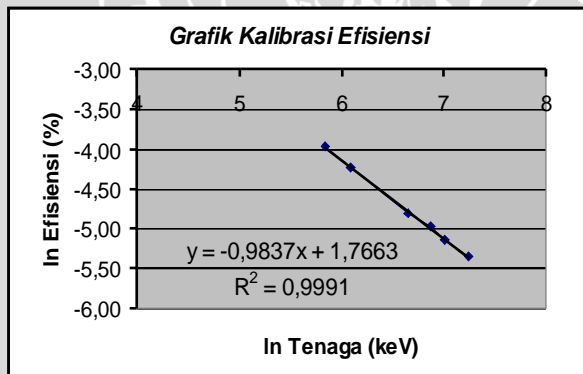
## 2. Kalibrasi Efisiensi

Kalibrasi yang kedua yaitu kalibrasi efisiensi. Pada spektrometer  $\gamma$ , efisiensi deteksi masih harus ditentukan oleh harga intensitas mutlak dari pada masing-masing tenaga. Hasil pencacahan dan perhitungan efisiensi disajikan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** : Hasil pencacahan dan perhitungan efisiensi menggunakan sumber standar  $^{152}\text{Eu}$

No	No salur	Tenaga (keV)	Yield	Net area	Cps	Eff
1	686	344,28	0,2640	70364,24	234,5475	0,0189
2	885	443,98	0,0308	6302,767	21,0092	0,0145
3	1551	778,90	0,1300	14982,96	49,9432	0,0082
4	1920	963,43	0,1448	14048,2	46,8274	0,0069
5	2217	1112,08	0,1335	10950,18	36,5006	0,0058
6	2806	1408,03	0,2070	13875,11	46,2504	0,0048

Setelah dilakukan perhitungan efisiensi pada masing-masing tenaga dilakukan pengeplotan (kurva kalibrasi) hubungan antara efisiensi dengan tenaga. Grafik kalibrasi efisiensi disajikan pada Tabel 4.2.



**Gambar 4.2** : Grafik Kalibrasi efisiensi

Efisiensi untuk masing-masing radionuklida yang akan dianalisis dapat ditentukan dengan memasukkan tenaga pada persamaan yang didapatkan dari grafik kalibrasi efisiensi. Setelah

diketahui efisiensi dari masing-masing radionuklida, maka aktivitas dari radionuklida yang akan dianalisis dapat diketahui.

#### **4.2.2. Hasil Kalibrasi Efisiensi Pencacah Gross $\beta$**

Untuk menghitung aktivitas Gross  $\beta$  digunakan efisiensi dari grafik LBC (Low Back Ground Counter) K-40 dalam KCI (Lampiran 5). Digunakan K-40 dalam perhitungan karena merupakan radionuklida yang dominan berada di alam. Efisiensi dari masing-masing sampel dapat diketahui dari beratnya (dalam satuan gr) kemudian dicocokkan pada grafik LBC K-40 untuk masing-masing berat sampel.

Karena sampel diketahui dalam satuan ml maka perlu dilakukan penimbangan untuk mengetahui berat sampel dalam satuan gram. Hasil konversi satuan ml menjadi satuan gram (dari hasil penimbangan) serta besarnya efisiensi gross  $\beta$  pada masing-masing cuplikan dapat dilihat pada Lampiran 6.

### **4.3. Hasil Pencacahan dan Perhitungan**

#### **4.3.1. Hasil Identifikasi Radionuklida Alam serta Hasil Pencacahan dan Perhitungan Aktivitas $\gamma$**

Setelah dilakukan kalibrasi tenaga dan kalibrasi efisiensi maka dilakukan pengukuran sampel minyak goreng dan kecap dengan kondisi yang tepat sama dengan kondisi kalibrasi. Dari hasil pengukuran tersebut dilakukan analisis kualitatif untuk mengidentifikasi jenis radionuklida yang terdapat dalam sampel minyak goreng dan kecap. Identifikasi jenis radionuklida tersebut diketahui setelah mencocokkan nilai tenaga yang terdapat pada Tabel Erdtmann dan Soyka (1979). Hasil identifikasi radionuklida pada sampel minyak goreng dan kecap dapat dilihat pada Tabel - tabel sebagai berikut :

**Tabel 4.4** : Hasil identifikasi radionuklida pemancar  $\gamma$  pada sampel kecap

No	Tenaga	Isotop	Kode			
			K 1	K 2	K 3	K 4
1	583,704	Tl-208	x	x	x	v
2	609,841	Bi-214	v	v	v	v
3	1460,304	K-40	v	v	v	v

Ket : x = tidak terdeteksi , v = terdeteksi

**Tabel 4.5** : Hasil identifikasi radionuklida pemancar  $\gamma$  pada sampel minyak jagung

No	Tenaga	Isotop	Kode			
			MJ 1	MJ 2	MJ 3	MJ 4
1	583,704	Tl-208	x	v	x	x
2	609,841	Bi-214	v	v	v	v
3	1460,304	K-40	v	v	v	v

Ket : x = tidak terdeteksi , v = terdeteksi

**Tabel 4.6** : Hasil identifikasi radionuklida pemancar  $\gamma$  pada sampel minyak kelapa

No	Tenaga	Isotop	Kode			
			MK 1	MK 2	MK 3	MK 4
1	583,704	Tl-208	x	x	x	x
2	609,841	Bi-214	v	v	v	v
3	1460,304	K-40	v	v	v	v

Ket : x = tidak terdeteksi , v = terdeteksi

**Tabel 4.7** : Hasil identifikasi radionuklida pemancar  $\gamma$  pada sampel minyak sawit

No	Tenaga	Isotop	Kode				
			MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
1	583,704	Tl-208	x	x	x	x	x
2	609,841	Bi-214	v	v	v	v	v
3	1460,304	K-40	v	v	v	v	v

Ket : x = tidak terdeteksi , v = terdeteksi

Dari hasil identifikasi radionuklida alam, didapatkan 3 jenis radionuklida yaitu :  $^{208}\text{Tl}$  (583,704 keV) dari deret Thorium yang mempunyai waktu paro selama 3,1 menit,  $^{214}\text{Bi}$  (609,841 keV) dari

deret Uranium yang mempunyai waktu paro selama 19,8 menit, serta  $^{40}\text{K}$  (1460,304 keV) yang mempunyai waktu paro selama  $1,28 \times 10^9$  tahun. Dari ketiga jenis radionuklida diatas hanya  $^{208}\text{Tl}$  saja yang terdeteksi pada sampel K-4 dan MJ-2, sedangkan pada sampel yang lain tidak terdeteksi.

Dari hasil identifikasi radionuklida alam dengan metode spektrometri  $\gamma$  ini, dapat digunakan untuk menduga adanya radionuklida alam penyumbang paparan radiasi  $\beta$ , karena dalam pencacahan aktivitas gross  $\beta$  tidak memberikan informasi tentang jenis radionuklida penyumbang paparan radiasi  $\beta$ . Dari Tabel of Atomic Masses (Tipler dan Llewellyn, 2002), diketahui bahwa dari ketiga jenis radionuklida alam yang terdeteksi pada spektrometer  $\gamma$  tersebut, yaitu :  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , dan  $^{40}\text{K}$ , adalah merupakan radioisotop pemancar radiasi  $\beta$ , dimana ketiga radioisotop tersebut sama-sama memancarkan radiasi  $\beta$ .

Teridentifikasinya radionuklida pada sampel minyak goreng dan kecap menunjukkan adanya perpindahan radionuklida dari udara, air, tanah maupun tanaman. Karena sampel yang digunakan merupakan salah satu contoh jenis bahan makanan yang dikonsumsi oleh masyarakat, maka radionuklida yang terkandung dalam sampel tersebut dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur makanan.

Setelah dilakukan identifikasi radionuklida yang terdapat pada sampel minyak goreng dan kecap, selanjutnya dilakukan analisis kuantitatif, yaitu untuk mengetahui besarnya aktivitas radionuklida yang terdeteksi pada masing-masing sampel. Untuk hasil pencacahan dan perhitungan aktivitas  $\gamma$  pada masing – masing radionuklida secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2.

#### **4.3.2. Hasil Pencacahan dan Perhitungan Aktivitas Gross $\beta$**

Hasil pencacahan dan perhitungan aktivitas Gross  $\beta$  pada sampel minyak goreng dan kecap secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1. Untuk hasil pencacahan dan perhitungan rerata aktivitas Gross  $\beta$  dapat dilihat pada Tabel–tabel dibawah sebagai berikut :

**Tabel 4.8** : Hasil perhitungan aktivitas jenis rerata Gross  $\beta$  pada sampel kecap

No	Kode	Aktivitas Jenis rerata (Bq/g)	Aktivitas Jenis rerata (Bq/ml)
1	K 1	$0,15 \pm 0,03$	$0,21 \pm 0,04$
2	K 2	$0,10 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,03$
3	K 3	$0,16 \pm 0,04$	$0,22 \pm 0,06$
4	K 4	$0,119 \pm 0,043$	$0,16 \pm 0,06$

**Tabel 4.9** : Hasil perhitungan aktivitas jenis rerata Gross  $\beta$  pada sampel minyak jagung

No	Kode	Aktivitas Jenis rerata (Bq/g)	Aktivitas Jenis rerata (Bq/ml)
1	MJ 1	$0,16 \pm 0,09$	$0,14 \pm 0,07$
2	MJ 2	$0,12 \pm 0,04$	$0,11 \pm 0,04$
3	MJ 3	$0,16 \pm 0,03$	$0,16 \pm 0,03$
4	MJ 4	$0,14 \pm 0,04$	$0,14 \pm 0,04$

**Tabel 4.10** : Hasil perhitungan aktivitas jenis rerata Gross  $\beta$  pada sampel minyak kelapa

No	Kode	Aktivitas Jenis rerata (Bq/g)	Aktivitas Jenis rerata (Bq/ml)
1	MK 1	$0,06 \pm 0,03$	$0,06 \pm 0,03$
2	MK 2	$0,23 \pm 0,05$	$0,20 \pm 0,04$
3	MK 3	$0,20 \pm 0,06$	$0,18 \pm 0,06$
4	MK 4	$0,16 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,02$

**Tabel 4.11** : Hasil perhitungan aktivitas jenis rerata Gross  $\beta$  pada sampel minyak sawit

No	Kode	Aktivitas Jenis rerata (Bq/g)	Aktivitas Jenis rerata (Bq/ml)
1	MS 1	$0,119 \pm 0,015$	$0,103 \pm 0,013$
2	MS 2	$0,12 \pm 0,02$	$0,114 \pm 0,019$
3	MS 3	$0,10 \pm 0,04$	$0,09 \pm 0,04$
4	MS 4	$0,10 \pm 0,03$	$0,09 \pm 0,03$
5	MS 5	$0,15 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,02$

Berdasarkan hasil pencacahan dan perhitungan rerata aktivitas jenis gross  $\beta$  didapatkan bahwa aktivitas jenis gross  $\beta$  pada

sampel kecap adalah berkisar antara (0,10 – 0,16) Bq/g, pada sampel minyak jagung berkisar antara (0,12 – 0,16) Bq/g, pada sampel minyak kelapa berkisar antara (0,06 – 0,23) Bq/g, dan pada sampel minyak sawit berkisar antara (0,1 - 0,15) Bq/g. Dari hasil perhitungan aktivitas jenis rerata Gross  $\beta$  diatas menunjukkan bahwa walaupun mempunyai fungsi yang sama, sampel kecap dan minyak goreng mempunyai nilai aktivitas yang berbeda-beda. Hal ini juga membuktikan bahwa sampel kecap dan minyak goreng yang telah beredar di masyarakat mengandung radioaktivitas gross  $\beta$ .

Menurut Susetyo (1988), setelah inti memancarkan sinar  $\alpha$  dan sinar  $\beta$ , maka inti atom tersebut berada dalam keadaan teruja (tereksitasi). Inti yang tereksitasi ini akan segera menuju ke keadaan dasar dengan jalan memancarkan radiasi elektromagnetik yang disebut sinar  $\gamma$ . Oleh sebab itu, pemancar sinar  $\gamma$  biasanya menyertai pemancar sinar  $\alpha$  maupun sinar  $\beta$ .

