

37972/10



Aski  
539.752  
Sar  
P-1  
2009

SKRIPSI : SK-1514

**PENENTUAN KEMURNIAN  
RADIONUKLIDA RADIOISOTOP I-125 DAN  
PENGEMBANGAN PROGRAM KOMPUTER  
UNTUK SISTEM PEMROSESAN DATA DAN  
DOKUMENTASI**

**Yetty Permata Sari**  
NRP. 1404 100 027

**Dosen Pembimbing I**  
**Drs. Mochamad Suud Gani**

**Dosen Pembimbing II**  
**DR.Techn.Ibon Suparman**

**Jurusan Kimia**  
**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2009**

<b>PERPUSTAKAAN ITS</b>	
<b>Tgl. Terima</b>	24-8-2009
<b>Terima Dari</b>	H
<b>No. Agenda Frp.</b>	89



---

**FINAL PROJECT : SK-1514**

**RADIONUCLIDIC IMPURITY  
DETERMINATION OF RADIOISOTOPE I-  
125 AND DEVELOPMENT OF COMPUTER  
PROGRAM FOR DATA PROCESSING AND  
DOCUMENTATION SYSTEM**

**Yetty Permata Sari  
NRP. 1404 100 054**

**Advisor Lecturer I  
Drs. Mochamad Suud Gani**

**Advisor Lecturer II  
DR.Techn.Ibon Suparman**

**Chemistry Department  
Fakulty of Mathematical and Natural Sciences  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2009**

LEMBAR PENGESAHAN

PENENTUAN KEMURNIAN RADIONUKLIDA  
RADIOISOTOP I-125 DAN PENGEMBANGAN PROGRAM  
KOMPUTER UNTUK SISTEM PEMROSESAN DATA DAN  
DOKUMENTASI

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Pada Bidang Studi Kimia Analit Program Studi S-1  
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

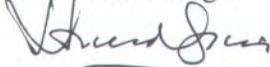
Oleh :

Yetty Permata Sari  
NRP. 1404 100 027

Surabaya, Juni 2009

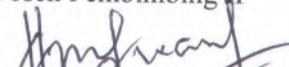
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



Drs. M. Suud Gani  
NIP. 130 937 205

Dosen Pembimbing II



DR. Techn. Iboh Suparman  
NIP. 330 001 190

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Kimia



Drs. Lukman Atmaja, MSi. Ph.D.

NIP 131 835 481



**PENENTUAN KEMURNIAN RADIONUKLIDA  
RADIOISOTOP I-125 DAN PENGEMBANGAN PROGRAM  
KOMPUTER UNTUK SISTEM PEMROSESAN DATA DAN  
DOKUMENTASI**

**Nama : Yetty Permata Sari  
NRP : 1404 100 027  
Pembimbing : Drs. M. Suud Gani  
DR.Techn. Ibon Suparman**

**ABSTRAK**

Telah dilakukan penentuan kemurnian radionuklida radioisotop I-125 dan pengembangan program komputer untuk sistem pemrosesan data dan dokumentasi. Salah satu pengujian kualitas radioisotop I-125 adalah penentuan kemurnian radionuklida menggunakan spektrometer gama. Pengukuran cuplikan radionuklida secara kuantitatif, diperlukan kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar radioaktif. Untuk pembuatan kalibrasi efisiensi dan perhitungan radioaktivitas pada spektrometri gama, banyak tahap perhitungan yang harus dilakukan. Program komputer yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman *Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows*. Kelebihan pemrograman visual diaplikasikan dalam program komputer yang dibuat ini, seperti dalam pemasukan, penyimpanan dan pemanggilan data, visualisasi grafik, serta informasi lain dalam bentuk gambar atau video. Program komputer yang dikembangkan untuk sistem pemrosesan data dan dokumentasi pada spektrometri gama ini sangat membantu sehingga kegiatan pengukuran kemurnian radionuklida radioisotop I-125 bisa dilakukan secara lebih efektif dan akurat. Hasil pengukuran kemurnian radionuklida radioisotop I-125 dari tiga *batch* produksi terakhir diperoleh pengotor radionuklida  $4.91674E-01 \mu\text{Ci}$  I-126/ $\text{mCi}$  I-125 atau  $4.91674E-02\%$  I-126;  $4.32405E-01 \mu\text{Ci}$  I-126/ $\text{mCi}$  I-125 atau  $4.32405E-02\%$  I-126;  $7.21841E+00 \mu\text{Ci}$  I-126/ $\text{mCi}$  I-125 atau  $7.21841E-01\%$  I-126.

**Kata-kata kunci :** kemurnian radionuklida, radioisotop I-125, spektrometer gama, program komputer, sistem pemrosesan data dan dokumentasi, *Visual Basic for Windows*.

**RADIONUCLIDIC IMPURITY DETERMINATION OF  
RADIOISOTOPE I-125 AND DEVELOPMENT OF  
COMPUTER PROGRAM FOR DATA PROCESSING AND  
DOCUMENTATION SYSTEM**

**Nama** : Yetty Permata Sari  
**NRP** : 1404 100 027  
**Pembimbing** : Drs. M. Suud Gani  
**DR.Techn. Ibon Suparman**

**ABSTRACT**

Radionuclidic impurity determination of radioisotope I-125 and development of computer program for data processing and documention system has been reported. Gamma spectrometer is widely applied as a tool for the qualitative and quantitative measurement of gamma ray emitter by analyzing its gamma spectrum. To compute radionuclide activity and visualize efficiency calibration curve, a lot of calculations are necessary to be performed. The computer program for data processing and documentatiomn system of radioisotope I-125 has been developed using Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows. Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows has features to make user friendly and sophisticated program and evolved into a major development environment that covers every aspect of programming. By implementation this developed computer program for radionuclidic impurity determination of radioisotope I-125, the user can work effectively and the data will be processed accurately. The result of I-125 radionuclidic impurity determination of three last production batches were 4.91674E-01  $\mu$ Ci I-126/mCi I-125 or 4.91674E-02% I-126; 4.32405E-01  $\mu$ Ci I-126/mCi I-125 or 4.32405E-02% I-126; 7.21841E+00  $\mu$ Ci I-126/mCi I-125 or 7.21841E-01% I-126.

**Keywords** : radionuclidic impurity, radioisotope I-125, gamma spectrometer, computer program, data processing and documentation system, Visual Basic for Windows.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas kasih dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Penentuan Kemurnian Radionuklida Radioisotop I-125 dan Pengembangan Program Komputer untuk Sistem Pemrosesan Data dan Dokumentasi”.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Lukman Atmaja, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Program S1 Jurusan Kimia FMIPA ITS,
2. Drs. M. Suud Gani dan DR. Techn. Ibon Suparman selaku Dosen Wali, Dosen Pembimbing I dan II atas semua diskusi, saran, dan bimbingan yang telah diberikan,
3. Dra. Yulfi Zetra, MS selaku Koordinator Tugas Akhir Program S1 Jurusan Kimia FMIPA ITS,
4. Seluruh Dosen dan Analis Jurusan Kimia FMIPA ITS,
5. Kepala PRR Abdul Mutalib, Kabid RI Drs. Hotman Lubis, dan Seluruh Pegawai PRR yang telah mendukung,
6. Papa, Mama, Yessy, Janu, Christin, dan keluarga besar di Surabaya atas doa, dukungan dan cinta yang diberikan,
7. Om Sony, Tante Hero, Gisel, Careen, mbak Rom terimakasih untuk tumpangan rumah, perhatian, doa, dan dukungannya,
8. Calon suamiku dan imamku Kanda Kurniawan Yonathan Pambudi tercinta terimakasih untuk cinta, kasih sayang, kesabaran, harapan, dan pengampunan yang diberikan untuk dinda,
9. Guru *Visual Basic 6.0* Abrar Hedar terimakasih atas ilmu, semangat, dan kenangan indah yang tak terlupakan,
10. Partner TA-ku, Niken Nurjanah, yang setia sepenanggungan di BATAN dan satu dosen pembimbing, terimakasih untuk segala bantuan utukku,
11. Sahabat-sahabatku di teologia dan KPPM GKJW jemaat Kepuh Permai, Komsel, dan GBIS jemaat Sungai Kehidupan

terimakasih untuk semangat dan doa dari kalian semua, tanpa kalian semua TA ini kurang lengkap,

12. Teman-teman di Kimia angkatan 2004, Batan angkatan 2008, dan AVSEC ke-3, dan chatting terimakasih untuk semangatnya.

Penulis sadar bahwa penulisan Laporan Tugas Akhir ini masih ada kekurangan shg penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun terhadap Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bisa memberikan manfaat dan inspirasi terutama bagi pihak-pihak yang menekuni bidang terkait dengan yang Penulis kerjakan.

Surabaya, Juni 2009

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Radioisotop	5
2.1.1 Pemanfaatan Radioisotop	5
2.1.2 Pembuatan Radioisotop	7
2.1.2.1 Kajian Reaksi Inti (Nuklir)	7
2.1.2.2 Pemilihan Bahan Sasaran	7
2.1.2.3 Persiapan Bahan Sasaran	8
2.1.2.4 Iradiasi	8
2.1.2.5 Proses Pemisahan	8
2.1.2.6 Kendali Kualitas	9
2.2 Radionuklida	9
2.2.1 Penggolongan Radionuklida	10
2.2.1.1 Radionuklida di Alam	11

2.2.1.2 Radionuklida Buatan	12
2.3 Radiasi	12
2.3.1 Jenis Radiasi dan Sifatnya	13
2.3.1.1 Sinar Alfa ( $\alpha$ )	13
2.3.1.2 Sinar Beta ( $\beta$ )	13
2.3.1.3 Sinar Gama ( $\gamma$ ) dan Sinar X	14
2.3.1.4 Neutron ( $n^1$ )	14
2.3.2 Sumber Radiasi	14
2.3.2.1 Sumber Radiasi Alam	14
2.3.2.1.1 Sumber Radiasi Kosmis	15
2.3.2.1.2 Sumber Radiasi Terestrial	15
2.3.2.1.3 Sumber Radiasi Internal	15
2.3.2.2 Sumber Radiasi Buatan	16
2.4 Radioaktivitas	16
2.4.1 Aktivitas	18
2.4.2 Satuan Aktivitas	18
2.4.3 Kestabilan Inti Atom	19
2.5 Peluruhan	20
2.5.1 Hukum Peluruhan	21
2.6 Peluruhan Gama	23
2.6.1 Interaksi Sinar- $\gamma$ dengan Materi	24
2.6.2 Efek Fotolistrik	24
2.6.3 Hamburan Compton	24
2.6.4 Pembentukan Pasangan	25
2.7 Spektrometri Gama ( $\gamma$ )	26
2.7.1 Prinsip Kerja Spektrometer Gama	26
2.7.2 Perangkat Spektrometer Gama	27
2.7.2.1 Detektor (Analisis Tinggi Pulsa)	28
2.7.2.2 Penguat Awal (PA)	29
2.7.2.3 Penguat ( <i>Amplifier</i> )	29
2.7.2.4 Penganalisis Saluran Ganda (MCA)	29
2.7.3 Interaksi Sinar Gama dengan Detektor	30
2.7.4 Kalibrasi Spektrometer Gama	30
2.7.4.1 Kalibrasi Energi	30
2.7.4.2 Kalibrasi Efisiensi	31