Hasil pengukuran aktivitas jenis gross  $\beta$  ini tidak memberikan informasi tentang jenis radionuklida penyumbang paparan radiasi  $\beta$ , karena dalam pencacahan tidak membedakan tingkat tenaga dan mode peluruhan. Namun, setelah dianalisis dengan metode spektrometri  $\gamma$  maka dapat diduga bahwa jenis radionuklida alam yang menjadi penyumbang paparan radiasi  $\beta$  adalah radionuklida alam yang teridentifikasi pada spektrometer  $\gamma$ .

Hasil identifikasi radionuklida alam dengan metode spektrometri  $\gamma$ , didapatkan 3 jenis radionuklida alam yaitu  $^{208}\text{Tl}$  (583,704 keV) dari deret Thorium yang mempunyai waktu paro selama 3,1 menit,  $^{214}\text{Bi}$  (609,841 keV) dari deret Uranium yang mempunyai waktu paro selama 19,8 menit, dan  $^{40}\text{K}$  (1460,304 keV) yang mempunyai waktu paro selama  $1,28 \times 10^9$  tahun. Dari Tabel of Atomic Masses (Tipler dan Llewellyn, 2002), dinyatakan bahwa dari ketiga jenis radionuklida alam tersebut ( $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , dan  $^{40}\text{K}$ ) adalah merupakan radionuklida alam pemancar sinar  $\beta^-$ .

Diketahui bahwa unsur  $^{208}\text{Tl}$  merupakan radionuklida alam dari deret  $^{232}\text{Th}$ , hasil peluruhan  $\alpha$  dari radionuklida  $^{212}\text{Bi}$ . Untuk menuju ke keadaan stabil, radionuklida  $^{208}\text{Tl}$  melakukan peluruhan dengan memancarkan sinar  $\beta^-$  menjadi unsur  $^{208}\text{Pb}$ . Diketahuinya unsur  $^{208}\text{Tl}$  sebagai pemancar  $\beta^-$  maka dapat diduga bahwa unsur tersebut sebagai salah satu penyumbang paparan radiasi  $\beta$  pada sampel minyak goreng dan kecap.



Unsur  $^{214}\text{Bi}$  juga diketahui sebagai pemancar radiasi  $\beta^-$ . Unsur  $^{214}\text{Bi}$  merupakan deret  $^{238}\text{U}$ , hasil peluruhan  $\beta^-$  dari radionuklida  $^{214}\text{Pb}$ . Sedangkan unsur  $^{40}\text{K}$  yang diketahui mempunyai kelimpahan di alam (abundance) sebesar 0,0117 %, diketahui juga sebagai pemancar radiasi  $\beta^-$  dengan tenaga sebesar 1,312 MeV. Untuk menuju ke keadaan stabil, unsur  $^{40}\text{K}$  meluruh menjadi unsur  $^{40}\text{Ca}$  (Martin, 2000). Sehingga dapat disimpulkan bahwa kemungkinan dari ketiga jenis radionuklida diatas ( $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , dan  $^{40}\text{K}$ ) adalah yang menjadi penyumbang paparan radiasi  $\beta$  pada sampel minyak goreng dan kecap.

Selain dari unsur  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , dan  $^{40}\text{K}$ , dimungkinkan juga bahwa yang menjadi penyumbang paparan radiasi  $\beta$  adalah berasal dari unsur-unsur kimia yang terkandung dalam bahan baku dalam pembuatan minyak goreng dan kecap. Dari beberapa unsur kimia yang terkandung dalam bahan baku pembuatan minyak goreng dan kecap diketahui mempunyai beberapa radioisotop, sehingga dimungkinkan dari radioisotop-radioisotop itulah yang menjadi penyumbang paparan radiasi  $\beta$  pada sampel minyak goreng dan kecap. Diketahui, kedelai sebagai bahan baku dalam pembuatan kecap, mengandung unsur kimia berupa : fosfor (P), kalsium (Ca), dan kalium (K). Kelapa sebagai bahan baku dalam pembuatan minyak kelapa, diketahui mengandung unsur kimia berupa : besi (Fe), fosfor (P), dan kalsium (Ca). Sedangkan jagung sebagai bahan baku dalam pembuatan minyak jagung diketahui mengandung unsur kimia berupa: kalsium (Ca), fosfor (P), kalium (K), besi (Fe), magnesium (Mg), tembaga (Cu), kobalt (Co), mangan (Mn), dan khlor (Cl). Begitu juga pada kelapa sawit yang merupakan bahan baku dalam pembuatan minyak kelapa sawit terkandung unsur kimia berupa : besi (Fe), tembaga (Cu) (Ketaren, 1986).

Menurut Tipler dan Llewellyn (2002), unsur-unsur kimia yang terkandung dalam bahan baku pembuatan minyak goreng dan kecap diatas mempunyai beberapa isotop dalam keadaan tidak stabil (radioisotop). Akibat ketidakstabilan tersebut, maka radioisotop akan mengalami peluruhan untuk menuju ke keadaan stabil yang disertai pancaran radiasi. Jenis radiasi yang dipancarkan dari masing-masing radioisotop dapat dilihat pada Tabel Massa Atom (Lampiran 9).

Fosfor (P) diketahui merupakan unsur yang dominan terkandung dalam kedelai. Unsur Fosfor (P) mempunyai beberapa radioisotop, diantaranya yaitu :  $^{32}\text{P}$  dan  $^{33}\text{P}$ . P-32 yang mempunyai

waktu paro selama 14,26 hari akan mengalami peluruhan  $\beta^-$  pada tenaga sebesar 1,7107 MeV, menuju ke keadaan stabil menjadi unsur  $^{32}\text{S}$ . Sedangkan P-33 yang mempunyai waktu paro selama 25,34 hari, juga mengalami peluruhan  $\beta^-$  pada tenaga sebesar 0,2485 MeV, menuju ke keadaan stabil menjadi unsur  $^{33}\text{S}$ . Karena kedelai merupakan bahan baku utama dalam pembuatan kecap, maka kemungkinan Fosfor (P) adalah sebagai salah satu penyumbang radiasi  $\beta$  pada sample kecap. Begitu juga dengan beberapa unsur kimia lain (Mg, Cl, Cu, Co, Fe, dan K), diketahui mempunyai radioisotop pemancar radiasi  $\beta$  (Tipler dan Llewellyn, 2002). Dapat disimpulkan bahwa kemungkinan yang menjadi penyumbang paparan radiasi  $\beta$  pada sampel minyak goreng dan kecap adalah berasal dari unsur-unsur kimia yang terkandung dalam bahan baku dalam pembuatan minyak goreng dan kecap.

Di Indonesia belum memiliki baku mutu untuk kecap dan minyak goreng, sehingga hasil aktivitas jenis rerata yang diperoleh dari penelitian ini dapat dibandingkan dengan nilai batas maksimum cemaran radioaktif dalam makanan siap konsumsi yang dikeluarkan menurut Keputusan Menteri Kesehatan RI No.00474 / B / II / 87 (Lampiran 11). Dalam Keputusan Menteri Kesehatan RI No.00474 / B / II / 87 tersebut terlihat adanya 6 jenis makanan yang diharuskan disertai dengan sertifikasi bebas radiasi serta batasan maksimum cemaran radioaktif. Karena belum adanya batasan maksimum cemaran radioaktif pada minyak goreng dan kecap, maka sebagai pendekatan, hasil aktivitas jenis rerata yang diperoleh dibandingkan dengan batas cemaran radioaktif jenis makanan berupa buah dan sayuran segar maupun yang terolah yaitu sebesar 300 Bq/kg. Hal ini dikarenakan, sampel yang digunakan (minyak goreng dan kecap) termasuk hasil olahan dari buah-buahan atau sayuran, misalnya : minyak goreng kelapa merupakan hasil olahan dari buah kelapa. Setelah dibandingkan dengan nilai batas maksimum cemaran radioaktif pada buah dan sayuran segar maupun yang terolah, dapat disimpulkan bahwa aktivitas jenis rerata yang diperoleh dari penelitian ini masih berada dalam batas maksimum cemaran radioaktif.

Adanya kandungan radioaktivitas pada sampel minyak goreng dan kecap menunjukkan adanya perpindahan radionuklida yang berasal dari udara, air, maupun tanah yang diserap oleh tanaman. Minyak goreng dan kecap merupakan salah satu contoh jenis bahan makanan yang dikonsumsi oleh masyarakat, maka

radionuklida yang terkandung dalam sampel tersebut dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur makanan. Radionuklida yang masuk ke dalam tubuh manusia akan mengendap dalam organ atau jaringan pada tubuh manusia. Masuknya radionuklida ke dalam tubuh manusia menyebabkan adanya sumber radiasi yang berasal dari dalam tubuh atau yang sering disebut sebagai sumber radiasi internal.

Menurut Wiryosimin (1995), dosis yang berasal dari penyinaran-dalam sukar sekali atau bahkan tidak mungkin diukur, berbeda dengan penerimaan dosis yang berasal dari penyinaran-luar. Besaran yang terkait dengan dosis yang dapat diketahui secara tidak langsung, misalnya menentukan aktivitas radionuklida yang mengendap dalam organ atau jaringan tubuh. Dengan mengetahui aktivitas yang mengendap dalam jaringan atau dalam tubuh, kita dapat mengetahui dosis yang diterima oleh bagian jaringan tertentu. Batas dosis maksimum yang diizinkan adanya zat radioaktif yang mengendap dalam suatu jaringan atau organ manusia dapat dilihat pada Tabel 2.1.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Aktivitas jenis gross  $\beta$  pada sampel kecap adalah berkisar antara (0,01 – 0,16) Bq/g, pada sampel minyak goreng dari jagung berkisar antara (0,12 – 0,16) Bq/g, pada sampel minyak goreng dari kelapa berkisar antara (0,06 – 0,23) Bq/g, sedangkan pada sampel minyak goreng dari kelapa sawit didapatkan aktivitas jenis gross  $\beta$  berkisar antara (0,1 - 0,15) Bq/g. Hasil pengukuran aktivitas jenis gross  $\beta$  menunjukkan harga yang masih berada dalam batas maksimum cemaran radioaktif pada buah dan sayuran segar maupun yang terolah menurut Keputusan Menteri Kesehatan RI No.00474 / B / II / 87, yaitu sebesar 300 Bq/kg.

Teridentifikasi 3 jenis radionuklida alam pada Spektrometer  $\gamma$ , dalam sampel minyak goreng dan kecap, yaitu :  $^{208}\text{Tl}$  (583,704 keV) dari deret Thorium,  $^{214}\text{Bi}$  (609,841 keV) dari deret Uranium dan  $^{40}\text{K}$  (1460,304 keV).

Diduga bahwa yang menjadi penyumbang paparan radiasi  $\beta$  pada sampel minyak goreng dan kecap adalah radionuklida yang terdeteksi pada spektrometer  $\gamma$  ( $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , dan  $^{40}\text{K}$ ), dan berasal dari unsur-unsur kimia yang terkandung dalam bahan baku dalam pembuatan minyak goreng dan kecap.