2.8 Fasilitas Produksi Iodium-125 dan Sistem Keselamatannya	36
2.9 Pembuatan Radioisotop Iodium-125	38
2.10 Radionuklida Pengotor dan Pengendaliannya	39
2.11 Pengenalan <i>Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows</i>	41
2.11.1 <i>Project</i>	42
2.11.2 <i>Form</i>	42
2.11.3 <i>Toolbox</i>	43
2.11.4 <i>Properties</i>	43
2.11.5 Kode Program	43
2.12 Menjalankan <i>Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows</i>	44
2.13 Sifat Bahan Xenon-124	53
2.14 Sifat Produk Iodium-125 ( <sup>125</sup> I)	54

### **BAB III METODOLOGI**

3.1 Peralatan	55
3.2 Bahan	55
3.3 Prosedur Kerja	56
3.3.1 Pengoperasian Spektrometri Gama	56
3.3.2 Pembuatan Kalibrasi Efisiensi pada Spektrometer Gama	57
3.3.3 Pengukuran Cuplikan Radionuklida pada Spektrometer Gama	57
3.3.4 Pembuatan Program Komputer Radioisotop I-125 menggunakan <i>Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows</i>	58

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil	59
4.1.1 Data Pengamatan	59



4.1.2 Perhitungan pada Sistem Komputerisasi Radioisotop I-125	60
4.2 Pembahasan	63
4.2.1 Sistem Komputerisasi Spektrometer Gama	63
4.2.2 Sistem Komputerisasi Radioisotop I-125	69
4.2.2.1 Sistem Pemrosesan Data	70
4.2.2.2 Sistem Dokumentasi dan Informasi	74
4.2.2.2.1 Penggunaan dan Spesifikasi Radioisotop I-125	74
4.2.2.2.2 Fasilitas Proses	76
4.2.2.2.3 Proses Radioisotop I-125	77
4.2.2.2.4 <i>History</i> Fasilitas I-125	81
4.2.2.3 Sistem Perekaman	85
4.2.2.4 Kode Program Sistem Komputerisasi Radioisotop I-125	85
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	89
5.2 Saran	90
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	91
<b>LAMPIRAN</b>	95
<b>RIWAYAT PENULIS</b>	135

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Peluruhan $^{60}\text{Co}$	22
Gambar 2.2	Hamburan Compton	25
Gambar 2.3	Pembentukan Pasangan	26
Gambar 2.4	Perangkat Spektrometer Gama	28
Gambar 2.5	Kurva Kalibrasi Efisiensi	34
Gambar 2.6	Reaksi pembentukan Iodium-125	38
Gambar 2.7	Skema Fasilitas Produksi Iodium-125 yang Menempel di Reaktor G.A. Siwabessy	39
Gambar 2.8	Diagram Proses Produksi Radioisotop I-125	40
Gambar 2.9	Tampilan Utama <i>Microsoft Visual Basic 6.0</i>	44
Gambar 2.10	Tampilan <i>Form</i> dengan Layar Lebar	45
Gambar 2.11	Tampilan Menu Program Persamaan Kuadrat	45
Gambar 3.1	Peralatan Spektrometer Gama	55
Gambar 4.1	Kurva Persamaan Power dan Persamaan Eksponensial dari Kalibrasi Efisiensi Posisi Rak 1	64
Gambar 4.2	Visualisasi Kurva Kalibrasi Efisiensi pada Berbagai Posisi (Rak 1 sampai Rak 5)	64
Gambar 4.3	Menu Utama Program Perhitungan Spektrometer Gama	65
Gambar 4.4	Menu untuk Mencari dan Menampilkan UBS yang Diinginkan	66
Gambar 4.5	Menu untuk Pemasukan Data Kalibrasi Efisiensi	66
Gambar 4.6	Menu Pemasukan Data Pengukuran Cuplikan Radioaktif	67
Gambar 4.7	Kurva <i>Control Chart</i> (Sumber Standar Cs-137, n=40)	67

Gambar 4.8	Menu utama Program Sistem Komputerisasi Radioisotop I-125	69
Gambar 4.9	Menu untuk Memilih Posisi dan Geometri serta Menampilkan Data Tersimpan yang Diinginkan	71
Gambar 4.10	Menu untuk Menghitung Efisiensi dan Radionuklida (dalam uCi/mCi dan %) serta Menyimpan dan Mencetak Hasil Perhitungan	71
Gambar 4.11.1	Data Pengukuran dengan Nama File 20080611.DAT	72
Gambar 4.11.2	Data Pengukuran dengan Nama File 20080708.DAT	73
Gambar 4.11.3	Data Pengukuran dengan Nama File 20090220.DAT	73
Gambar 4.12	Dokumentasi dan Informasi Penggunaan Radioisotop I-125	75
Gambar 4.13	Dokumentasi dan Informasi Spesifikasi Produk I-125 (Radiokimia)	75
Gambar 4.14	Dokumentasi dan Informasi Fasilitas Proses	76
Gambar 4.15.1	Dokumentasi dan Informasi Proses Radioisotop I-125 (Tampilan 1)	79
Gambar 4.15.2	Dokumentasi dan Informasi Proses Radioisotop I-125 (Tampilan 2)	80
Gambar 4.15.3	Dokumentasi dan Informasi Proses Radioisotop I-125 (Tampilan 3)	80
Gambar 4.16.1	Dokumentasi dan Informasi tentang <i>History</i> dan Status Fasilitas Produksi Iodium-125	81
Gambar 4.16.2	Dokumentasi dan Informasi tentang <i>History</i> Fasilitas Periode 1 : Sebelum berdirinya PT Batek	82
Gambar 4.16.3	Dokumentasi dan Informasi tentang <i>History</i> Fasilitas Periode 2 : Setelah berdirinya PT Batek	82

Gambar 4.16.4	Dokumentasi dan Informasi tentang <i>History</i> Fasilitas Periode 3: PRR Mulai Terlibat dalam Pengoperasian	83
Gambar 4.16.5	Dokumentasi dan Informasi tentang <i>History</i> Fasilitas Hasil Uji Produksi oleh PRR	83
Gambar 4.16.6	Dokumentasi dan Informasi tentang <i>History</i> Fasilitas Kelemahan Fasilitas dan Upaya Perbaikan	84
Gambar 4.16.7	Dokumentasi dan Informasi tentang <i>History</i> Fasilitas Rencana Tahun 2009	84

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Macam Radioisotop dan Pemanfaatannya	5
Tabel 2.2	Deret Radioaktif Alam	12
Tabel 2.3	Kandungan Isotop pada Xenon Alam dan Diperkaya	41
Tabel 2.4	<i>Setting Properties</i> pada Obyek	50
Tabel 3.1	Beberapa Jenis Sumber Standar Radioaktif yang Digunakan	56
Tabel 4.1	Energi dan Efisiensi Pengukuran Sumber Standar Radioaktif pada Berbagai Geometri atau Posisi	59

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Diagram Skematik Penelitian	79
Lampiran 2 Kode Pemrograman Sistem Komputerisasi Radioisotop I-125	81

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, pemanfaatan zat radioaktif untuk berbagai bidang kegiatan menunjukkan kecenderungan yang terus meningkat. Salah satunya adalah pemanfaatan radioisotop I-125 yang banyak digunakan untuk penelitian panas bumi, pengujian dengan *kit radioimmunoassay* (RIA) dan pembuatan *seed* untuk *brachytherapy* (bentuk radioterapi dimana sumber radioaktif ditempatkan di dalam atau di sekitar area yang memerlukan perawatan, seperti untuk perawatan kanker prostat dan kanker serviks). Salah satu pengujian kendali kualitas terhadap produk radioisotop I-125 adalah penentuan kemurnian radionuklidanya, khususnya terhadap pengotor radionuklida I-126 yang merupakan pemancar sinar gama. Untuk pengukuran sumber radioaktif pemancar sinar gama, baik secara kualitatif maupun kuantitatif dengan menganalisis spektrum gama yang dihasilkan, digunakan peralatan spektrometer gama. Spektrometer gama banyak digunakan di fasilitas nuklir, industri yang menggunakan radioisotop, kedokteran nuklir, dan fisika kesehatan. Diperkirakan di seluruh dunia dioperasikan sekitar 200.000 buah spektrometer gama (Website Idaho National Laboratory (INL), 2008 dan Suparman, Ibon, 2008).

Perangkat spektrometer gama pada umumnya terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu detektor, sumber tegangan tinggi (HV), penguat awal (*pre amplifier*), penguat (*amplifier*), penganalisis saluran ganda (*Multi Channel Analyzer / MCA*), dan unit pemrosesan dan penyimpanan data komputer (Knoll, F. Glenn, 2000). Sebelum spektrometer gama digunakan untuk pengukuran, semua fungsi peralatan yang perlu harus diset pada kondisi kerja optimum. Ordinat (sumbu vertikal) dari spektrum



gama adalah cacah (*counts*) yang sebanding dengan besar radioaktivitas pemancar sinar gama yang diukur dan absisnya (sumbu horizontal) adalah saluran (*channel*). Namun pada umumnya sebelum pengukuran, saluran dikalibrasi terhadap energi sehingga didapatkan spektrum gama dengan absis energi (keV). Interaksi sinar gama dengan detektor akan menghasilkan pulsa, setelah diperkuat akan disimpan dalam nomor saluran yang sesuai dengan tinggi pulsa. Dengan demikian nomor saluran pada penganalisis saluran ganda (MCA) sebanding dengan energi sinar gama. Spektrum gama dengan absis energi (keV) akan mempermudah dalam pengolahan data secara kualitatif dan kuantitatif (Friedlander, Gerhart, 1997). Fenomena yang harus disadari bahwa sumber radioaktif memancarkan radiasi ke segala arah, sehingga hanya sebagian yang terdeteksi oleh detektor. Karena itulah untuk pengolahan data secara kuantitatif cuplikan pemancar sinar gama yang diukur, harus dibuat kurva kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar pemancar sinar gama. Pengolahan data untuk pembuatan kurva kalibrasi efisiensi harus dilakukan sebaik mungkin karena setiap perhitungan cuplikan yang diukur mengacu pada kurva ini. Sedangkan untuk mengetahui kinerja peralatan spektrometer gama yang digunakan, perlu dibuat *control chart* dengan mengukur suatu sumber standar pemancar sinar gama beberapa kali pada posisi yang sama dan dihitung simpangan bakunya. Selanjutnya *control chart* ini dipakai untuk memeriksa apakah peralatan spektrometer gama dalam kondisi optimum sebelum digunakan untuk pengukuran (Gilmore G. dan Hemingway J., 1995).