#### **5.2. Saran**

Adanya baku tingkat radioaktivitas pada minyak goreng dan kecap yang merupakan salah satu bahan makanan yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Ditinjau dari besar kecilnya kandungan radioaktivitas yang ada, perlu adanya pertimbangan bagi konsumen sebelum memilih dan menggunakan minyak goreng dan kecap, sedangkan bagi produsen perlu pertimbangan dalam hal pemilihan bahan baku yang digunakan dalam pembuatan minyak goreng dan kecap.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi. 2000. **Dasar – Dasar Proteksi Radiasi**. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Anonymous. 1976. **Environmental Radiation Measurement**. NCRP Report No 50. National Council on Radiation Protection and Measurement. Washington DC.
- Bevelacqua, J.J. 1999. **Basic Health Physics, Problem and Solution**. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Bushong, C.S. 2001. **Radiologic Science for Technologists, Physics, Biology, and Protection**. Mosby, Inc.
- Erdtmann dan Soyka. 1979. **The Gamma Rays of The Radionuclides: Tables for Applied Gamma Ray Spectrometry**. Weinheim. New York.
- Gabriel, F.J. 1996. **Fisika Kedokteran**. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Ketaren, S. 1986. **Minyak dan Lemak Pangan**. UI-press. Jakarta.
- Martin, E.J. 2000. **Physics for Radiation Protection**. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Muryono. 2005. **Evaluasi Radioaktivitas Gross Beta dan Identifikasi Radionuklida Pemancar Gamma dalam Buah-buahan Impor dan Local**. Prosiding PPI-PDIPTN 2005. Puslitbang Teknologi Maju – BATAN .Yogyakarta.
- SK.Direktur Jendral Badan Tenaga Atom Nasional. No.293/DJ/VII/1995. **Tentang Baku Tingkat Radioaktivitas di Lingkungan**. Direktur Jendral Badan Tenaga Atom Nasional.
- Sukirno, Agus T, dan Rosyidi. 2005. **Penelitian Tingkat Kandungan Radioaktivitas Sediment dan Air Sungai di**

**Semarang.** Prosiding PPI – PDIPTN 2005. Puslitbang Teknologi Maju – BATAN .Yogyakarta.

Suratman. 1997. **Pengukuran Radioaktivitas Beta.** Pusat Penelitian Nuklir. BATAN. Yogyakarta.

Susetyo, W. 1988. **Spektrometri Gamma.** Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Sutarman, Wahyudi, Buchori, dan Warsono. 2005. **Kadar Ra-226, Th-232, dan K-40 dalam tanah dan air ditambang emas bawah tanah.** Prosiding PPI–PDIPTN. Puslitbang Teknologi Maju–BATAN .Yogyakarta.

Thoyib. 1985. **Radionuklida Pencemaran Lingkungan dan Ekologinya.** Penerbit Pusat Dosimetri dan Standarisasi. BATAN. Yogyakarta.

Tipler dan Llewellyn. 2002. **Modern Physics.** W.H.Freeman and Company. United State of America. New York.

Wardhana, A.W. 1994. **Teknik Analisis Radioaktivitas Lingkungan.** Andi Offset. Yogyakarta.

Wardhana, A.W. 1996. **Radioekologi.** Andi Offset. Yogyakarta.

Wardhana, A.W. 2001. **Dampak Pencemaran Lingkungan.** Penerbit Andi Offset.. Yogyakarta.

Wiryosimin, S. 1995. **Mengenal Asas Proteksi Radiasi.** Penerbit ITB. Bandung.

[www.batan-bdg.go.id](http://www.batan-bdg.go.id), tanggal akses : 28 Januari 2007.

[www.depkes.go.id/index.php?option=articles&task=viewarticle&articleid=137&Itemid=3](http://www.depkes.go.id/index.php?option=articles&task=viewarticle&articleid=137&Itemid=3), tanggal akses : 7 Januari 2007.

[www.ditjenphka.go.id](http://www.ditjenphka.go.id), tanggal akses : 23 Desember 2006.

[www.infonuklir.com/Tips/tips\\_rad06.htm](http://www.infonuklir.com/Tips/tips_rad06.htm), tanggal akses : 7 Januari 2007.

[www.kompas.com/kesehatan/news/0404/11/143157.htm](http://www.kompas.com/kesehatan/news/0404/11/143157.htm), tanggal akses : 24 April 2007

[www.shef.ac.uk](http://www.shef.ac.uk), tanggal akses : 15 Desember 2006.

[www.smurfink.blogspot.com](http://www.smurfink.blogspot.com), tanggal akses : 24 April 2007



## LAMPIRAN 1

### Contoh Perhitungan Aktivitas Jenis Gross $\beta$

Diambil contoh perhitungan aktivitas jenis gross  $\beta$  pada sampel kecap :

Kode sampel : K 11  
Waktu pencacahan (t) : 1200 detik  
Berat (W) : 1.38 g  
Eff (%) : 6.08 (dari grafik LBC)  
Cps sampel : 0.0475 cps  
Cps latar : 0.0367 cps  
Cps total : Cps sampel - Cps latar = 0.01083 cps

$$\begin{aligned} \text{Dps} &: \frac{\text{Cps}_{\text{total}}}{\text{Eff}} \times 100\% \\ &= \frac{0.01083}{6.08} \times 100\% \\ &= 0,1782 \text{ dps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aktivitas gross } \beta &: \frac{\text{Dps}}{W} \\ &= 0,1782 / 1,38 \\ &= 0,1523 \text{ Bq/g} \end{aligned}$$



## Hasil pengukuran aktivitas gross pada sampel minyak sawit

No	Kode	Waktu (s)	Pencacahan		Cps		Cps netto	Eff (%)	Vol (ml)	Berat (g)	Dps	Aktivitas jenis		Aktivitas jenis rerata	
			sampel	latar	sampel	latar						Bq/ml	Bq/g	Bq/ml	Bq/g
1	MS 11	1200	49	41	0.0408	0.0342	0.00667	7.37	1	0.862	0.0881	0.0881	0.1022	0.11919	
	MS 12	1200	56	46	0.0467	0.0383	0.00833	7.37	1	0.862	0.1101	0.1101	0.1277	0.15127	
	MS 13	1200	56	46	0.0467	0.0383	0.00833	7.37	1	0.862	0.1101	0.1101	0.1277	0.15127	
2	MS 21	1200	53	45	0.0442	0.0375	0.00667	7.33	1	0.946	0.091	0.091	0.961	0.1137	
	MS 22	1200	56	45	0.0467	0.0375	0.00917	7.33	1	0.946	0.1251	0.1251	0.1322	0.15127	
	MS 23	1200	54	43	0.045	0.0358	0.00917	7.33	1	0.946	0.1251	0.1251	0.1322	0.15127	
3	MS 31	1200	45	41	0.0375	0.0342	0.00333	7.5	1	0.887	0.0444	0.0444	0.501	0.0889	
	MS 32	1200	55	44	0.0458	0.0367	0.00917	7.5	1	0.887	0.1222	0.1222	0.1378	0.15127	
	MS 33	1200	45	36	0.0375	0.03	0.0075	7.5	1	0.887	0.1	0.1	0.1127	0.0401	
4	MS 41	1200	48	41	0.04	0.0342	0.00383	7.35	1	0.939	0.0794	0.0794	0.845	0.0907	
	MS 42	1200	49	43	0.0408	0.0358	0.005	7.35	1	0.939	0.068	0.068	0.724	0.0966	
	MS 43	1200	52	41	0.0433	0.0342	0.00917	7.35	1	0.939	0.1247	0.1247	0.1328	0.03	
5	MS 51	1200	60	46	0.05	0.0383	0.01167	7.41	1	0.918	0.1574	0.1574	0.1715	0.135	
	MS 52	1200	57	45	0.0475	0.0375	0.01	7.41	1	0.918	0.135	0.135	0.147	0.147	
	MS 53	1200	51	41	0.0425	0.0342	0.00833	7.41	1	0.918	0.1125	0.1125	0.1225	0.0225	

## Hasil pengukuran aktivitas gross pada sampel minyak kelapa

No	Kode	Waktu (s)	Pencacahan		Cps		Cps netto	Eff (%)	Vol (ml)	Berat (g)	Dps	Aktivitas Jenis		Aktivitas Jenis rerata	
			sampel	latar	sampel	latar						(Bq/ml)	(Bq/g)	(Bq/ml)	(Bq/g)
1	MK 11	1200	43	36	0.0358	0.03	0.00583	7.51	1	0.883	0.0777	0.0777	0.088	0.0555	
	MK 12	1200	43	41	0.0358	0.0342	0.00167	7.51	1	0.883	0.0222	0.0222	0.251	0.0284	
	MK 13	1200	47	41	0.0392	0.0342	0.005	7.51	1	0.883	0.0666	0.0666	0.754	0.0332	
2	MK 21	1200	55	41	0.0458	0.0342	0.01167	7.44	1	0.908	0.1568	0.1568	0.1727	0.2053	
	MK 22	1200	63	41	0.0525	0.0342	0.01833	7.44	1	0.908	0.2464	0.2464	0.2714	0.2622	
	MK 23	1200	62	43	0.0517	0.0358	0.01583	7.44	1	0.908	0.2128	0.2128	0.2344	0.0453	
3	MK 31	1200	64	45	0.0533	0.0375	0.01583	7.52	1	0.88	0.2105	0.2105	0.2393	0.1773	
	MK 32	1200	65	46	0.0542	0.0383	0.01583	7.52	1	0.88	0.2105	0.2105	0.2393	0.0654	
	MK 33	1200	51	41	0.0425	0.0342	0.00833	7.52	1	0.88	0.1108	0.1108	0.1259	0.1452	
4	MK 41	1200	60	46	0.05	0.0383	0.01167	7.46	1	0.9	0.1564	0.1564	0.1738	0.1614	
	MK 42	1200	59	45	0.0492	0.0375	0.01167	7.46	1	0.9	0.1564	0.1564	0.1738	0.0919	
	MK 43	1200	54	43	0.045	0.0358	0.00917	7.46	1	0.9	0.1229	0.1229	0.1365	0.0215	

## Hasil pengukuran aktivitas gross pada sampel minyak jagung

No	Kode	Waktu (s)	Pencacahan		Cps		Cps netto	Eff (%)	Vol (ml)	Berat (g)	Dps	Aktivitas Jenis		Aktivitas Jenis rerata	
			sampel	latar	sampel	latar						(Bq/ml)	(Bq/g)	(Bq/ml)	(Bq/g)
1	MJ 11	1200	49	41	0.0408	0.0342	0.00667	7.47	1	0.898	0.0892	0.0892	0.0994	0.145	
	MJ 12	1200	66	46	0.055	0.0383	0.01667	7.47	1	0.898	0.2231	0.2231	0.2485	0.1615	
	MJ 13	1200	52	41	0.0433	0.0342	0.00917	7.47	1	0.898	0.1227	0.1227	0.1367	0.0697	
2	MJ 21	1200	51	44	0.0425	0.0367	0.00583	7.45	1	0.902	0.0783	0.0783	0.868	0.1119	
	MJ 22	1200	58	44	0.0483	0.0367	0.01167	7.45	1	0.902	0.1566	0.1566	0.1736	0.124	
	MJ 23	1200	54	45	0.045	0.0375	0.0075	7.45	1	0.902	0.1007	0.1007	0.1116	0.0403	
3	MJ 31	1200	56	44	0.0467	0.0367	0.01	7.43	1	0.911	0.1346	0.1346	0.1477	0.1608	
	MJ 32	1200	59	45	0.0492	0.0375	0.01167	7.43	1	0.911	0.157	0.157	0.1724	0.1765	
	MJ 33	1200	58	41	0.0483	0.0342	0.01417	7.43	1	0.911	0.1907	0.1907	0.2093	0.031	
4	MJ 41	1200	58	45	0.0483	0.0375	0.01083	7.38	1	0.929	0.1468	0.1468	0.158	0.1355	
	MJ 42	1200	56	41	0.0467	0.0342	0.0125	7.38	1	0.929	0.1694	0.1694	0.1823	0.1459	
	MJ 43	1200	52	44	0.0433	0.0367	0.00667	7.38	1	0.929	0.0903	0.0903	0.972	0.0407	