Bila dilakukan secara manual, tahap pemrosesan data yang harus dilakukan terhadap hasil pengukuran dengan spektrometer gama memerlukan banyak waktu. Agar pemakai spektrometer gama terhindar dari *inefisiensi* waktu dan kemungkinan kesalahan dalam pemasukan dan pengolahan data, maka perlu dikembangkan program komputer untuk sistem pemrosesan dan dokumentasi data. Dengan demikian data bisa diproses dengan

akurat dan bila sewaktu-waktu diperlukan bisa dicari dan ditampilkan dengan cepat.

## 1.2 Permasalahan

Tahap pemrosesan data yang harus dilakukan terhadap hasil pengukuran dengan spektrometer gama memerlukan banyak waktu bila dilakukan secara manual. Maka perlu dilakukan komputerisasi perhitungan spektrometri gama ini dengan mengembangkan program komputer menggunakan *Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows* (Halvorson, M., 2002). Beberapa kelebihan pemrograman visual dibandingkan dengan pemrograman berbasis DOS, bisa diaplikasikan dalam program komputer yang dibuat, seperti dalam pemasukan, penyimpanan dan pemanggilan data, visualisasi grafik, penggunaan password, penampilan logo dan waktu, serta informasi lain dalam bentuk gambar atau video. Program komputer yang dikembangkan ini diharapkan bisa diaplikasikan secara rutin sehingga dapat menghindarkan pemakai dari *inefisiensi* waktu dan kemungkinan kesalahan dalam pemrosesan data (Stamatakis, W., 2002, Suparman, Ibon, 2008).

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah melakukan penentuan kemurnian radinuklida terhadap produk radioisotop I-125 dan merancang, membuat dan mengaplikasikan program komputer untuk sistem pemrosesan dan dokumentasi data. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah *Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows* dan *toolkit* pendukung lainnya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Radioisotop

Secara harfiah, radioisotop berarti isotop yang radioaktif. Sedangkan isotop adalah unsur yang memiliki nomor atom sama (yang berarti nama unsur yang sama), tetapi berbeda nomor massanya (berbeda jumlah neutron yang terdapat di dalam intinya). Isotop ada yang tidak radioaktif (berarti inti atom stabil tidak memancarkan radiasi) dan ada pula yang radioaktif dalam usahanya mencapai suatu keadaan stabil, inti atomnya memancarkan radiasi, baik partikel (alfa, beta, partikel lainnya) atau berupa gelombang elektromagnetik (sinar X dan sinar Gama). Karena memancarkan radiasi inilah sehingga mudah dideteksi dengan alat ukur yang sesuai dengan jenis radiasi yang dipancarkan (BATAN, 1989).

#### 2.1.1 Pemanfaatan Radioisotop

Radioisotop yang dapat dibuat di dalam negeri dan penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Macam Radioisotop dan Pemanfaatannya

No	Radio-isotop	Penggunaan
1.	Mo-99	Sebagai radioisotop induk untuk mendapatkan radioisotop Tc-99m
2.	Tc-99m	Untuk diagnosis berbagai organ tubuh manusia di kedokteran nuklir
3.	I-131	Untuk diagnosis dan terapi adanya gangguan pada kelenjar gondok (sistem tiroid); untuk pembuatan senyawa bertanda (misal 131I-Hippuran)
4.	P-32	Untuk penelitian yang berkaitan efisiensi

		pemakaian pupuk
5.	Ir-192	( <i>seed source</i> ) Untuk keperluan radiografi
6.	Ir-192	( <i>Hair pin dan Single pin</i> ) <i>Brachytherapy (low dose rate)</i>
7.	Ar-41	Untuk mengetahui adanya dan menentukan letak kebocoran pada suatu <i>heat exchanger</i> (di industri)
8.	Sm-153	Untuk pembuatan sediaan radiofarmaka (misal $^{153}\text{Sm-EDTMP}$ , $^{153}\text{Sm-particulate}$ )
9.	S-35	Untuk penelitian yang berkaitan dengan hujan asam
10.	F-18	Untuk pembuatan sediaan radiofarmaka (misal $^{18}\text{F-FDG}$ , $^{18}\text{F-Thryptophane}$ )
11.	Re-186	Untuk pembuatan sediaan radiofarmaka (misal $^{186}\text{RE-EDTMP}$ , $^{186}\text{RE-HEDP}$ )
12.	Ho-166	Untuk pembuatan sediaan radiofarmaka (misal $^{166}\text{Ho-DOTMP}$ , $^{166}\text{Ho-Chitosan}$ )
13.	Rb-86	Untuk penelitian penyerapan unsur pada tanaman
14.	Zn-65	Untuk penelitian penyerapan unsur pada tanaman
15.	Au-198	<i>Tracer</i> (mempelajari distribusi dan sifat elemen pada suatu proses)
16.	Br-82	Untuk mengetahui adanya dan menentukan letak kebocoran pada suatu bendungan
17.	Ca-45	Untuk penelitian proses sedimentasi (di pantai)
18.	Sc-46	Untuk penelitian proses sedimentasi
19.	I-125	Untuk pembuatan <i>kit</i> RIA ( <i>Radioimmunoassay</i> ) sebagai <i>tracer</i>
20.	Ce-141	Standar kalibrasi ( <i>dose calibrator</i> )

(BATAN, 1989)

## 2.1.2 Pembuatan Radioisotop

Pembuatan radioisotop ada enam tahap yang harus dilakukan untuk mendapatkan radioisotop yang memenuhi spesifikasi yang diinginkan oleh pengguna, yaitu kajian reaksi inti (nuklir), pemilihan bahan sasaran, persiapan bahan sasaran (pra radiasi), iradiasi, proses pemisahan (pasca iradiasi), dan kendali kualitas (BATAN, 1989).

### 2.1.2.1 Kajian Reaksi Inti (Nuklir)

Kajian reaksi inti pada pembuatan radioisotop, pertama sekali harus dikaji reaksi inti yang terjadi, baik reaksi inti utama maupun reaksi inti sampingan yang bisa menimbulkan pengotor radionuklida (*impurities*). Bila digunakan partikel penembak neutron (misal di dalam suatu reaktor nuklir), maka reaksi inti yang umum terjadi adalah (n, g), (n, p), dan (n, a). Reaksi (n, p) artinya partikel penembaknya neutron (n) dan pada saat terjadi reaksi inti akan dilepaskan proton (p). Sebagai contoh pada pembuatan radioisotop  $^{35}\text{S}$  dari senyawa dari sasaran  $^{35}\text{Cl}$  (misal dalam bentuk senyawa kimia KCl), maka reaksi inti yang terjadi adalah  $^{35}\text{Cl} (n,p) ^{35}\text{S}$ . Bila digunakan partikel penembak proton (misal di dalam suatu akselerator atau siklotron), maka reaksi inti yang umum terjadi adalah (p, n) atau (p, xn), misal pada pembuatan radioisotop  $^{18}\text{F}$ , reaksi inti yang terjadi  $^{18}\text{O} (p, n) ^{18}\text{F}$  (BATAN, 1989).

### 2.1.2.2 Pemilihan Bahan Sasaran

Pemilihan bahan sasaran, berdasarkan kajian reaksi nuklir, maka dapat ditentukan atau dipilih bahan sasaran yang digunakan. Dalam pemilihan bahan sasaran ini haruslah dipertimbangkan bahwa bahan sasaran tersebut harus mempunyai kestabilan yang tinggi (tidak meleleh atau terurai pada proses iradiasi) dan mudah diperoleh di pasaran. Setelah ditentukan bahan sasaran yang akan digunakan kemudian dilengkapi data-data fisik bahan sasaran (titik leleh, titik didih, penampang lintang reaksi / *cross section*,

*heavy conductivity*, dan lain-lain) untuk mengisi formulir pada penyusunan LAK (Laporan Analisis Keselamatan) untuk menjamin bahwa proses iradiasi bahan sasaran tersebut aman (BATAN, 1989).

### **2.1.2.3 Persiapan Bahan Sasaran**

Persiapan bahan sasaran (pra radiasi), secara umum bahan sasaran yang akan diiradiasi dalam reaktor nuklir, ditimbang ke dalam ampul kuarsa (*quartz ampule*), kemudian dilas dan diuji kebocoran. Dimasukkan ke dalam *aluminium inner capsule* dan dilas lalu diuji kebocoran lagi. Selanjutnya dimasukkan ke dalam *aluminium outer capsule*. Ada pula bahan sasaran yang harus dipersiapkan secara khusus, misal melalui tahap *electroplating* (BATAN, 1989).

### **2.1.2.4 Iradiasi**

Iradiasi, bahan sasaran yang telah disiapkan dibawa ke reaktor nuklir sambil membawa formulir iradiasi yang diisi lengkap dan formulir jaminan uji kebocoran. Lama iradiasi disesuaikan dengan radioaktivitas yang diinginkan, atau dengan jadwal operasi reaktor. Dengan memperhitungkan lama iradiasi, fluks neutron, dan beberapa parameter lain, bisa diperkirakan secara teoritis radioaktivitas dari radioisotop yang dihasilkan (BATAN, 1989).

### **2.1.2.5 Proses Pemisahan**

Proses pemisahan (pasca iradiasi), setelah bahan sasaran diiradiasi di dalam reaktor nuklir sesuai dengan lama iradiasi yang diinginkan, selanjutnya bahan sasaran tersebut dibawa ke *hot cell* untuk dilakukan pemotongan *outer* dan *inner capsule* serta ampul kuarsa. Lalu dilakukan pemisahan bahan sasaran yang telah diiradiasi tersebut, biasanya pertama kali dengan proses pelarutan dan dilanjutkan dengan proses pemisahan lainnya (ekstraksi, distilasi, pengendapan dan penyaringan,

kromatografi dan atau proses pemisahan lainnya) tergantung dari jenis radioisotop yang dihasilkan (BATAN, 1989).

#### **2.1.2.6 Kendali Kualitas**

Kendali kualitas, setelah melalui proses pemisahan, maka radioisotop yang dihasilkan dilakukan pemeriksaan kendali kualitas, yang biasanya meliputi pengujian konsentrasi radioaktivitas, radioaktivitas jenis, kemurnian kimia, kemurnian radiokimia dan radionuklida, serta pengukuran pH. Bila produk akhir ini akan digunakan sebagai sediaan radiofarmaka, maka dilakukan pula pengujian sterilitas, pirogenitas, dan pengujian biodistribusi (BATAN, 1989).

Tahap-tahap pengerjaan ini didampingi dengan petugas proteksi radiasi untuk memantau dan menjamin bahwa prosedur yang dilakukan memenuhi keselamatan personil dan lingkungan. Setelah tahap ini dilakukan dan memberikan hasil produk akhir yang memenuhi spesifikasi yang diinginkan, maka radioisotop tersebut siap untuk digunakan sesuai keperluan (BATAN, 1989).