## Hasil pengukuran aktivitas gross pada sampel kecap

No	Kode	Waktu (s)	Pencacahan		Cps		Cps netto	Eff (%)	Vol (ml)	Berat (g)	Dps	Aktivitas Jenis		Aktivitas Jenis rerata	
			sampel	latar	sampel	latar						(Bq/ml)	(Bq/g)	(Bq/ml)	(Bq/g)
1	K 11	1200	57	44	0.0475	0.0367	0.01083	6.08	1	1.38	0.1782	0.1782	0.1291	0.2102	
	K 12	1200	65	46	0.0542	0.0383	0.01583	6.08	1	1.38	0.2604	0.2604	0.1887	0.1523	
	K 13	1200	59	45	0.0492	0.0375	0.01167	6.08	1	1.38	0.1919	0.1919	0.139	0.0441	
2	K 21	1200	52	44	0.0433	0.0367	0.00667	6.2	1	1.34	0.1075	0.1075	0.0802	0.1389	
	K 22	1200	53	43	0.0442	0.0383	6.2	1	1.34	0.1344	0.1344	0.1003	0.1036		
	K 23	1200	57	44	0.0475	0.0367	0.01083	6.2	1	1.34	0.1747	0.1747	0.1304	0.0338	
3	K 31	1200	65	45	0.0542	0.0375	0.01667	5.97	1	1.42	0.2792	0.2792	0.1966	0.2233	
	K 32	1200	55	44	0.0458	0.0367	0.00917	5.97	1	1.42	0.1535	0.1535	0.1081	0.1773	
	K 33	1200	60	43	0.05	0.0358	0.01417	5.97	1	1.42	0.2373	0.2373	0.1671	0.064	
4	K 41	1200	61	46	0.0508	0.0383	0.0125	6.09	1	1.376	0.2053	0.2053	0.1492	0.1642	
	K 42	1200	50	43	0.0417	0.0358	0.00583	6.09	1	1.376	0.0958	0.0958	0.0696	0.1193	
	K 43	1200	60	46	0.05	0.0383	0.01167	6.09	1	1.376	0.1916	0.1916	0.1392	0.0433	

## LAMPIRAN 2

### Contoh Perhitungan Aktivitas Jenis Pemancar\_

Diambil contoh perhitungan aktivitas jenis Pemancar\_ pada sampel minyak kelapa untuk tenaga  $609.841$  ( $^{214}\text{Bi}$ ) :

Kode sampel : MK 11  
Berat (W) : 0,5 L  
Yield (E) : 0,4609  
Eff (%) : 0.0106 (dari persamaan kalibrasi efisiensi)  
Cps sampel : 0.006967 cps  
Cps latar : 0.0059 cps  
Cps total : Cps sampel - Cps latar = 0.001067 cps

$$\text{Dps} : \frac{\text{Cps}_{\text{total}}}{\text{Eff} \times Y(E)} \times 100\%$$
$$= \frac{0.001067}{0.0106 \times 0,4609} \times 100 \%$$

$$= 0,2047 \text{ dps}$$

Aktivitas :  $\frac{\text{Dps}}{W}$

$$= 0,2047 / 0,5$$
$$= 0.4094 \text{ Bq/L}$$

Dimana nilai efisiensi untuk tenaga  $609.841$  ( $^{214}\text{Bi}$ ) didapatkan dari persamaan kalibrasi efisiensi yaitu :

$$Y = -0,9837 X + 1,7663$$

Dimana:

$$Y = \ln \text{Eff}$$

$$X = \ln \text{Tenaga}$$

Sehingga :

$$\ln Y = -0,9837 (\ln \text{tenaga}) + 1,7663$$

$$= -0,9837 (\ln 609.841) + 1,7663$$

$$= -4,542$$

$$\text{Eff} = e^{-4,542}$$

$$= 0.0106$$

## Hasil pencacahan & perhitungan aktivitas $\gamma$ pada sampel kecap

Ket : Ttd : tidak terdeteksi  
Tth : tidak terhitung

Kode	Tenaga (keV)	Isotop	cps			Yield	Eff (%)	Vol (L)	Dps	Aktivitas jenis (Bq/L)
			sampel	latar	netto					
K 11	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0083	0.0059	0.0024	0.4609	0.0106	0.5	0.4912	0.9825
	1460.304	K-40	0.0503	0.0337	0.0166	0.107	0.0045	0.5	34.4756	68.9512
K 12	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0076	0.0059	0.0017	0.4609	0.0106	0.5	0.3479	0.6959
	1460.304	K-40	0.0578	0.0337	0.0241	0.107	0.0045	0.5	50.0519	100.1038
K 13	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0083	0.0059	0.0024	0.4609	0.0106	0.5	0.4912	0.9825
	1460.304	K-40	0.0544	0.0337	0.0207	0.107	0.0045	0.5	42.9906	85.9813
K 21	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0067	0.0059	0.0008	0.4609	0.0106	0.5	0.1637	0.3275
	1460.304	K-40	0.0626	0.0337	0.0289	0.107	0.0045	0.5	60.0208	120.0415
K 22	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.008	0.0059	0.0021	0.4609	0.0106	0.5	0.4298	0.8597
	1460.304	K-40	0.0545	0.0337	0.0208	0.107	0.0045	0.5	43.1983	86.3967
K 23	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0068	0.0059	0.0009	0.4609	0.0106	0.5	0.1842	0.3685
	1460.304	K-40	0.0601	0.0337	0.0264	0.107	0.0045	0.5	54.8287	109.6573
K 31	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0087	0.0059	0.0028	0.4609	0.0106	0.5	0.5731	1.1462
	1460.304	K-40	0.0578	0.0337	0.0241	0.107	0.0045	0.5	50.0519	100.1038
K 32	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0087	0.0059	0.0028	0.4609	0.0106	0.5	0.5731	1.1462
	1460.304	K-40	0.0583	0.0337	0.0246	0.107	0.0045	0.5	51.0903	102.1807
K 33	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0082	0.0059	0.0023	0.4609	0.0106	0.5	0.4708	0.9415
	1460.304	K-40	0.0586	0.0337	0.0249	0.107	0.0045	0.5	51.7134	103.4268
K 41	583.704	Tl-208	0.0114	0.0063	0.0051	0.86	0.0111	0.5	0.5342	1.0685
	609.841	Bi-214	0.0092	0.0059	0.0033	0.4609	0.0106	0.5	0.6755	1.3509
	1460.304	K-40	0.0592	0.0337	0.0255	0.107	0.0045	0.5	52.959	105.9190
K 42	583.704	Tl-208	0.0087	0.0063	0.0024	0.86	0.0111	0.5	0.2514	0.5028
	609.841	Bi-214	0.0107	0.0059	0.0048	0.4609	0.0106	0.5	0.9825	1.9649
	1460.304	K-40	0.0578	0.0337	0.0241	0.107	0.0045	0.5	50.0519	100.1038
K 43	583.704	Tl-208	0.0097	0.0063	0.0034	0.86	0.0111	0.5	0.3562	0.7123
	609.841	Bi-214	0.0085	0.0059	0.0026	0.4609	0.0106	0.5	0.5322	1.0644
	1460.304	K-40	0.0564	0.0337	0.0227	0.107	0.0045	0.5	47.1443	94.2887

# Hasil pencacahan & perhitungan aktivitas $\gamma$ pada sampel minyak jagung

Ket : Ttd : tidak terdeteksi  
Tth : tidak terhitung

Kode	Tenaga (keV)	Isotop	cps			Yield	Eff (%)	Vol (L)	Dps	Aktivitas jenis (Bq/L)
			sampel	latar	netto					
MJ 11	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0133	0.0059	0.0074	0.4609	0.0106	0.5	1.5147	3.0293
	1460.304	K-40	0.0447	0.0337	0.011	0.107	0.0045	0.5	22.8453	45.6906
MJ 12	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0128	0.0059	0.0069	0.4609	0.0106	0.5	1.4123	2.8247
	1460.304	K-40	0.043	0.0337	0.0093	0.107	0.0045	0.5	19.3146	38.6293
MJ 13	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0129	0.0059	0.007	0.4609	0.0106	0.5	1.4328	2.8656
	1460.304	K-40	0.0425	0.0337	0.0088	0.107	0.0045	0.5	18.2762	36.5524
MJ 21	583.704	Tl-208	0.0094	0.0063	0.0031	0.86	0.0111	0.5	0.3247	0.6495
	609.841	Bi-214	0.0136	0.0059	0.0077	0.4609	0.0106	0.5	1.5761	3.1522
	1460.304	K-40	0.0439	0.0337	0.0102	0.107	0.0045	0.5	21.1838	42.3676
MJ 22	583.704	Tl-208	0.0083	0.0063	0.002	0.86	0.0111	0.5	0.2095	0.4190
	609.841	Bi-214	0.015	0.0059	0.0091	0.4609	0.0106	0.5	1.8626	3.7253
	1460.304	K-40	0.0407	0.0337	0.007	0.107	0.0045	0.5	14.5379	29.0758
MJ 23	583.704	Tl-208	0.0101	0.0063	0.0038	0.86	0.0111	0.5	0.3981	0.7961
	609.841	Bi-214	0.013	0.0059	0.0071	0.4609	0.0106	0.5	1.4533	2.9065
	1460.304	K-40	0.043	0.0337	0.0093	0.107	0.0045	0.5	19.3146	38.6293
MJ 31	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0196	0.0059	0.0137	0.4609	0.0106	0.5	2.8042	5.6084
	1460.304	K-40	0.0467	0.0337	0.013	0.107	0.0045	0.5	26.9989	53.9979
MJ 32	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0146	0.0059	0.0087	0.4609	0.0106	0.5	1.7808	3.5615
	1460.304	K-40	0.043	0.0337	0.0093	0.107	0.0045	0.5	19.3146	38.6293
MJ 33	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0194	0.0059	0.0135	0.4609	0.0106	0.5	2.7632	5.5265
	1460.304	K-40	0.0432	0.0337	0.0095	0.107	0.0045	0.5	19.7300	39.4600
MJ 41	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0094	0.0059	0.0035	0.4609	0.0106	0.5	0.7164	1.4328
	1460.304	K-40	0.0436	0.0337	0.0099	0.107	0.0045	0.5	20.5607	41.12149533
MJ 42	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.009	0.0059	0.0031	0.4609	0.0106	0.5	0.6345	1.2690
	1460.304	K-40	0.0399	0.0337	0.0062	0.107	0.0045	0.5	12.8764	25.7528
MJ 43	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0117	0.0059	0.0058	0.4609	0.0106	0.5	1.1872	2.3743
	1460.304	K-40	0.0405	0.0337	0.0068	0.107	0.0045	0.5	14.1225	28.2451

# Hasil pencacahan & perhitungan aktivitas $\gamma$ pada sampel minyak kelapa

Ket : Ttd : tidak terdeteksi  
Tth : tidak terhitung

Kode	Tenaga (keV)	Isotop	cps			Yield	Eff (%)	Volt (L)	Dps	Aktivitas jenis (Bq/L)
			sampel	latar	netto					
MK 11	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0069	0.0059	0.001	0.4609	0.0106	0.5	0.2047	0.4094
	1460.304	K-40	0.0403	0.0337	0.0066	0.107	0.0045	0.5	13.7072	27.4143
MK 12	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0066	0.0059	0.0007	0.4609	0.0106	0.5	0.1433	0.2865
	1460.304	K-40	0.0396	0.0337	0.0059	0.107	0.0045	0.5	12.2534	24.5067
MK 13	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0074	0.0059	0.0015	0.4609	0.0106	0.5	0.3070	0.6140
	1460.304	K-40	0.0344	0.0337	0.0007	0.107	0.0045	0.5	1.4538	2.9076
MK 21	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0071	0.0059	0.0012	0.4609	0.0106	0.5	0.2456	0.4912
	1460.304	K-40	0.0384	0.0337	0.0047	0.107	0.0045	0.5	9.7612	19.5223
MK 22	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0078	0.0059	0.0019	0.4609	0.0106	0.5	0.3889	0.7778
	1460.304	K-40	0.0419	0.0337	0.0082	0.107	0.0045	0.5	17.0301	34.0602
MK 23	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0068	0.0059	0.0009	0.4609	0.0106	0.5	0.1842	0.3684
	1460.304	K-40	0.0383	0.0337	0.0046	0.107	0.0045	0.5	9.5535	19.1069
MK 31	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0065	0.0059	0.0006	0.4609	0.0106	0.5	0.1228	0.2456
	1460.304	K-40	0.0442	0.0337	0.0105	0.107	0.0045	0.5	21.8068	43.6137
MK 32	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0072	0.0059	0.0013	0.4609	0.0106	0.5	0.2661	0.5322
	1460.304	K-40	0.0428	0.0337	0.0091	0.107	0.0045	0.5	18.8992	37.7985
MK 33	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0081	0.0059	0.0022	0.4609	0.0106	0.5	0.4503	0.9006
	1460.304	K-40	0.0423	0.0337	0.0086	0.107	0.0045	0.5	17.8608	35.7217
MK 41	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0089	0.0059	0.003	0.4609	0.0106	0.5	0.61405699	1.2281
	1460.304	K-40	0.0436	0.0337	0.0099	0.107	0.0045	0.5	20.5607	41.1215
MK 42	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.007	0.0059	0.0011	0.4609	0.0106	0.5	0.2252	0.4503
	1460.304	K-40	0.0402	0.0337	0.0065	0.107	0.0045	0.5	13.4995	26.9989
MK 43	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.007	0.0059	0.0011	0.4609	0.0106	0.5	0.2252	0.4503
	1460.304	K-40	0.05	0.0337	0.0163	0.107	0.0045	0.5	33.85251	67.7051

# Hasil pencacahan & perhitungan aktivitas $\gamma$ pada sampel minyak sawit

Ket : Ttd : tidak terdeteksi  
Tth : tidak terhitung

Kode	Tenaga (keV)	Isotop	cps			Yield	Eff (%)	Vol (L)	Dps	Aktivitas jenis (Bq/L)
			sampel	latar	netto					
MS 11	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0151	0.0059	0.0092	0.4609	0.0106	0.5	1.8831	3.7662
	1460.304	K-40	0.042	0.0337	0.0083	0.107	0.0045	0.5	17.2377	34.4756
MS 12	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0135	0.0059	0.0076	0.4609	0.0106	0.5	1.5556	3.1112
	1460.304	K-40	0.045	0.0337	0.0113	0.107	0.0045	0.5	23.4683	46.9366
MS 13	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0157	0.0059	0.0098	0.4609	0.0106	0.5	2.0056	4.0118
	1460.304	K-40	0.0418	0.0337	0.0081	0.107	0.0045	0.5	16.8224	33.6448
MS 21	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0086	0.0059	0.0027	0.4609	0.0106	0.5	0.5526	1.1053
	1460.304	K-40	0.0436	0.0337	0.0099	0.107	0.0045	0.5	20.5607	41.1215
MS 22	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0104	0.0059	0.0045	0.4609	0.0106	0.5	0.9211	1.8422
	1460.304	K-40	0.0435	0.0337	0.0098	0.107	0.0045	0.5	20.3531	40.7061
MS 23	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0089	0.0059	0.003	0.4609	0.0106	0.5	0.6140	1.2281
	1460.304	K-40	0.0444	0.0337	0.0107	0.107	0.0045	0.5	22.2222	44.4444
MS 31	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0074	0.0059	0.0015	0.4609	0.0106	0.5	0.3070	0.6140
	1460.304	K-40	0.0422	0.0337	0.0085	0.107	0.0045	0.5	17.6531	35.3063
MS 32	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.009	0.0059	0.0031	0.4609	0.0106	0.5	0.6345	1.2690
	1460.304	K-40	0.0429	0.0337	0.0092	0.107	0.0045	0.5	19.1069	38.2139
MS 33	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0105	0.0059	0.0046	0.4609	0.0106	0.5	0.9415	1.8831
	1460.304	K-40	0.041	0.0337	0.0073	0.107	0.0045	0.5	15.1609	30.3219
MS 41	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0151	0.0059	0.0092	0.4609	0.0106	0.5	1.8831	3.7662
	1460.304	K-40	0.0471	0.0337	0.0134	0.107	0.0045	0.5	27.8297	55.6594
MS 42	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0101	0.0059	0.0042	0.4609	0.0106	0.5	0.8597	1.7193
	1460.304	K-40	0.0432	0.0337	0.0095	0.107	0.0045	0.5	19.7300	39.4600
MS 43	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0137	0.0059	0.0078	0.4609	0.0106	0.5	1.5965	3.1931
	1460.304	K-40	0.0461	0.0337	0.0124	0.107	0.0045	0.5	25.7528	51.5057
MS 51	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0124	0.0059	0.0065	0.4609	0.0106	0.5	1.3304	2.6609
	1460.304	K-40	0.041	0.0337	0.0073	0.107	0.0045	0.5	15.1609	30.3219
MS 52	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0122	0.0059	0.0063	0.4609	0.0106	0.5	1.2895	2.5790
	1460.304	K-40	0.0425	0.0337	0.0088	0.107	0.0045	0.5	18.2762	36.5524
MS 53	583.704	Tl-208	ttd	0.0063	tth	0.86	0.0111	0.5	tth	tth
	609.841	Bi-214	0.0119	0.0059	0.006	0.4609	0.0106	0.5	1.2281	2.4562
	1460.304	K-40	0.0414	0.0337	0.0077	0.107	0.0045	0.5	15.9917	31.9834

## LAMPIRAN 3

### Hasil Uji Chi\_Square

#### 1. Pada pencacahan sumber standar <sup>90</sup>Sr

Tabel Hasil pencacahan <sup>90</sup>Sr

Cacah ke (n)	$X_i$	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	7451	-133,1	17715,61
2	7614	29,9	894,01
3	7728	143,9	20707,21
4	7612	27,9	778,41
5	7474	-110,1	12122,01
6	7571	-13,1	171,61
7	7526	-58,1	3375,61
8	7539	-45,1	2034,01
9	7600	15,9	252,81
10	7726	141,9	20135,61

$$\begin{aligned}\sum X_i &= 75841 \\ \bar{X} &= 7584,1 \\ \sum (X_i - \bar{X})^2 &= 78186,9\end{aligned}$$

Menurut Suratman (1997), harga Chi\_Square dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\chi^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{\bar{X}} = \frac{78186,9}{7584,1} = 10.309$$

## 2. Pada pencacahan sumber standar $^{137}\text{Cs}$

Tabel : Hasil pencacahan  $^{137}\text{Cs}$

Cacah ke (n)	$X_i$	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	3544	-1,7	2,89
2	3505	-40,7	1656,49
3	3600	54,3	2948,49
4	3449	-96,7	9350,89
5	3655	109,3	11946,49
6	3586	40,3	80,6
7	3552	6,3	39,69
8	3591	45,3	2052,09
9	3531	-14,7	216,09
10	3444	-101,7	10342,89

$$\begin{aligned}\sum X_i &= 35457 \\ \bar{X} &= 3545,7 \\ \sum (X_i - \bar{X})^2 &= 40180,1\end{aligned}$$

Sehingga :

$$\chi^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{\bar{X}} = \frac{40180,1}{3545,7} = 11,332$$



## LAMPIRAN 4

### Perhitungan Aktivitas $^{152}\text{Eu}$

Tgl pembuatan : 15-06-1979

Tgl pencacahan : 09-08-2006

Umur paro (T) : 13,1 tahun

Aktivitas awal ( $A_0$ ) :  $1,975 \times 10^5$

Aktivitas kini ( $A_t$ ) :  $A_0 e^{-0,693 \frac{t}{T}}$

Waktu tunda (t) didapatkan dari :

Tgl pembuatan : 15 - 06 - 1979

Tgl pencacahan : 09 - 08 - 2006

---

= 24 hari 1 bulan 27 tahun

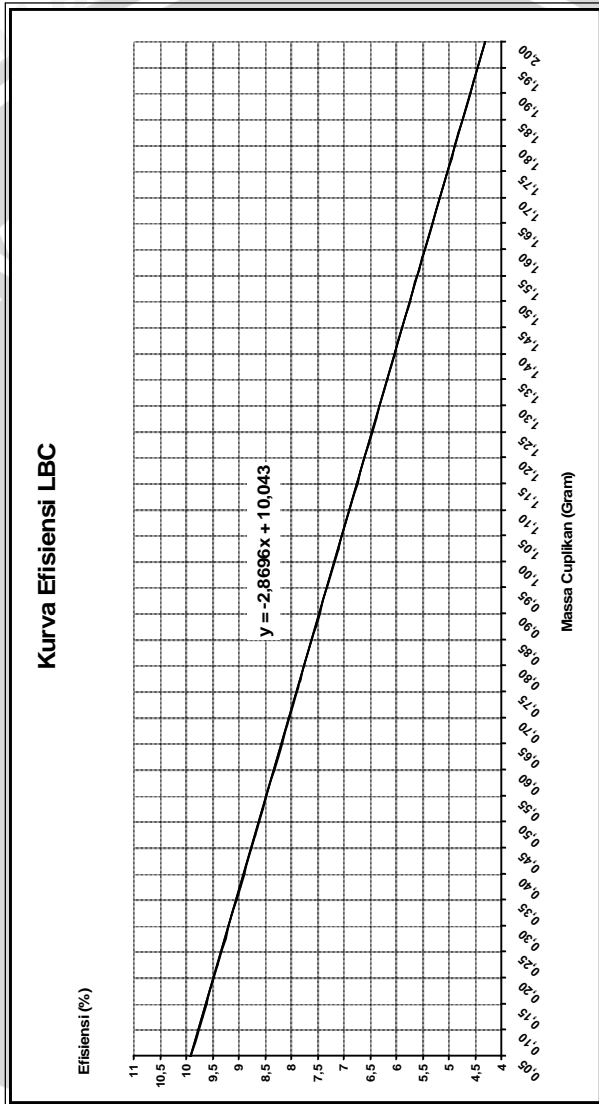
= 27,13 tahun

Sehingga  $A_t = 1,975 \times 10^5 e^{-0,693 \frac{27,13}{13,1}}$

=  $0,470184874 \times 10^5$

= 47018,5 dps

LAMPIRAN 5  
KURVA KALIBRASI LBC  
( Low Background Counter )



Sumber : Laboratorium Radioaktivitas Latar Rendah, 2006

## LAMPIRAN 6

### Hasil penimbangan berat & besarnya efisiensi Gross $\beta$ pada masing - masing cuplikan setelah dicocokkan dengan grafik LBC K-40

Tabel VI.1: Hasil penimbangan berat dan efisiensi pada sampel kecap

No	Kode	Berat Sampel		Efisiensi (%)
		(ml)	(gr)	
1	K 1	1	1,380	6.08
2	K 2	1	1,340	6.2
3	K 3	1	1,420	5.97
4	K 4	1	1,376	6.09

Tabel VI.2: Hasil penimbangan berat dan efisiensi pada sampel minyak jagung

No	Kode	Berat Sampel		Efisiensi (%)
		(ml)	(gr)	
1	MJ 1	1	0,898	7.47
2	MJ 2	1	0,902	7.45
3	MJ 3	1	0,911	7.43
4	MJ 4	1	0,929	7.38

Tabel VI.3: Hasil penimbangan berat dan efisiensi pada sampel minyak kelapa

No	Kode	Berat Sampel		Efisiensi (%)
		(ml)	(gr)	
1	MK 1	1	0,883	7.51
2	MK 2	1	0,908	7.44
3	MK 3	1	0,880	7.52
4	MK 4	1	0,900	7.46

Tabel VI.4: Hasil penimbangan berat dan efisiensi pada sampel minyak sawit

No	Kode	Berat Sampel		Efisiensi (%)
		(ml)	(gr)	
1	MS 1	1	0,862	7.57
2	MS 2	1	0,946	7.33
3	MS 3	1	0,887	7.5
4	MS 4	1	0,939	7.35
5	MS 5	1	0,918	7.41