### **2.2 Radionuklida**

Radionuklida adalah isotop dari zat radioaktif. Radionuklida mampu memancarkan radiasi. Semua unsur terbuat dari campuran isotop. Sebagian besar isotop adalah stabil, tetapi karena beberapa sifat intinya alamiah, tidak stabil terhadap disintegrasi nuklir. Pada saat isotop-isotop radioaktif ini, radionuklida, berdisintegrasi maka akan menghasilkan berbagai macam radiasi. Pada dasarnya radiasi tersebut terdiri dari dua jenis. Pertama adalah radiasi elektromagnetik gelombang pendek yaitu yang membentuk sinar X dan sinar  $\gamma$ , dengan panjang gelombang lebih pendek dari radiasi ultraungu sehingga energinya lebih besar. Kedua adalah radiasi yang terdiri dari partikel dan memiliki tiga bentuk : sinar  $\alpha$ ,  $\beta$ , neutron (Connel, D.W., 1995).

Laju peluruhan atau disintegrasi berbeda-beda untuk setiap radionuklida. Namun untuk suatu radionuklida tertentu, laju peluruhan tetap dan tidak bergantung pada suhu, tekanan, bentuk fisik atau persenyawaan kimiawi. Dalam semua kasus laju peluruhan mengikuti kinetika tingkat pertama dan dengan demikian :

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana N adalah jumlah atom pada setiap waktu t;  $N_0$  jumlah awal atom pada waktu 0 dan  $\lambda$  tetapan peluruhan radioaktif. Laju peluruhan setiap radionuklida merupakan suatu sifat dari unsur tersebut dan pada umumnya diukur sebagai waktu paruh yang tetap. Secara sederhana dapat diperlihatkan bahwa :

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \dots\dots\dots(2.2)$$

Pada saat suatu isotop berdisintegrasi, ia menghasilkan sebuah "anak" unsur. Anak tersebut dapat merupakan suatu unsur yang stabil dan proses peluruhan radioaktif akan berhenti pada titik tersebut, atau ia dapat merupakan suatu unsur tidak stabil yang selanjutnya dapat berdisintegrasi. Jika tidak stabil, peluruhan radioaktif dari anak unsur ini dapat terjadi dan menghasilkan unsur yang stabil atau tidak stabil. Jika ia merupakan suatu unsur yang tidak stabil, dapat terjadi rantai peluruhan radioaktif (Connel, D.W., 1995).

### 2.2.1 Penggolongan Radionuklida

Radionuklida dikelompokkan berdasarkan pembentukannya menjadi radionuklida alam dan buatan. Radionuklida alam terdiri dari radionuklida alam primer, radionuklida alam sekunder, dan radionuklida alam terinduksi. Sedangkan radionuklida Buatan merupakan hasil transmudasi inti di laboratorium.

### 2.2.1.1 Radionuklida Alam

Radioaktivitas alam berasal dari radionuklida yang sudah ada semenjak bumi terbentuk (radionuklida primordial) dan dari radionuklida hasil interaksi antara sinar kosmis dengan atom-atom di lapisan atmosfer (radionuklida kosmogenik). Radionuklida primordial sebagian besar dari  $^{238}\text{U}$  dan  $^{232}\text{Th}$  beserta anak luruhnya dan  $^{40}\text{K}$ , sedangkan radionuklida kosmogenik misalnya  $^{22}\text{Na}$ ,  $^7\text{Be}$  dan  $^{14}\text{C}$  (Ghosal, S.N., 1997).

#### 1. Radionuklida Alam Primer

Nuklida yang terbentuk secara alamiah dan bersifat radioaktif, sampai sekarang masih ditemukan karena mempunyai waktu paruh yang sangat panjang ( $\geq 10^9$  tahun).

#### 2. Radionuklida Alam Sekunder

Nuklida radioaktif yang selalu terbentuk secara alamiah sebagai hasil peluruhan radionuklida alam primer.

#### 3. Radionuklida Alam Terinduksi

Radionuklida yang secara terus-menerus terbentuk di alam walaupun memiliki waktu paruh yang relatif pendek, tetapi selalu ditemukan di alam dengan kelimpahan tertentu.

Unsur radioaktif adalah unsur yang tidak stabil dan senantiasa memancarkan sinar radioaktif untuk mencapai kestabilan. Perubahan suatu unsur radioaktif menjadi unsur yang stabil dengan memancarkan sinar radioaktif akan menciptakan deret radioaktif yang memperlihatkan tahapan perubahan unsur dan jenis radiasinya. Di alam ada empat jenis deret radioaktif yang dicirikan oleh nomor massa nuklida, yakni deret  $4n$ ,  $4n+1$ ,  $4n+2$  dan  $4n+3$ . Deret radioaktif tersebut berawal dari unsur induk yang berubah menjadi unsur anakan setelah memancarkan sinar radioaktif dan akhirnya mencapai kestabilan setelah berubah menjadi unsur yang stabil (Ghosal, S.N., 1997). Empat jenis radioaktif alam tersebut disajikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 2.2 Deret Radioaktif Alam

No. Massa	Nama Deret	Unsur Induk	Waktu Paruh (tahun)	Unsur Stabil
4n	Thorium	${}_{90}^{232}\text{Th}$	$1,39 \cdot 10^{10}$	${}_{82}^{208}\text{Pb}$
4n+1	Neptunium	${}_{93}^{237}\text{Np}$	$2,25 \cdot 10^6$	${}_{83}^{209}\text{Bi}$
4n+2	Uranium	${}_{92}^{238}\text{U}$	$4,51 \cdot 10^9$	${}_{82}^{206}\text{Pb}$
4n+3	Actinium	${}_{92}^{235}\text{U}$	$7,07 \cdot 10^8$	${}_{82}^{207}\text{Pb}$

(Beisser, 1993).

### 2.2.1.2 Radionuklida Buatan

Radionuklida dapat terjadi secara alamiah atau sengaja dibuat oleh manusia dalam reaktor penelitian. Radionuklida buatan merupakan hasil transmutasi inti di laboratorium. Produksi radionuklida dengan proses aktivasi dilakukan dengan cara menembaki isotop stabil dengan neutron di dalam teras reaktor. Proses ini lazim disebut irradiasi neutron, sedangkan bahan yang disinari disebut target atau sasaran. Neutron yang ditembakkan akan masuk ke dalam inti atom target sehingga jumlah neutron dalam inti target tersebut bertambah. Peristiwa ini dapat mengakibatkan ketidakstabilan inti atom sehingga berubah sifat menjadi radioaktif. Banyak isotop buatan yang dapat dimanfaatkan antara lain Na-24, P-32, Cr-51, Tc-99, dan I-131.

## 2.3 Radiasi

Radiasi adalah pancaran energi melalui suatu materi atau ruang dalam bentuk panas, partikel atau gelombang elektromagnetik atau cahaya (foton) dari sumber radiasi. Ada beberapa sumber radiasi yang kita kenal di sekitar kehidupan kita, contohnya adalah televisi, lampu penerangan, alat pemanas makanan (*microwave oven*), komputer, dan lain-lain. Selain benda-benda tersebut ada sumber-sumber radiasi yang bersifat unsur alamiah dan berada di udara, di dalam air atau berada di

dalam lapisan bumi. Beberapa di antaranya adalah Uranium dan Thorium di dalam lapisan bumi; Karbon dan Radon di udara serta Tritium dan Deuterium yang ada di dalam air.

### **2.3.1 Jenis Radiasi dan Sifatnya**

Tipe radiasi dapat digolongkan menjadi sinar alfa (partikel bermuatan berat), sinar beta (partikel bermuatan ringan), sinar Gama, sinar X (gelombang elektromagnetik), dan neutron (partikel tak bermuatan).

#### **2.3.1.1 Sinar Alfa ( $\alpha$ )**

Partikel alfa adalah salah satu bentuk pancaran radiasi secara alamiah dari zat radioaktif dan diidentifikasi sebagai inti atom Helium  ${}^4\text{He}$  ( $Z=2$ ). Sinar alfa hanya dibelokkan sedikit oleh medan magnet. Sinar ini mudah diserap oleh bahan (Ghosal, 1997 dan Kaplan, 1975). Dapat diserap oleh selebar kertas tipis atau oleh aluminium foil 0,004 cm, dan akan terhambat beberapa cm saja di udara (Kaplan, 1975). Sinar ini memiliki efek biologis dan bahaya internal cukup besar dan bahaya eksternal yang kecil (Salim, 1984).

#### **2.3.1.2 Sinar Beta ( $\beta$ )**

Partikel beta dipancarkan oleh unsur radioaktif dengan tenaga yang tinggi. Sinar ini dibelokkan lebih jauh oleh medan magnetik dibandingkan dengan sinar alfa. Memiliki tiga macam peluruhan, yaitu peluruhan  $\beta^-$ , peluruhan  $\beta^+$ , dan tangkapan elektron (Ghosal, 1977). Memiliki daya absorpsi yang lemah, daya ionisasi tinggi dan daya jangkauannya di udara lebih jauh dari sinar alfa. Pengaruh terhadap medan magnetnya besar, efek biologis, dan bahaya internalnya besar serta bahaya eksternalnya yang ditimbulkan adalah kecil (Salim, 1984).

### 2.3.1.3 Sinar Gama ( $\gamma$ ) dan Sinar X

Inti atom berkemungkinan berada dalam keadaan tereksitasi setelah disintegrasi sinar alfa atau beta, inti yang tereksitasi kemudian berpindah ke energi yang lebih rendah dengan memancarkan emisi berupa radiasi elektromagnetik, yang dikenal sebagai sinar gama. Sinar ini memiliki daya tembus yang lebih tinggi dibandingkan dua sinar sebelumnya, tidak dibelokkan oleh medan magnet. Emisi sinar ini mirip dengan radiasi elektromagnetik dari atom yang tereksitasi (Ghosal, 1997). Sinar X digolongkan sama dengan sinar Gama karena memiliki sifat yang sama, hanya berbeda sumbernya. Daya ionisasi dan absorpsinya kecil, sedangkan bahaya eksternal yang ditimbulkan adalah besar. Sinar ini mampu menembus plat Pb beberapa cm dan 1 m beton tembok, sehingga keduanya biasa digunakan untuk menahan radiasinya (Salim, 1984).

### 2.3.1.4 Neutron ( ${}^1_0n$ )

Neutron memiliki daya absorpsi yang lemah, dapat menembus bahan-bahan, kecuali penyerap neutron (Cd dan B). Daya ionisasi dan pengaruhnya terhadap medan magnet tidak ada. Efek biologis yang ditimbulkannya sedang, bahaya internalnya kecil, sedangkan bahaya eksternalnya besar (Salim, 1984).

## 2.3.2 Sumber Radiasi

Berdasarkan asalnya sumber radiasi pengion dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sumber radiasi alam yang sudah ada di alam ini sejak terbentuknya bumi, dan sumber radiasi buatan yang sengaja dibuat oleh manusia untuk berbagai tujuan.