# LAMPIRAN 7

## The Gamma Rays of The radioanuclides :

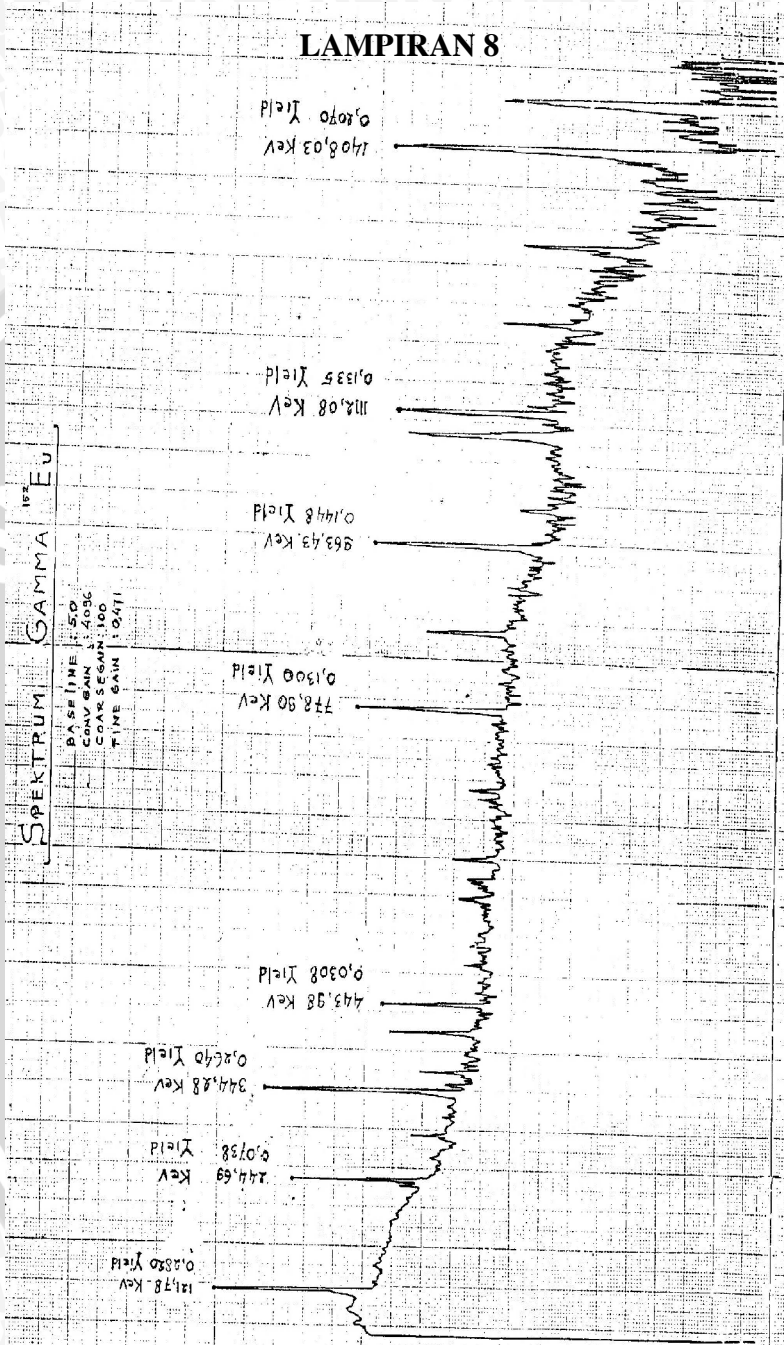
### Tables Applied Gamma Ray Spectrometry

<p>-----                      BI TL 199                      -----                      HALF LIFE: 7.4H                      GEN: CHA HG199                      CHA AU197                      DAU:                      PAR:                      REF: 68 LE 1,71 LE 3                      -----                      0.03683                      0.04287 0.40000 A                      0.05190                      0.06889 26.00000 A X                      0.07082 47.00000 A X                      0.08020 17.00000 A X                      0.08250 4.70000 A X                      0.15037 5.40000 A X                      0.19510 0.30000 A                      0.20818 11.90000 A                      0.24720 9.30000 A                      0.28400 1.30000 A                      0.33190 1.60000 A                      0.40350 0.40000 A                      0.45510 13.60000 A                      0.49200 1.00000 A                      -----                      81 TL 200                      -----                      HALF LIFE: 1.088D                      GEN: CHA TL203                      CHA AU197                      CHA HG                      DAU:                      PAR:                      REF: 71 KO 1                      -----                      0.06889 21.00000 A X                      0.07082 43.00000 A X                      0.08020 15.00000 A X                      0.08250 4.30000 A X                      0.11651 0.11500 A                      0.10217 0.05300 A                      0.25201 0.37000 A                      0.27200 0.03500 A                      0.28935 0.52000 A                      0.30918 0.26500 A                      0.34060 0.07100 A                      0.36797 88.40000 A                      0.38320 0.05300 A                      0.38730 0.16000 A                      0.39800 0.04400 A                      0.46400 0.02700 A                      0.46900 0.06200 A                      0.47602 0.12700 A                      0.48030 0.08000 A                      0.49620 0.08000 A                      0.51100 0.69000 A                      0.52140 0.28300 A                      0.53300 0.04400 A                      0.54120 0.02700 A                      0.54450 0.06100 A                      0.55670 0.09700 A                      0.56510 0.03500 A                      0.57920 14.00000 A                      -----</p>	<p>0.59185 0.21700 A                      0.61100 0.24700 A                      0.62663 1.01600 A                      0.66135 2.11000 A                      0.68005 0.11500 A                      0.68430 0.03500 A                      0.70170 1.31000 A                      0.71175 0.27400 A                      0.71860 0.04400 A                      0.72060 0.04400 A                      0.78160 0.57600 A                      0.78710 1.04000 A                      0.82032 11.00000 A                      0.87330 0.07100 A                      0.88615 2.05000 A                      0.89852 0.63000 A                      0.91610 0.06200 A                      0.95130 0.07950 A                      1.02711 0.06200 A                      1.14712 0.12400 A                      1.16710 0.10600 A                      1.18350 0.11500 A                      1.20570 30.40000 A                      1.22550 1.40000 A                      1.25411 0.95000 A                      1.26297 0.80000 A                      1.27352 3.36000 A                      1.29111 0.61000 A                      1.35035 0.15000 A                      1.36290 3.45000 A                      1.36630 0.88000 A                      1.40764 1.47000 A                      1.47774 0.15000 A                      1.51490 4.06000 A                      1.57060 0.27000 A                      1.57360 0.05300 A                      1.60450 1.18000 A                      1.63120 0.08200 A                      1.69335 0.08000 A                      1.71835 0.33600 A                      1.74640 0.05700 A                      1.75915 0.18500 A                      1.78340 0.03400 A                      1.86100 0.08000 A                      1.87056 0.03100 A                      1.90630 0.13600 A                      1.92060 0.08500 A                      1.92870 0.00620 A                      1.96330 0.01600 A                      1.97530 0.04600 A                      2.00200 0.04300 A                      2.02060 0.02900 A                      2.22900 0.00350 A                      2.27400 0.01700 A                      2.28000 0.00350 A                      2.29640 0.03360 A                      -----                      81 TL 201                      -----                      HALF LIFE: 3.063D                      GEN: CHA PB204                      CHA HG                      DAU:                      PAR:                      REF: 71 AU 4,76 MA 1                      -----</p>	<p>0.01000 49.00000 A X                      0.03060 0.28000 A                      0.03219 0.31000 A                      0.06889 26.90000 A X                      0.07082 49.00000 A X                      0.08020 16.90000 A X                      0.08250 4.80000 A X                      0.13534 3.70000 A                      0.16588 0.19000 A                      0.16743 11.90000 A                      -----                      81 TL 202                      -----                      HALF LIFE: 12.2D                      GEN: NFA TL203                      CHA HG201                      DAU:                      PAR:                      REF: 69 GU 1,69 AD 1                      -----                      0.06889 21.00000 A X                      0.07082 42.00000 A X                      0.08020 15.00000 A X                      0.08250 4.00000 A X                      0.43958 95.00000 A                      0.50980 0.07000 A                      0.52025 0.10000 A                      0.96000 0.07000 A                      -----                      81 TL 204                      -----                      HALF LIFE: 3.70A                      GEN: NTH TL203                      NFA TL205                      NFA PB204                      DAU:                      PAR:                      REF: 70 MA 3                      -----                      0.00999 0.76000 A X                      0.06889 0.40000 A X                      0.07082 0.74000 A X                      0.08020 0.26000 A X                      0.08250 0.07000 A X                      -----                      81 TL 206                      -----                      HALF LIFE: 4.0M                      GEN: NTH TL205                      NFA PB206                      NFA B1200                      DAU:                      PAR:                      REF: 72 SE 2                      -----                      0.80330 0.00650 A                      -----</p>	<p>-----                      81 TL 207                      -----                      HALF LIFE: 4.77M                      GEN: NFA PB207                      NFA B1209                      NAT U 215                      DAU:                      PAR:                      REF: 71 SC 1                      -----                      0.09760 0.11000 A                      -----                      81 TL 208                      -----                      HALF LIFE: 1.3S                      GEN: NFA PB207                      CHA PB208                      DAU: TL207                      PAR:                      REF: 68 LE 1                      -----                      0.07083 4.00000 A X                      0.07287 8.00000 A X                      0.08250 2.70000 A X                      0.08490 0.80000 A X                      0.35000 80.00000 A                      1.00000 100.00000 A                      -----                      81 TL 208                      -----                      HALF LIFE: 3.1M                      GEN: NFA PB208                      NAT TH232                      DAU:                      PAR:                      REF: 69 PA 2,71 SC 1                      -----                      0.07280 2.00000 A X                      0.07497 3.50000 A X                      0.08480 1.20000 A X                      0.08730 0.35000 A X                      0.21150 0.17000 A                      0.23350 0.30000 A                      0.25260 0.70000 A                      0.27718 6.50000 A                      0.30600 0.10000 A                      0.48600 0.05000 A                      0.51072 22.50000 A                      0.58314 26.00000 A                      0.62500 0.01000 A                      0.72230 0.27000 A                      0.78330 1.70000 A                      0.82110 0.10000 A                      0.86047 12.00000 A                      0.92770 0.13000 A                      0.98280 0.20000 A                      1.00400 0.01000 A                      1.09390 0.38000 A                      1.28270 0.05000 A                      1.38400 0.02000 A                      1.59247 PAIR PEAK                      1.64300 0.01000 A                      2.10347 PAIR PEAK                      -----</p>
--	--	---	---

1.58440 0.03000 A	0.16600		
1.59525 5.30000 A	0.10500		
1.68400 0.20000 A			
1.71865 34.00000 A			
1.79120 0.14000 A			
1.82621			
1.84445 0.58000 A			
1.85900 2.00000 A			
1.90340 0.38000 A			
1.96300 0.02500 A			
2.02300 0.01000 A			
2.43900 0.06000 A			
2.47670 0.01500 A			
2.59960 0.12000 A			
2.75960 0.01000 A			
BJ BI 207			
HALF LIFE: 38.A			
GEN: CHA TL203			
CHA PD208			
DAU: PD207M			
PAR:			
REF: 71 SC 1,69 CU 1, 76 MA 1			
0.01060 35.00000 A X			
0.07280 23.00000 A X			
0.07497 38.60000 A X			
0.08480 14.00000 A X			
0.08730 4.00000 A X			
0.51100 0.02000 A			
0.56967 98.00000 A			
0.89730 0.16000 A			
1.06362 77.00000 A			
1.44300 0.15000 A			
1.77022 7.00000 A			
BJ BI 208			
HALF LIFE: 3.60E+03A			
GEN: NFA BI209			
DAU:			
PAR:			
REF: 68 LE 1			
0.07260 19.00000 A X			
0.07497 35.00000 A X			
0.08480 12.00000 A X			
0.08730 3.50000 A X			
1.59200 PAH1 PEAK			
2.10300 PAH1 PEAK			
2.61400 100.00000 A			
BJ BI 210			
HALF LIFE: 5.012D			
GEN:			
DAU: PD210			
TL206			
PAR:			
REF: 71 LE 2			
0.07083 4.50000 A X			
0.07287 8.00000 A X			
0.08250 2.80000 A X			
0.08490 0.80000 A X			
0.28570 63.00000 A			
0.35480 34.00000 A			
0.32910 0.70000 A			
0.14400 0.80000 A			
0.36960 0.70000 A			
0.50400 0.30000 A			
0.63400 0.01000 A			
0.64980 3.50000 A			
BJ BI 211			
HALF LIFE: 2.16M			
GEN: NAT U 235			
DAU: PD211			
TL207			
PAR: PB 211 36.1M			
RA 223 11.43D			
REF: 68 GO 1,77 KO 1			
0.06540			
0.07083 0.71000 A X			
0.07287 1.20000 A X			
0.08250 0.41000 A X			
0.08490 0.12000 A X			
0.09500			
0.31360 0.01400 A			
0.34270 0.02100 A			
0.35110 12.20000 A			
0.40480 4.10000 A			
0.42690 1.90000 A			
0.42910 0.00900 A			
0.50360 0.00100 A			
0.60930 0.03500 A			
0.67520 0.01400 A			
0.70430 0.50000 A			
0.76640 0.68000 A			
0.81100 3.30000 A			
0.86520 0.01000 A			
0.89730 0.32000 A			
1.01410 0.02000 A			
1.08000 0.01100 A			
1.10910 0.11000 A			
1.19550 0.01100 A			
1.27000 0.01100 A			
BJ BI 212			
HALF LIFE: 60.53M			
GEN: NAT TH232			
DAU: PD212			
TL208			
PAR: PB 212 40.64H			
TH 228 1.913A			
REF: 72 PA 2,77 KO 1			
0.03986 1.10000 A			
0.07083 0.05300 A X			
0.07287 0.09700 A X			
0.07481 0.04100 A X			
0.07711 0.07300 A X			
0.08250 0.03400 A X			
0.08490 0.01000 A X			
0.08720 0.02600 A X			
0.08980 0.00700 A X			
0.12500 0.03000 A < ?			
0.14490 0.01000 A			
0.16400 0.00450 A			
0.28808 0.33000 A			
0.29510 0.02300 A			
0.32796 0.14000 A			
0.43330 0.01400 A			
0.45283 0.35000 A			
0.47330 0.04900 A			
0.49320 0.02000 A < ?			
0.72717 11.80000 A			
0.78542 2.00000 A			
0.89339 0.66000 A			
0.95210 0.31000 A			
1.07400 0.01500 A			
1.07862 0.97000 A			
1.51275 0.57000 A			
1.620*6 2.75000 A			
1.679*0 0.07000 A			
1.80000 0.00350 A <			
1.80600 0.21000 A			
BJ BI 213			
HALF LIFE: 45.65M			
GEN: NAT U 233			
DAU: PD213			
TL209			
PD209			
PAR:			
REF: 66 WA 2,73 MA 1, 77 KO 1			
0.07666 1.18000 A X			
0.07929 2.00000 A X			
0.08960 0.70000 A X			
0.09240 0.20000 A X			
0.29230 0.49000 A			
0.30900 0.20000 A			
0.32360 0.13000 A			
0.44000 27.30000 A			
0.65900 0.04000 A			
0.80660 0.35000 A			
1.10100 0.39000 A			
BJ BI 214			
HALF LIFE: 19.9M			
GEN: NAT U 238			
DAU: PD214			
PD210			
BI210			
PAR: PB 214 26.8M			
RA 226 1600.A			
REF: 77 TO 1,77 KO 1			
0.07666 0.35180 A X			
0.07929 0.58970 A X			
0.08960 0.20640 A X			
0.09240 0.06192 A X			
0.21730 0.17690 A			
0.28094 0.08059 A			
0.28690 0.03243 A			
0.30443 0.03440 A			
0.33361 0.09533 A			
0.33490 0.05700 A			
0.33850 0.03931 A			
0.34710 0.05897 A			
0.36420 0.00629 A			
0.37660 0.00491 A			
0.38700 0.36360 A			
0.38910 0.41280 A			
0.39400 0.00885 A			
0.39601 0.03047 A			
0.40574 0.16710 A			
0.42650 0.10810 A			
0.44040 0.02948 A			
0.45477 0.31840 A			
0.46969 0.13270 A			
0.47438 0.11790 A			
0.49460 0.00885 A			
0.50220 0.01769 A			
0.51100 0.14740 A			
0.52040 0.00570 A			
0.52500 0.01572 A			
0.53894 0.07076 A			
0.54340 0.00452 A			
0.54710 0.03243 A			
0.57283 0.08157 A			
0.59600 0.01179 A			
0.60932 46.09000 A			
0.61578 0.06880 A			
0.61710 0.03440 A			
0.62640 0.00491 A			
0.63120 0.01671 A			
0.63314 0.05995 A			
0.63937 0.03145 A			
0.64910 0.05897 A			
0.66140 0.04324 A			
0.66545 1.56300 A			
0.68322 0.07862 A			
0.68770 0.00590 A			
0.69330 0.00590 A			
0.69790 0.03735 A			
0.70311 0.47170 A			
0.71080 0.07469 A			
0.71968 0.40290 A			
0.72340 0.04521 A			
0.72780 0.01572 A			
0.73365 0.04717 A			

1.11050 5.00000 R			
1.20510 17.00000 R			
1.31150 3.00000 R			
1.31330 PAIR PEAK			
1.32350 PAIR PEAK			
1.37050 19.00000 R			
1.44000 39.00000 R			
1.45900 PAIR PEAK			
1.82430 PAIR PEAK			
1.83450 PAIR PEAK			
1.86660 10.00000 R			
1.97000 PAIR PEAK			
2.33530 11.00000 R			
2.34550 28.00000 R			
2.48100 7.00000 R			
2.89270 1.00000 R			
-----			
18 AR 44			
-----			
HALF LIFE: 11.9M			
GEN: PHO CA 48			
DAU: K 44			
PAR:			
REF: 70 HU 2			
0.18230 99.00000 R			
0.40630 8.00000 R			
0.42760 4.00000 R			
0.68270 PAIR PEAK			
0.86470 PAIR PEAK			
1.19370 PAIR PEAK			
1.37570 PAIR PEAK			
1.79470 100.00000 R			
1.88670 50.00000 R			
-----			
18 AR 45			
-----			
HALF LIFE: 21.0S			
GEN: CHA CA 48			
DAU: K 45			
CA 45			
PAR:			
REF: 77 BE 1			
0.47400 1.29200 A			
0.54910 2.68100 A			
1.02009 32.30000 A			
1.10690 11.47000 A			
1.31540 PAIR PEAK			
1.63910 8.59200 A			
1.80858 12.86000 A			
1.84640 PAIR PEAK			
2.35740 7.49400 A			
2.68520 PAIR PEAK			
3.19620 PAIR PEAK			
3.70720 26.07000 A			
	19 K 36	19 K 38M	19 K 44
	-----	-----	-----
HALF LIFE: 0.34S	HALF LIFE: 0.95S	HALF LIFE: 22.15M	
GEN: CHA AR 36	GEN: NFA K 39	GEN: NFA CA 44	
DAU:	CHA CL 35	DAU:	
PAR:	PHO K 39	PAR:	
REF: 73 EN 1 ?	DAU:	REF: 73 IN 1	
	PAR:		
0.51100 200.00000 A	REF: 68 LE 1	0.26340 0.16730 A	
0.94800 PAIR PEAK		0.36830 3.09900 A	
1.10594 PAIR PEAK	0.51100 200.00000 A	0.40400 0.07307 A	
1.41047 PAIR PEAK		0.46470 0.21130 A	
1.45900 PAIR PEAK		0.65130 4.31400 A	
1.69694 PAIR PEAK		0.68220 0.82750 A	
1.92147 PAIR PEAK		0.72660 5.27000 A	
1.97000 84.20000 A		0.73290 0.25530 A	
2.20794 34.40000 A		0.74790 3.14300 A	
2.43247 36.50000 A		0.76140 0.09684 A	
2.46971 3.85000 A		0.87660 2.40300 A	
3.41810 PAIR PEAK		0.89070 0.14090 A	
3.92910 PAIR PEAK		1.02000 1.55800 A	
4.17033 2.15000 A		1.02470 9.50800 A	
4.44410 7.15000 A		1.05040 0.80990 A	
5.58880 PAIR PEAK		1.10780 0.84510 A	
6.09980 PAIR PEAK		1.12620 11.27000 A	
6.61080 6.45000 A		1.12930 PAIR PEAK	
		1.15695 88.03000 A	
		1.18990 0.04402 A	
		1.21730 0.08803 A	
		1.22230 0.49300 A	
		1.24460 1.71700 A	
		1.31480 0.07923 A	
		1.49730 PAIR PEAK	
		1.49910 11.71000 A	
		1.50950 0.05282 A	
		1.57530 0.14970 A	
		1.58130 0.06162 A	
		1.63420 0.26410 A	
		1.64030 PAIR PEAK	
		1.65830 0.10490 A	
		1.70210 0.18490 A	
		1.75210 6.03000 A	
		1.77750 2.97600 A	
		1.80020 0.13210 A	
		1.88690 0.13210 A	
		1.89510 0.13210 A	
		2.00200 0.12320 A	
		2.00830 PAIR PEAK	
		2.14650 1.73400 A	
		2.15130 34.69000 A	
		2.50430 0.75710 A	
		2.51930 11.80000 A	
		2.61870 0.39620 A	
		2.63420 0.36970 A	
		2.63890 PAIR PEAK	
		2.65220 0.19370 A	
		2.65610 1.56700 A	
		2.90940 0.02641 A	
		2.98230 0.17610 A	
		3.14990 PAIR PEAK	
		3.20190 1.03000 A	
		3.25280 0.25530 A	
		3.30080 0.40500 A	
		3.30410 0.33450 A	
		3.39530 2.68500 A	
	19 K 37	19 K 42	
	-----	-----	
HALF LIFE: 1.23S	HALF LIFE: 12.30M		
GEN: CHA CL 35	GEN: NTH K 41		
CHA AR 36	NFA SC 45		
DAU: AR 37	NFA CA 42		
PAR:	DAU:		
REF: 73 EN 1	PAR:		
	REF: 70 MA 3, 71 ER 1		
0.51100 200.00000 A	0.31290 0.30000 A		
0.57860 0.04000 A	0.89960 0.06000 A		
2.21730 0.04000 A	1.07310 0.02000 A		
2.79590 1.96000 A	1.52470 17.90000 A		
3.60510 0.01400 A	1.92210 0.04000 A		
	2.42415 0.02000 A		
	19 K 38	19 K 43	
	-----	-----	
HALF LIFE: 7.64M	HALF LIFE: 22.2M		
GEN: NFA K 39	GEN: NFA CA 43		
CHA CA 90	CHA AR 40		
PHO K 39	PHO CA 44		
DAU:	DAU:		
PAR:	PAR:		
REF: 73 EN 1	REF: 73 EN 1		
0.51100 200.00000 A	0.22058 4.30000 A		
1.14560 PAIR PEAK	0.37281 88.30000 A		
1.65660 PAIR PEAK	0.39693 10.70000 A		
1.76898 0.20000 A	0.40428 0.40000 A		
2.16760 100.00000 A	0.59339 10.00000 A		
3.93658 0.00015 A	0.61751 78.70000 A		
	0.80121 0.18000 A		
	0.99032 0.25000 A		
	1.02179 2.30000 A		
	1.39460 0.11000 A		

# LAMPIRAN 8



## LAMPIRAN 9

Table of Atomic Masses  
(Tipler, A.P, dan Llewellyn, A.R, 2002)

Z	Element	Symbol	Chemical atomic weight	Mass number (* indicates radioactive)	Atomic mass	Percent abundance	Half-life and decay mode (if unstable)
7	Nitrogen	N	14.0067	12*	12.018613	99.63 0.37	0.0110 s $\beta^+$
				13*	13.005738		9.96 m $\beta^+$
				14	14.003074		
				15	15.000108		
				16*	16.006100		7.13 s $\beta^-$
				17 <sup>?</sup>	17.008450		4.17 s $\beta^-$
				18*	18.014082		0.62 s $\beta^-$
				19*	19.017038		0.24 s $\beta^-$
8	Oxygen	O	15.9994	13*	13.024813	99.71 0.039 0.20	8.6 ms $\beta^+$
				14*	14.008595		70.6 s $\beta^+$
				15*	15.003065		122 s $\beta^+$
				16	15.994915		
				17	16.999132		
				18	17.999160		
				19*	19.003577		26.9 s $\beta^-$
				20*	20.004076		13.6 s $\beta^-$
				21*	21.008595		3.4 s $\beta^-$
				9	Fluorine		F
18*	18.000937	109.8 m $\beta^+$					
19	18.998404						
20*	19.999982	11.0 s $\beta^-$					
21*	20.999950	4.2 s $\beta^-$					
22*	22.003036	4.2 s $\beta^-$					
23*	23.003564	2.2 s $\beta^-$					
10	Neon	Ne	20.180	18*	18.005710	90.48 0.27 9.25	1.67 s $\beta^+$
				19*	19.001880		17.2 s $\beta^+$
				20	19.992435		
				21	20.993841		
				22	21.991383		
				23*	22.994465		37.2 s $\beta^-$
				24*	23.993999		3.38 m $\beta^-$
				25*	24.997789		0.60 s $\beta^-$
11	Sodium	Na	22.98977	21*	20.997650	100	22.5 s $\beta^+$
				22*	21.994434		2.61 y $\beta^+$
				23	22.989767		
				24*	23.990961		14.96 h $\beta^-$
				25*	24.989951		59.1 s $\beta^-$
				26*	25.992588		1.07 s $\beta^-$
12	Magnesium	Mg	24.3051	23*	22.994124	78.99 10.00 11.01	11.3 s $\beta^+$
				24	23.985042		
				25	24.985838		
				26	25.982594		
				27*	26.984341		9.46 m $\beta^-$
				28*	27.983876		20.9 h $\beta^-$
				29*	28.375346		1.30 s $\beta^-$