### 2.3.2.1 Sumber Radiasi Alam

Radiasi yang dipancarkan oleh sumber radiasi alam disebut juga sebagai radiasi latar belakang. Manusia setiap hari terpapar oleh radiasi ini dan merupakan radiasi terbesar yang diterima oleh manusia yang tidak bekerja di tempat yang menggunakan

radioaktif atau yang tidak menerima radiasi berkaitan dengan kedokteran atau kesehatan. Radiasi latar belakang yang diterima oleh seseorang dapat berasal dari tiga sumber utama, yaitu :

#### **2.3.2.1.1 Sumber Radiasi Kosmis**

Radiasi kosmis berasal dari luar angkasa, sebagian berasal dari ruang antar bintang dan matahari. Radiasi ini terdiri dari partikel dan sinar yang berenergi tinggi dan berinteraksi dengan inti atom stabil di atmosfer membentuk inti radioaktif seperti  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^{22}\text{Na}$  dan  $^7\text{Be}$ . Atmosfer bumi dapat mengurangi radiasi kosmis yang diterima oleh manusia. Tingkat radiasi dari sumber kosmis ini bergantung pada ketinggian, yaitu radiasi yang diterima akan semakin besar bila posisinya semakin tinggi. Tingkat radiasi yang diterima seseorang juga tergantung pada letak geografisnya (Ghosal, S.N., 1997).

#### **2.3.2.1.2 Sumber Radiasi Terestrial**

Radiasi terestrial secara natural dipancarkan oleh radionuklida di dalam kerak bumi. Radiasi ini dipancarkan oleh radionuklida yang disebut primordial yang ada sejak terbentuknya bumi. Radionuklida yang ada dalam kerak bumi terutama adalah deret Uranium, yaitu peluruhan berantai mulai dari  $^{238}\text{U}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ , deret Actinium ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ) dan deret Thorium ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ). Radiasi terestrial terbesar yang diterima manusia berasal dari radon dan thoron karena dua radionuklida ini berbentuk gas sehingga bisa menyebar kemana-mana. Tingkat radiasi yang diterima seseorang dari radiasi terestrial ini berbeda-beda dari satu tempat ke tempat lain bergantung pada konsentrasi sumber radiasi dalam kerak bumi (Ghosal, S.N., 1997).

#### **2.3.2.1.3 Sumber Radiasi Internal**

Sumber radiasi ini ada di dalam tubuh manusia sejak dilahirkan dan bisa juga masuk dalam tubuh melalui makanan, minuman, pernafasan atau luka. Radiasi internal ini terutama

diterima dari radionuklida  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^{40}\text{K}$ , Radon, selain itu masih ada sumber lain seperti  $^{210}\text{Pb}$  dan  $^{210}\text{Po}$  yang banyak berasal dari ikan dan kerang-kerangan. Buah-buahan biasanya mengandung unsur  $^{40}\text{K}$  (Ghosal, S.N., 1997).

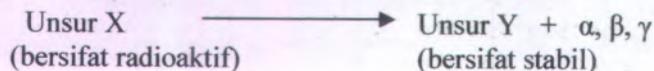
### 2.3.2.2 Sumber Radiasi Buatan

Sumber radiasi buatan telah diproduksi sejak abad ke-20 dengan Ditemukannya sinar X oleh WC Rontgen. Saat ini sudah banyak sekali jenis dari sumber radiasi buatan baik yang berupa zat radioaktif dan sumber pembangkit radiasi (pesawat sinar X dan akselerator). Radioaktif dapat dibuat manusia berdasarkan reaksi inti antara nuklida yang tidak radioaktif dengan neutron atau biasa disebut sebagai reaksi fisi di dalam reaktor atom. Radionuklida buatan ini bisa memancarkan radiasi alfa, beta, dan Gama (Ghosal, S.N., 1997).

### 2.4 Radioaktivitas

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

Gejala radioaktivitas ditentukan oleh inti atom yang bersangkutan dan tidak dipengaruhi, dipercepat atau diperlambat oleh kondisi di luar inti atom seperti suhu, tekanan, bentuk senyawa kimia, dan sebagainya. Oleh karena itu sifat radioaktif tidak dapat berubah oleh cara apapun dan khas untuk suatu radionuklida. Gejala radioaktivitas dapat dinyatakan secara kuantitatif. Peluruhan radioaktif sederhana dapat ditulis sebagai berikut :



Peristiwa peluruhan semacam ini dapat disamakan dengan reaksi monomolekuler dalam kinetika kimia. Laju reaksi peluruhan atau perubahan nuklida induk per satuan waktu sebanding dengan jumlah nuklida induk pada saat itu. Apabila jumlah atom induk pada saat  $t$  adalah  $N_t$ , maka dapat ditulis :

$$\frac{dN_t}{dt} = -\lambda \cdot N_t \dots\dots\dots(2.3)$$

$\lambda$  adalah tetapan radioaktif dan biasanya dinyatakan dalam  $T^{-1}$  (per satuan waktu). Apabila persamaan (2.3) diintegrasikan maka akan didapat :

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2.4)$$

Laju peluruhan suatu radionuklida biasanya dinyatakan secara karakteristik dengan suatu tetapan yang disebut waktu paro dan biasanya diberi lambang  $t_{1/2}$ . Waktu paro adalah waktu yang diperlukan agar jumlah inti radionuklida tersebut menjadi setengah dari jumlahnya semula.

$$N_t = \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$$

$$e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{1}{2} \text{ atau } -\lambda T_{1/2} = \ln 1/2$$

waktu paro adalah

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \dots\dots(2.5)$$

Apabila  $N_t/N_0$  diplotkan terhadap  $t$  dalam kertas grafik linear maka akan didapatkan suatu liku eksponensial (Susetyo, 1988).

#### 2.4.1 Aktivitas

Jumlah inti suatu radionuklida bukanlah besaran yang dapat langsung diukur ialah aktivitas. Aktivitas suatu radionuklida pada saat  $t$  adalah jumlah disintegrasi per satuan waktu yang terjadi pada saat  $t$  tersebut. Aktivitas pada saat  $t$  dilambangkan dengan  $A_t$  dan tidak lain adalah laju peluruhan radioaktif  $dN_t/dt$ . Persamaan 2.3 dapat ditulis sebagai

$$A_t = \lambda \cdot N_t$$

Dengan cara yang sama untuk menurunkan persamaan 2.4 bisa didapatkan

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$A_0$  adalah aktivitas pada saat  $t=0$ .

Apabila harga disubstitusi dengan plot jumlah nuklida versus waktu peluruhan, plot aktivitas terhadap waktu peluruhan akan menghasilkan liku eksponensial pada kertas grafik (Susetyo, 1988).

#### 2.4.2 Satuan Aktivitas

Satuan Internasional (SI) dari aktivitas diberi nama menurut nama Henri Becquerel yang mendapatkan radioaktivitas dalam tahun 1896.

$$1 \text{ Becquerel} = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ peluruhan / detik}$$

Satuan tradisional aktivitas adalah Curie (Ci) yang mulanya didefinisikan sebagai aktivitas dari 1 gram Radium ( $^{226}\text{Ra}$ ). Karena harga yang tepat dari 1 Curie berubah ketika metode pengukuran bertambah maju, sekarang didefinisikan menurut persamaan :

1 Curie = 1 Ci =  $10^6 \mu\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10}$  peluruhan / detik = 37 GBq

Kelipatan satuan Curie yang biasa digunakan adalah

$$1 \text{ mili Curie (1mCi)} = 3,7 \times 10^7 \text{ Bq}$$

$$1 \text{ mikro Curie (1}\mu\text{Ci)} = 3,7 \times 10^4 \text{ Bq}$$

$$1 \text{ nano Curie (1nCi)} = 37 \text{ Bq}$$

(Beiser, 1999).

Aktifitas zat radioaktif menyatakan jumlah zat radioaktif yang melakukan peluruhan (disintegrasi) setiap satuan waktu. Untuk menyatakan aktifitas zat radioaktif digunakan satuan Becquerel (Bq) dimana :

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ peluruhan per detik ( dps )} \dots\dots\dots(2.6)$$

selain Bq juga digunakan satuan Curie ( Ci ) dimana :

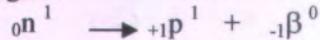
$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} \dots\dots\dots(2.7)$$

satuan Ci menunjukkan tingkat aktifitas zat radioaktif yang sangat tinggi (Connel D.W., 1993).

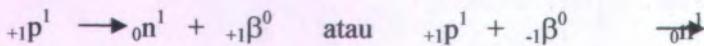
### 2.4.3 Kestabilan Inti Atom

Inti atom yang stabil tidak menunjukkan gejala radioaktivitas, yaitu gejala pemancaran radiasi secara spontan. Sebaliknya inti atom yang tidak stabil dapat menunjukkan gejala radioaktivitas. Kestabilan suatu inti atom ditandai dengan perbandingan jumlah proton (p) dan neutron (n) yang ada dalam inti tersebut. Untuk atom-atom ringan, jika nilai perbandingan antara jumlah n dan p sama dengan 1 ( $n/p = 1$ ), maka inti atom tersebut bersifat stabil, sedang jika nilai  $n/p$  tidak sama dengan 1 ( $n/p < 1$  atau  $n/p > 1$ ) maka ada kemungkinan inti atom tersebut tidak stabil.

Jenis radiasi yang dipancarkan oleh inti radioaktif juga dipengaruhi oleh nilai  $n/p$  dalam intinya. Jika nilai  $n/p > 1$  berarti jumlah neutron lebih banyak dibandingkan jumlah proton, untuk mencapai keadaan inti yang stabil, dalam inti atom akan terjadi perubahan  $n$  menjadi  $p$  disertai pemancaran elektron atau radiasi beta negatif.



Jika nilai  $n/p < 1$  berarti jumlah neutron lebih kecil dibandingkan jumlah  $p$ , untuk mencapai keadaan inti yang stabil, dalam inti atom akan terjadi perubahan  $p$  menjadi  $n$  disertai pemancaran positron ( ${}_{+1}e^0$ ) atau radiasi beta positif ( ${}_{+1}\beta^0$ ).



Inti-inti berat dengan nomor atom tinggi, dimana nilai  $n/p$  lebih besar dari 1,6 ( $n/p > 1,6$ ), maka dalam peluruhan inti-inti jenis ini akan selalu disertai pemancaran radiasi alfa (Connel D.W., 1993).



Faktor lain yang menentukan kestabilan inti antara lain pasangan nukleon yang ditunjukkan oleh hukum genap ganjil. Bila komposisi nukleon dalam inti baik proton maupun neutron berupa bilangan genap, maka inti tersebut adalah inti stabil. Ketiga adalah energi pengikat inti per nukleon, di mana inti paling stabil bila memiliki energi pengikat inti per nukleon paling besar (Ghosal, S.N., 1997).