Z	Element	Symbol	Chemical atomic weight	Mass number (* indicates radioactive)	Atomic mass	Percent abundance	Half-life and decay-mode (if unstable)
13	Aluminum	Al	26.98154	25*	24.990429	100	7.18 s $\beta^+$
				26*	25.986892		$7.4 \times 10^6$ y $\beta^+$
				27	26.981538		
				28*	27.981910		2.24 m $\beta^-$
				29*	28.980445		6.56 m $\beta^-$
				30*	29.982965		3.60 s $\beta^-$
14	Silicon	Si	28.086	27*	26.986704	92.23 4.67 3.10	4.16 s $\beta^+$
				28	27.976927		
				29	28.976495		
				30	28.973770		
				31*	30.975362		2.62 h $\beta^-$
				32*	31.974148		172 y $\beta^-$
				33*	32.977928		6.13 s $\beta^-$
15	Phosphorus	P	30.97376	30*	29.978307	100	2.50 m $\beta^+$
				31	30.973762		
				32*	31.973908		14.26 d $\beta^-$
				33*	32.971725		25.3 d $\beta^-$
				34*	33.973636		12.43 s $\beta^-$
16	Sulfur	S	32.066	31*	30.979554	95.02 0.75 4.21 0.02	2.57 s $\beta^+$
				32	31.972071		
				33	32.971459		
				34	33.967867		
				35*	34.969033		87.5 d $\beta^-$
				36	35.967081		
17	Chlorine	Cl	35.453	34*	33.973763	75.77 24.23	32.2 m $\beta^+$
				35	34.968853		
				36*	35.968307		$3.0 \times 10^5$ y $\beta^-$
				37	36.965903		
				38*	37.968010		37.3 m $\beta^-$
18	Argon	Ar	39.948	36	35.967547	0.337 0.063 99.600	35.04 d ec
				37*	36.966776		
				38	37.962732		
				39*	38.964314		269 y $\beta^-$
				40	39.962384		
				42*	41.963049		33 y $\beta^-$
19	Potassium	K	39.0983	39	38.963708	93.2581 0.0117 6.7302	$1.28 \times 10^9$ y $\beta^+$ , ec, $\beta^-$
				40*	39.964000		
				41	40.961827		
				42*	41.962404		12.4 h $\beta^-$
				43*	42.960716		22.3 h $\beta^-$

(Continued)

AP-4 Appendix A

Z	Element	Symbol	Chemical atomic weight	Mass number (* indicates radioactive)	Atomic mass	Percent abundance	Half-life and decay mode (if unstable)
20	Calcium	Ca	40.078	40	39.962591	96.941	$1.0 \times 10^4$ y ec
				41*	40.962279		
				42	41.958618	0.647	
				43	42.958767	0.135	
				44	43.955481	2.086	
				46	45.953687	0.004	
21	Scandium	Sc	44.9559	41*	40.969250		0.596 s $\beta^+$
				43*	42.961151		3.89 h $\beta^+$
				45	44.955911	100	
				46*	45.955170		83.8 d $\beta^-$
22	Titanium	Ti	47.88	44*	43.959691		49 y ec
				46	45.952630	8.0	
				47	46.951765	7.3	
				48	47.947947	73.8	
				49	48.947871	5.5	
				50	49.944792	5.4	
23	Vanadium	V	50.9415	48*	47.952255		15.97 d $\beta^+$
				50*	49.947161	0.25	$1.5 \times 10^{17}$ y $\beta^+$
				51	50.943962	99.75	
24	Chromium	Cr	51.996	48*	47.954033		21.6 h ec
				50	49.946047	4.345	
				52	51.940511	83.79	
				53	52.940652	9.50	
				54	53.938883	2.365	
25	Manganese	Mn	54.93805	53*	52.941292		$3.74 \times 10^6$ y ec
				54*	53.940361		312.1 d ec
				55	54.938048	100	
				56*	55.938908		2.58 h $\beta^-$
26	Iron	Fe	55.847	54	53.939613	5.9	2.7 y ec
				55*	54.938297		
				56	55.934940	91.72	
				57	56.935396	2.1	
				58	57.933278	0.28	
				60*	59.934078		
27	Cobalt	Co	58.93320	57*	56.936294		271.8 d ec
				58*	57.935755		70.9 h ec, $\beta^+$
				59	58.933198	100	
				60*	59.933820		5.27 y $\beta^-$
				61*	60.932478		1.65 h $\beta^-$

Z	Element	Symbol	Chemical atomic weight	Mass number (* indicates radioactive)	Atomic mass	Percent abundance	Half-life and decay mode (if unstable)	
80	Mercury	Hg	200.59	196	195.965806	0.15		
				198	197.966743	9.97		
				199	198.968253	16.87		
				200	199.968299	23.10		
				201	200.970276	13.10		
				202	201.970617	29.86		
				204	203.973466	6.87		
81	Thallium	Tl	204.383	203	202.972320	29.524		
				204*	203.973839		3.78 y $\beta^-$	
				205	204.974400	70.476		
				(Ra E*)	206*	205.976084		4.2 m $\beta^-$
				(Ac C')	207*	206.977403		4.77 m $\beta^-$
				(Th C')	208*	207.981992		3.053 m $\beta^-$
				(Ra C')	210*	209.990057		1.30 m $\beta^-$
82	Lead	Pb	207.2	202*	201.972134		$5 \times 10^4$ y ec	
				204	203.973020	1.4		
				205*	204.974457		$1.5 \times 10^7$ y ec	
				206	205.974440	24.1		
				207	206.975871	22.1		
				208	207.976627	52.4		
				(Ra D)	210*	209.984163		22.3 y $\beta^-$
				(Ac B)	211*	210.988734		36.1 m $\beta^-$
				(Th B)	212*	211.991872		10.64 h $\beta^-$
				(Ra B)	214*	213.999798		26.8 m $\beta^-$
				83	Bismuth	Bi	208.9803	207*
208*	207.979717		$3.7 \times 10^5$ y ec					
209	208.980374	100						
(Ra E)	210*	209.984096						5.01 d $\alpha, \beta^-$
(Th C)	211*	210.987254						2.14 m $\alpha$
	212*	211.991259						60.6 m $\alpha, \beta^-$
(Ra C)	214*	213.998692						19.9 m $\beta^-$
	215*	215.001836						7.4 m $\beta^-$
84	Polonium	Po	(209)					209*
				210*	209.982848		138.38 d $\alpha$	
				(Ac C')	211*	210.986627		0.52 s $\alpha$
				(Th C')	212*	211.988842		0.30 $\mu$ s $\alpha$
				(Ra C')	214*	213.995177		164 $\mu$ s $\alpha$
				(Ac A)	215*	214.999418		0.0018 s $\alpha$
				(Th A)	216*	216.001889		0.145 s $\alpha$
				(Ra A)	218*	218.008965		3.10 m $\alpha$
85	Astatine	At	(210)	215*	214.998638		$\approx 100$ $\mu$ s $\alpha$	
				218*	218.008685		1.6 s $\alpha$	
				219*	219.011297		0.9 m $\alpha$	

## LAMPIRAN 10

### Foto Cuplikan dan Alat



**Sampel kecap dlm jurigen**



**Sampel kecap dlm botol**



**Sampel minyak goreng dlm jurigen**



**Sampel minyak goreng dlm botol**



**Sampel kecap dlm planset**



**Detektor Geiger-Müller**



**Alat cacah  $\beta$**



**Counter Digital & sumber tegangan**



**Neraca Ohaus**



**Detector Ge(Li)**



**Seperangkat spektrometer  $\gamma$**

## LAMPIRAN 11

Keputusan Menteri Kesehatan RI  
Nomor : 00474 / B / II / 87 Tentang  
Keharusan Menyertai Sertifikat  
Kesehatan dan Sertifikat Bebas  
Radiasi Untuk Makanan Impor

### JENIS MAKANAN YANG DIHARUSKAN DISERTAI DENGAN SERTIFIKAT BEBAS CEMARANNYA

Jenis Makanan	Maksimum Cemaran Radioaktif dalam makanan siap dikonsumsi (Bq/kg)
1. Susu dan hasil produk susu	150
2. Buah dan sayuran segar maupun yang terolah	300
3. Ikan dan hasil laut lainnya segar maupun terolah	100
4. Daging dan produk daging	100
5. Air mineral	150
6. Sereal, termasuk tepung jagung dan barley	300

Ditetapkan di : JAKARTA  
Pada tanggal : 16 Februari 1987

A.n. MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA  
DIREKTUR JENDRAL PENGAWAS OBAT DAN MAKANAN

DR.MIDIAN SIRAIT  
NIP 1300338989

**LAMPIRAN 12****Komposisi & Informasi Nilai Gizi  
pada Sampel Minyak Goreng & Kecap**

No	Kode	Komposisi & Informasi Nilai Gizi
1.	K-1	Gula merah, sari kacang kedelai hitam, air, garam Kalium Benzoat, Natrium Benzoat, Pengental
2.	K-2	Gula, air, garam, kedelai, gandum, rempah-rempah, penguat rasa, pengawet, Kalium Benzoat, Natrium Benzoat, Sakarin, pewarna, Pengental, MSG
3.	K-3	Gula, air, garam, kedelai, gandum, rempah-rempah, Natrium Benzoat, MSG, Pengental, Sakarin
4.	K-4	Kedelai, gula merah, garam, rempah-rempah
5.	MJ-1	Jagung : lemak total 14 g, ( lemak jenuh 2 g), kolesterol 0 mg, natrium 5 mg, karbohidrat total 0 g, protein 0 g, vitamin E
6.	MJ-2	Jagung : lemak total 14 g, (saturated fat 2 g, polyunsaturated fat 8 g, monounsaturated fat 3,5 g), kolesterol 0 mg, natrium 0 mg, total karbohidrat 0 g, protein 0 g, vitamin E
7.	MJ-3	Jagung : lemak total 14 g ( saturated fat 2 g, trans fat 0 g, polyunsat. fat 8 g, monounsat.fat 4 g, kolesterol 0 mg, natrium 0 mg, total karbohidrat 0 g, protein 0 g, vitamin E
8.	MJ-4	Jagung : lemak total 14 g, lemak jenuh 2 g, lemak tak jenuh tunggal 4 g, lemak tak jenuh ganda 8 g, (omega 3 = 140 mg, omega 6 = 8 g, omega 9 = 4 g), kolesterol 0 mg, protein 0 g, karbohidrat total 0 g, natrium 0 mg, vit E 1,5 mg
9.	MK-1	Kelapa : -
10.	MK-2	Kelapa, air : -
11.	MK-3	Kelapa, air : -
12.	MK-4	Kelapa, air : -
13.	MS-1	Kelapa sawit : lemak total 4 g (lemak jenuh 1,75 g), kolesterol 0 mg, karbohidrat total 0 mg, protein 0 g, natrium 0 mg
14.	MS-2	Kelapa sawit : total lemak 11 g (omega 9 = 4,8 g, omega 6 = 1,3 g), kolesterol 0 mg, total karbohidrat 0 g, protein 0 g, natrium 0 mg, vit A < 2 %
15.	MS-3	Kelapa sawit : total lemak 11 g (lemak tak jenuh 6,2 g), kolesterol 0 ml, total karbohidrat 0 g, protein 0 g, natrium 0 mg
16.	MS-4	Kelapa sawit : -
17.	MS-5	Kelapa sawit : -