## 2.5 Peluruhan

Pemancaran radiasi secara terus-menerus sepanjang waktu dari inti radioaktif akan mengakibatkan berkurangnya jumlah inti atom radioaktif. Peristiwa penyusutan jumlah inti atom ini disebut peluruhan atau pelapukan. Berkurangnya jumlah inti radioaktif akan disertai dengan berkurangnya jumlah radiasi yang

dipancarkannya. Laju peluruhan setiap zat radioaktif bergantung pada jenis zat radioaktifnya. Jumlah peluruhan yang terjadi juga tergantung pada jumlah zat radioaktif mula-mula. Dalam hal ini setiap zat radioaktif mempunyai konstanta peluruhan ( $\lambda$ ) sendiri-sendiri. Konstanta peluruhan didefinisikan sebagai fraksi zat radioaktif yang meluruh ( $\Delta N/N$ ) tiap satuan waktu ( $\Delta t$ ) yang dirumuskan sebagai :

$$\frac{\Delta N / N}{\Delta t} = \lambda \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan mengintegrasikan persamaan diatas akan diperoleh jumlah zat radioaktif yang tersisa setiap saat :

$$\Delta N/N = \lambda \Delta t \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\int dN/N = \int \lambda dt \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

jumlah zat radioaktif yang tertinggal setiap saat adalah

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

Setiap zat radioaktif juga mempunyai waktu paruh ( $t_{1/2}$ ), yaitu waktu yang diperlukan oleh zat radioaktif untuk meluruh sehingga jumlah zat radioaktif tersebut menjadi setengah dari jumlah semula. Semakin pendek waktu paruh, semakin cepat zat radioaktif tersebut meluruh sehingga kemampuannya memancarkan radiasi berkurang dengan cepat pula, begitu juga sebaliknya (Connel, D.W., 1993 ).

### 2.5.1 Hukum Peluruhan

Gejala radioaktivitas dapat dinyatakan secara kuantitatif ditinjau suatu peluruhan radioaktif sederhana sebagai berikut :



Dalam hal ini A disebut induk dan B disebut anak luruhnya. Laju reaksi peluruhan atau perubahan cacah inti atom induk per satuan waktu sebanding dengan cacah inti atom induk yang ada pada saat itu. Apabila cacah atom induk pada saat  $t$  adalah  $N$  maka dapat ditulis :

$$\frac{dN_t}{dt} = -\lambda N_t \dots\dots\dots(2.12)$$

$\lambda$  adalah konstanta peluruhan. Apabila persamaan (2.12) diintegrasikan maka akan didapat :

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2.13)$$

$N_0$  adalah cacah inti induk mula-mula.

Laju peluruhan suatu radionuklida biasanya dinyatakan dalam waktu paruh ( $t_{1/2}$ ). Waktu paruh suatu radionuklida adalah waktu yang diperlukan agar cacah atom radionuklida tersebut menjadi setengah dari cacahnya semula.

$$N^{1/2} = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$T^{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \dots\dots\dots(2.15)$$

Aktivitas suatu radionuklida pada saat  $t$  adalah cacah disintegrasi per satuan waktu yang terjadi pada saat  $t$  atau laju peluruhan radioaktif  $\frac{dN_t}{dt}$ . Persamaan (2.12) dapat ditulis sebagai :

$$A_t = \lambda N_t \dots\dots\dots(2.16)$$

Satuan aktivitas disebut Becquerel (Bq). Satu Becquerel didefinisikan sebagai satu disintegrasi inti per sekon (dps). Disamping satuan, dikenal satuan Curie (Ci). Satu Curie adalah  $3,7 \times 10^{10}$  Bq.

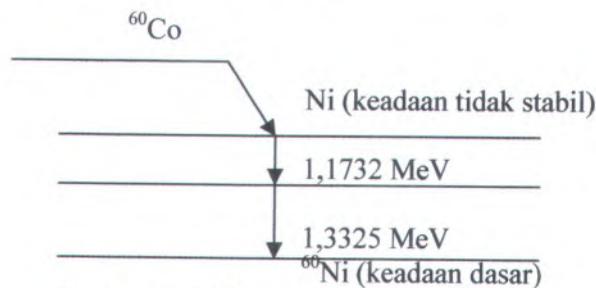
## 2.6 Peluruhan Gama

Inti-inti atom tidak stabil yang mengandung terlalu banyak neutron akan menstabilkan diri dengan memancarkan elektron (radiasi  $\beta^-$ ) dan sebuah anti neutrino  $\bar{\nu}$ . Setelah inti memancarkan radiasi  $\beta^-$ , inti atom tersebut akan berada dalam keadaan tidak stabil (*excited state*). Inti yang tidak stabil ini akan menuju ke keadaan dasar dengan jalan memancarkan radiasi elektromagnetik yang disebut sinar- $\gamma$ . Sinar- $\gamma$  dapat dipandang sebagai paket-paket energi yang disebut foton- $\gamma$ . Massa dan muatan suatu inti yang memancarkan sinar- $\gamma$  tidak berubah atau tetap.

Contoh peluruhan- $\gamma$ , ditinjau  $^{60}\text{Co}$  yang meluruh menjadi  $^{60}\text{Ni}$  melalui peluruhan- $\beta^-$  :



Dalam keadaan tidak stabil  $^{60}\text{Ni}$  yang terbentuk 2,5057 MeV di atas keadaan dasar dan segera meluruh dengan memancarkan dua sinar- $\gamma$ , masing-masing tenaga sebesar 1,1732 MeV dan 1,3325 MeV. Satu *Curie* adalah  $3,7 \times 10^{10}$  Bq.



Gambar 2.1 Skema Peluruhan  $^{60}\text{Co}$

### 2.6.1 Interaksi Sinar- $\gamma$ dengan Materi

Jika sinar- $\gamma$  mengenai suatu materi, maka ia akan kehilangan sebagian dan atau seluruh energinya. Kehilangan energi ini dapat terjadi melalui proses efek fotolistrik, hamburan Compton dan pembentukan pasangan.

### 2.6.2 Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik adalah interaksi antara foton- $\gamma$  dengan sebuah elektron dalam atom. Foton- $\gamma$  akan menumbuk elektron dan elektron akan menyerap seluruh tenaga foton- $\gamma$ . Sebagai akibatnya elektron akan dipancarkan keluar dari atom dengan tenaga gerak sebesar selisih tenaga foton- $\gamma$  dan tenaga ikat elektron.

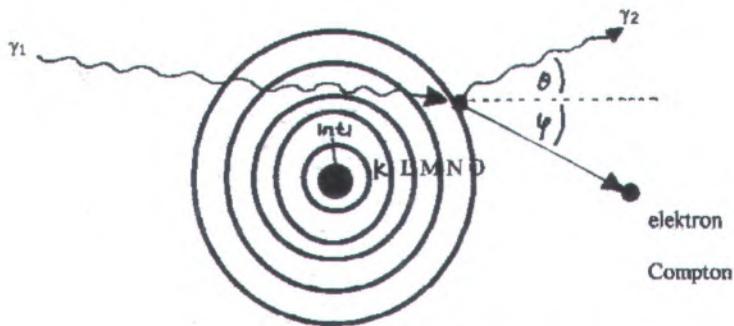
$$E_e = E_\gamma - W \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana  $E_e$  = tenaga kinetik elektron,  $E_\gamma$  = tenaga foton- $\gamma$ ,  $W$  = tenaga ikat elektron

Elektron yang dipancarkan disebut fotoelektron. Atom yang terionisasi akibat efek fotolistrik tentu saja dalam keadaan tidak stabil. Lowongan yang ditinggalkan fotoelektron akan diisi oleh elektron pada kulit berikutnya dan demikian seterusnya.

### 2.6.3 Hamburan Compton

Hamburan Compton terjadi antara foton- $\gamma$  dan sebuah elektron bebas atau yang terikat lemah (elektron yang berada pada kulit terluar suatu atom). Apabila foton- $\gamma$  menumbuk elektron jenis ini maka berdasarkan hukum kekekalan momentum tidak mungkin elektron akan dapat menyerap seluruh tenaga foton- $\gamma$ . Foton- $\gamma$  hanya akan menyerahkan sebagian tenaganya kepada elektron dan kemudian terhambur menurut sudut  $\theta$  terhadap gerak foton- $\gamma$  mula-mula.



Gambar 2.2 Hamburan Compton

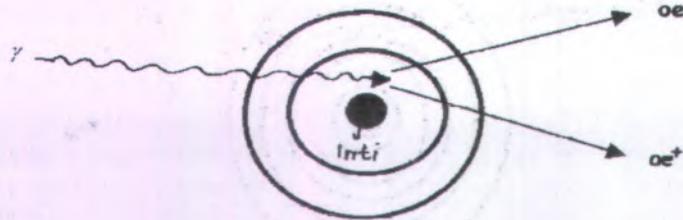
Elektron yang dilepaskan disebut elektron Compton, dengan tenaga elektron Compton  $E_c$  adalah selisih antara tenaga sinar- $\gamma$  mula-mula dan tenaga sinar- $\gamma$  yang terhambur.

$$E_c = E_0 - E_\gamma \dots \dots \dots (2.18)$$

#### 2.6.4 Pembentukan Pasangan

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

Massa elektron dan positron masing-masing setara dengan tenaga sebesar 0,511 MeV. Dengan demikian, efek pembentukan pasangan tidak akan terjadi, kecuali jika tenaga sinar- $\gamma$  yang berinteraksi lebih besar dari  $2 \times 0,511 \text{ MeV} = 1,022 \text{ MeV}$ . Apabila tenaga sinar- $\gamma$  mula-mula adalah  $E_0 \text{ MeV}$  maka kelebihan tenaga sebesar  $(E_0 - 1,022) \text{ MeV}$  akan dibagikan di antara elektron dan positron dalam bentuk tenaga gerak (tenaga kinetik) (Susetyo, 1988).



Gambar 2.3 Pembentukan Pasangan

## 2.7 Spektrometer Gama

Spektrometer gama dapat diartikan seperangkat alat yang digunakan untuk pengukuran dan identifikasi zat-zat radioaktif dengan jalan mengamati spektrum karakteristik yang ditimbulkan oleh interaksi foton  $\gamma$  yang dipancarkan oleh zat-zat radioaktif tersebut dengan materi detektor (Susetyo, 1988). Interaksi sinar gama dengan detektor menghasilkan pulsa yang tingginya sebanding dengan tenaga sinar gama. Setelah pulsa-pulsa tersebut diproses secara elektronik melalui serangkaian peralatan yang disebut peralatan spektrometer gama, maka sebagai hasil akhir akan mendapatkan suatu spektrum  $\gamma$ .

Analisis spektrometer gama berdasarkan pada interpretasi yang tepat dan benar atas spektrum  $\gamma$  yang dihasilkan pada pengukuran. Untuk dapat membaca dan mengartikan spektrum  $\gamma$  dengan benar, perlu diketahui terlebih dahulu proses pembentukan spektrum  $\gamma$  dan semua gejala yang menyertainya.

### 2.7.1 Prinsip Kerja Spektrometer Gama

Spektrometer gama ini erat hubungannya dengan radioaktivitas. Sinar gama yang dipancarkan oleh unsur-unsur radioaktif yang mengenai detektor akan saling berinteraksi melalui proses efek fotolistrik, efek compton, dan pembentukan pasangan. Dari ketiga efek ini akan dihasilkan elektron-elektron.

Dengan adanya tegangan tinggi diberikan, elektron-elektron tersebut akan bergerak menuju katoda dan akan terjadi penurunan tegangan sesaat, penurunan tegangan ini dapat diamati secara elektronik sebagai signal pulsa. Pulsa awal ini diperkuat oleh penguat awal kemudian dibentuk secara sempurna pada penguat. Selanjutnya dikirim ke penganalisis salur ganda (*Multy Channel Analyzer*). Alat ini dapat memilah-milah pulsa menurut tingginya. Alat ini mempunyai banyak memori yang dinyatakan dalam cacah salur yang dimilikinya. Pulsa dengan tinggi tertentu akan dicatat cacahnya dengan nomor salur tertentu. Data numerik hasil pengukuran tersebut setiap saat diakumulasikan dalam salur itu, sampai waktu pengukuran selesai. Sebagai hasilnya secara analog dapat dilihat spektrum gama pada layar penganalisa salur ganda atau melalui plotter. Data numerik juga dapat dikeluarkan melalui printer atau *teletype writer* (Susetyo, 1988).

### 2.7.2 Perangkat Spektrometer Gama

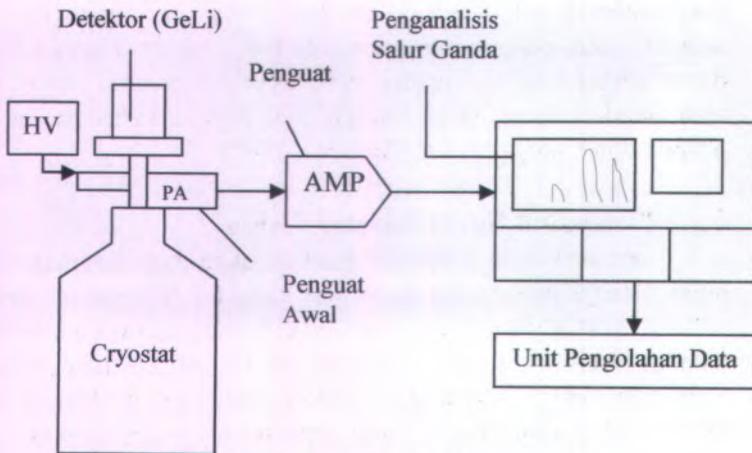
Interaksi sinar  $\gamma$  dengan detektor akan menghasilkan signal pulsa. Tinggi pulsa yang dihasilkan detektor bersesuaian dengan tenaga foton  $\gamma$  yang mengenai detektor. Selanjutnya pulsa-pulsa tersebut diproses secara elektronik dalam serangkaian peralatan yang membentuk perangkat spektrometer gama dengan hasil akhir yang didapatkan suatu spektrum  $\gamma$ . Perangkat yang digunakan dalam spektrometer gama adalah sebagai berikut :

1. Detektor (Analisis Tinggi Pulsa), yaitu detektor Ge Li (*Germanium Litium*) atau detektor HPGe (*High Pure Germanium*) yang dilengkapi dengan sistem *cryostat* (tangki berisi  $N_2$  cair)
2. Penguat awal (PA)
3. Penguat (*Amplifier*)
4. Penganalisis saluran ganda (MCA)
5. Sumber tegangan (HV)



### 2.7.2.1 Detektor (Analisis Tinggi Pulsa)

Mula-mula pulsa yang dihasilkan detektor akan diperkuat atau lebih tepat dipertinggi (*amplified*) dan dibentuk dalam penguat awal dan kemudian dalam penguat (*amplifier*). Pulsa yang telah diperkuat dikirim menuju suatu alat yang dapat memilah-milahkan pulsa menurut tingginya. Alat tersebut mempunyai banyak memori yang dinyatakan dalam cacah salur (*channel*) yang dimilikinya. Alat ini dinamakan penganalisis saluran ganda (*multi channel analyzer*).



Gambar 2.4 Perangkat Spektrometer Gama  
(Susetyo, 1988)

Pulsa dengan tinggi tertentu akan dicatat cacahnya dalam salur dengan nomor salur tertentu. Data numerik hasil pencacahan tersebut setiap saat diakumulasikan dalam salur itu, sampai waktu pencacahan selesai. Sebagai hasilnya, secara analog dapat dilihat dari spektrum  $\gamma$  pada layar penganalisis salur ganda atau melalui plotter. Data numerik dapat juga dikeluarkan melalui printer, *teletype writer*, dan lain-lain. Sistem pembentukan spektrum semacam ini disebut analisis tinggi pulsa (*Pulse Height Analysis*).

### 2.7.2.2 Penguat Awal (PA)

Penguat awal terletak di antara detektor dan penguat (Gambar 2.4). Alat ini mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut :

1. Untuk melakukan amplifikasi awal terhadap pulsa keluaran detektor
2. Untuk melakukan pembentukan pulsa pendahuluan
3. Untuk mencocokkan impedansi keluaran detektor dengan kabel signal masuk penguat
4. Mengadakan perubahan muatan menjadi tegangan pada pulsa keluaran detektor

### 2.7.2.3 Penguat (*Amplifier*)

Pulsa keluaran detektor telah berubah dari pulsa muatan ke pulsa tegangan oleh penguat awal. Selanjutnya pulsa tersebut dikirim sebagai masukan dari penguat. Disini pulsa dipertinggi sampai mencapai amplitude yang dapat dianalisis dengan alat penganalisis tinggi pulsa. Kemampuan suatu penguat untuk memperkuat pulsa disebut *gain*.

Selain untuk mempertinggi pulsa, penguat juga mempunyai fungsi lain yang sangat penting, yaitu memberi bentuk pulsa. Pulsa ekor yang keluar dari penguat awal dibentuk sekali lagi untuk mendapatkan pulsa yang jauh lebih sempit dengan waktu timbul lebih lambat dan waktu jatuh lebih cepat.

### 2.7.2.4 Penganalisis Saluran Ganda (MCA)

Penganalisis salur ganda boleh dianggap sebagai gabungan dari penganalisis salur tunggal. Kebanyakan penganalisis salur ganda yang modern mempunyai 4000-8000 salur pencacahan (tiap salur pencacahan setara dengan satu penganalisis salur tunggal). Penganalisis salur tunggal mempunyai ambang dan jendela atau diskriminator bawah dan atas. Dengan alat ini semua pulsa dengan bermacam-macam tingginya dapat dipisah dan dicacah, tetapi tentu saja memerlukan waktu yang lama. Karena

penganalisis salur ganda merupakan gabungan dari banyak penganalisis salur tunggal, maka dapat menyajikan seluruh spektrum  $\gamma$  cuplikan dalam satu kali pengukuran (Susetyo, 1988).

### 2.7.3 Interaksi Sinar Gama dengan Detektor

Suatu berkas sinar gama yang berinteraksi dengan detektor dapat mengalami tiga proses utama, yaitu efek fotolistrik, hamburan compton, dan pembentuk pasangan (hanya untuk tenaga sinar  $\gamma > 1,022$  MeV). Melalui ketiga proses ini sinar  $\gamma$  menyerahkan sebagian atau seluruh tenaganya pada materi detektor dan sebagai hasilnya dilepaskan elektron-elektron bebas yang dipergunakan dalam proses deteksi dan pengukuran radiasi selanjutnya.

### 2.7.4 Kalibrasi Spektrometer Gama

Spektrometer gama adalah suatu metode yang bersifat relatif, sehingga sebelum alat spektrometer gama ini digunakan perlu dilakukan pengkalibrasian terlebih dahulu secara cermat dan teliti. Ada dua macam kalibrasi yang perlu dilakukan, yaitu kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi. Sebelum pengukuran dilakukan, semua peralatan harus diatur pada kondisi kerja optimum. Pengaturan detektor HPGe antara lain pada tegangan tinggi, polaritas, *coarse gain*, *fain gain*, dan *shaping time*. Semua data pengukuran harus dalam keadaan pengaturan yang sama.

#### 2.7.4.1 Kalibrasi Energi

Tinggi pulsa yang dihasilkan oleh detektor, setara dengan sinar gama yang mengenai detektor. Cacah pulsa yang mempunyai tinggi sama disimpan dalam suatu memori dengan nomor saluran tertentu. Kalibrasi energi ini dapat dilakukan secara manual dan komputerisasi. Kalibrasi energi pada spektrometer gama merupakan hubungan antara nomor saluran dengan energi. Sebagai sumber standar untuk kalibrasi adalah standar campuran yang telah diketahui radionuklidanya, standar

campuran tersebut mempunyai rentang energi 60-2000 keV. Pada kalibrasi sebaiknya digunakan paling sedikit empat energi Gama yang berbeda dan diukur dalam waktu yang cukup panjang sehingga dihasilkan puncak yang baik. Pada kertas grafik diplot sebagai sumbu X adalah nomor saluran dari tiap-tiap FEP (*Full Energi Peak*) dan sumbu Y adalah energi sinar gama. Hubungan antara nomor saluran dan energi sinar gama adalah linier. Sistem berbasis komputer biasanya dilengkapi dengan perangkat lunak untuk menghitung secara otomatis.

Kalibrasi energi berguna untuk analisis kualitatif. Dengan mengetahui nomor saluran dari cuplikan yang diukur dengan kondisi yang sama dengan sumber kalibrasi, dapat diplotkan terhadap kurva kalibrasi yang diperoleh. Dengan cara ini akan didapat energi dari cuplikan sehingga dari energi tersebut dapat dicari jenis radionuklidanya menggunakan tabel isotop (BATAN, 1998).

#### **2.7.4.2 Kalibrasi Efisiensi**

Analisis kuantitatif dalam spektrometer gama membutuhkan kalibrasi efisiensi. Suatu sumber radioaktif selalu memancarkan sinar radiasi ke segala arah ( $4\pi$ ). Cuplikan radioaktif biasanya diukur pada suatu jarak tertentu terhadap detektor. Efisiensi dari spektrometer gama adalah persentase dari foton yang dapat dianalisis oleh alat dari total foton yang mengenai detektor. Ukuran dan bentuk detektor adalah parameter penting dalam penentuan efisiensi. Sejumlah foton tidak dapat berinteraksi dengan detektor yang berukuran kecil, jadi detektor yang berukuran besar tentunya lebih menguntungkan karena terdapat penambahan peluang dari hamburan Compton yang berinteraksi (Budnitz, 1983).

Sebenarnya hanya sebagian saja dari sinar gama yang dipancarkan cuplikan yang dapat terdeteksi oleh detektor. Itulah sebabnya dalam deteksi radiasi dikenal istilah laju cacah atau aktivitas. Dalam spektrometer gama, laju cacah biasanya

dinyatakan dalam satuan cacah per detik (cps) atau terkadang dalam cacah per menit (cpm). Satuan aktivitas yang sesungguhnya dari suatu sumber radioaktif adalah Becquerel (Bq) atau sering juga dinyatakan sebagai disintegrasi per detik (dps) atau disintegrasi per menit (dpm).

Harga laju cacah sama sekali tidak mencerminkan aktivitas sesungguhnya dari suatu sumber. Sebagai contoh laju cacah sebesar 1000 cps bisa berarti  $10^7$  atau  $10^{13}$  cps tergantung pada efisiensi deteksi dan harga intensitas mutlak energi gama yang diukur.

Untuk suatu pengukuran yang dilakukan tanpa membedakan tenaga satu dengan yang lain dalam cuplikan maupun mode peluruhan (pengukuran *gross*), maka efisiensi deteksi semata-mata adalah nisbah laju cacah dan aktivitas.

$$\% E (gross) = \frac{Cps}{Dps} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.19)$$

Akan tetapi dalam pengukuran secara spektrometri gama yang pengukurannya hanya ditujukan pada salah satu energi dan mode peluruhan yang ada dalam cuplikan, maka efisiensi deteksi masih harus ditentukan oleh harga intensitas mutlak.

$$\% E_{(Spektrometri)} = \frac{Cps}{Dps \cdot Y} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.20)$$

Hasil kali Y dengan dps disebut laju emisi (*emission rate*) atau nilai emisi foton. Efisiensi pada Persamaan 2.20 adalah efisiensi mutlak dari puncak serapan total suatu puncak gama dan membaginya dengan waktu pengukuran (dalam detik).

$$Cps = \frac{\text{Luas puncak serapan total (cacah)}}{\text{Waktu pengukuran}} \dots\dots(2.21)$$

Luas puncak serapan total adalah jumlah cacah yang terkandung dalam suatu puncak gama. Jika puncak serapan total yang dipakai untuk menentukan efisiensi mempunyai energi sebesar E, maka dengan sendirinya harga intensitas mutlak juga dilihat untuk energi E tersebut, yaitu  $Y_{(E)}$ , sebagai konsekuensinya efisiensi deteksi juga merupakan fungsi energi  $E_{(E)}$ , sehingga Persamaan 2.20 lebih tepat ditulis sebagai :

$$\% E_{(E)} = \frac{\text{Cps}}{\text{Dps} \cdot Y_{(E)}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.22)$$

dimana  $\% E_{(E)} = \% \text{ efisiensi pada energi E ke V}$ , cps = cacah per detik, dps = disintegrasi per detik,  $Y_{(E)} = \text{intensitas puncak gama pada energi E ke V}$ . Efisiensi pengukuran pada energi dan geometri tertentu dengan rumus (Friedldaner, Gerhart, 1997) :

$$E_f = \frac{\text{Cps}}{\text{Dps} \cdot I} \dots \dots \dots (2.23)$$

dimana  $E_f = \text{efisiensi pengukuran}$ , Cps = *counts per second*, Dps = *disintegrations per second* (Bq), I = Intensitas (*abundance*). Intensitas (*abundance*) dari suatu energi sinar gama adalah fraksi (persentase) dari setiap laju peluruhan (dps) yang memberikan kontribusi pada energi tersebut. Hal ini dapat dilihat dari tabel energi sinar gama (Knoll, F. Glenn, 2000).

Pada kurva kalibrasi efisiensi, sebagai absis adalah energi (keV) dan ordinat adalah efisiensi. Kurva kalibrasi efisiensi menunjukkan bahwa pada energi < 100 keV, efisiensi akan naik sebanding dengan kenaikan energi (sinar gama) dan pada energi > 100 keV berlaku sebaliknya yaitu efisiensi akan turun sebanding dengan kenaikan energi seperti tampak pada Gambar 2.5 di bawah (Gilmore G., dan Hemingway J., 1995).

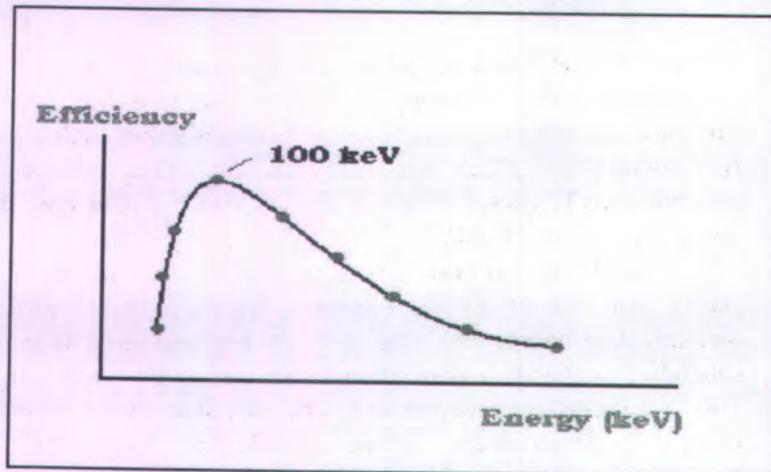
Persamaan untuk energi  $> 100$  keV ini, bisa memiliki karakteristik persamaan power atau persamaan eksponensial. Pada tahap awal penelitian, didapatkan bahwa kurva kalibrasi efisiensi yang sesuai menggunakan persamaan power yang memiliki bentuk umum :  $Y = A X^B$ , dimana Y adalah efisiensi dan X adalah energi. Bila persamaan power ini dilinierisasikan (dibuat skala logaritma) akan didapat persamaan :

$$\text{Log}(Y) = \text{Log}(A) + B \text{Log}(X) \dots\dots\dots(2.24)$$

Persamaan 2.24 ini bisa ditulis sebagai persamaan linier :

$$Y1 = A1 + B X1 \dots\dots\dots(2.25)$$

dimana  $Y1 = \log(Y)$  dan  $X1 = \log(X)$ . Nilai A1 dan B dapat diselesaikan secara akurat menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*) (Mathews, 2001). Nilai A dapat diperoleh dari  $A = 10^{A1}$  dan dengan demikian persamaan power dapat diketahui.



Gambar 2.5 Kurva Kalibrasi Efisiensi

Prinsip dari metode kuadrat terkecil dalam menentukan regresi linier adalah memperoleh persamaan terbaik diantara sekumpulan nilai yang menghasilkan jumlah simpangan semua nilai terhadap persamaan tersebut setelah dikuadratkan adalah sekecil-kecilnya. Dari persamaan 2.25 dapat diturunkan untuk mencari harga A1 dan B sebagai berikut (Chapra, Steven C. dan Raymond P. Canale, 2002) :

$$B = \frac{n \sum (X1_i Y1_i) - \sum X1_i \sum Y1_i}{n \sum X1_i^2 - (\sum X1_i)^2} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$A1 = \frac{\sum X1_i^2 \sum Y1_i - \sum X1_i \sum (X1_i Y1_i)}{n \sum X1_i^2 - (\sum X1_i)^2} \dots\dots\dots(2.27)$$

dimana n adalah jumlah pasang data (X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>). Untuk mengetahui kesesuaian data pengamatan terhadap kurva yang diperoleh, ditentukan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) dari rumus (Chapra, Steven C. dan Raymond P. Canale, 2002) :

$$R^2 = \frac{[n \sum (X1_i Y1_i) - \sum X1_i \sum Y1_i]^2}{[n \sum X1_i^2 - (\sum X1_i)^2] \cdot [n \sum Y1_i^2 - (\sum Y1_i)^2]} \dots\dots(2.28)$$

Harga R<sup>2</sup> maksimum adalah 1 dan bila R<sup>2</sup> = 1 artinya semua titik data pengamatan tepat berada pada garis kurvanya, yang secara eksperimen hal ini sulit diperoleh. Namun dapat diindikasikan bila nilai R<sup>2</sup> yang diperoleh mendekati nilai 1 maka titik data pengamatan tidak jauh menyimpang dari garis kurvanya. Sebaliknya dengan perkataan lain, bila nilai R<sup>2</sup> yang diperoleh jauh lebih kecil dari 1, maka titik data pengamatan akan jauh menyimpang dari garis kurvanya.

Pada pengukuran cuplikan pemancar sinar gama secara kuantitatif, efisiensi pada energi tertentu dapat ditentukan dari persamaan power  $Y = A X^B$  yang telah dihitung, selanjutnya dari hasil pengukuran (cps) dapat ditentukan radiokativitasnya (dps) melalui Persamaan 2.23.

Untuk mengetahui kinerja dari peralatan spektrometer gama yang digunakan, dibuat *control chart* dengan cara mengukur sumber standar radioaktif beberapa kali (misal  $n = 40$ ) pada posisi yang sama dan dicari simpangan bakunya (*Standard Deviation*, Sd) dari rumus :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.29)$$

dimana  $\bar{X}$  adalah nilai rata-rata pengamatan (Chapra, Steven C. dan Raymond P. Canale, 2002).

Sumber standar, yang diketahui energi dan aktivitasnya secara pasti dan teliti, digunakan sehingga dapat dibuat suatu kurva kalibrasi efisiensi. Sumber standar yang digunakan adalah  $^{60}\text{Co}$  dan  $^{137}\text{Cs}$ . Intensitas Y dari masing-masing energi sumber dapat dilihat pada tabel radionuklida. Sumber standar yang dicacah dalam waktu tertentu akan diperoleh luas puncak serapan total (cacah) dan cps dapat diketahui. Setelah efisiensi dari masing-masing energi diperoleh, kemudian diplot terhadap energi masing-masing sumber standar (NRCR Report, 1978).

## 2.8 Fasilitas Produksi Iodium-125 dan Sistem Keselamatannya

Bagian penting dari fasilitas meliputi kamar iradiasi, botol 60peluruhan, *cold finger*, alat ukur tekanan baik vakum maupun tekanan positif (*Bourdon Gauge / BG*), dan pompa vakum. Di dalam kamar iradiasi dengan volume 1 liter diletakkan di beam tube S1 reaktor G.A Siwabessy. Di dalam kamar iradiasi ini gas Xenon-124 diiradiasi menggunakan neutron. Skema fasilitas

produksi Iodium-125 menempel di reaktor G.A. Siwabessy (Gambar 2.6) (Japan Radioisotope Association, 1990).

Pemindahan gas Xenon dilakukan dengan *cryogenic system* menggunakan Nitrogen cair. Gas Xenon memiliki tekanan uap jenuh pada suhu 80 K sebesar 0,1 millitorr. Oleh karenanya, hampir seluruh gas Xenon dapat dipindahkan atau ditarik ke dalam wadah yang dibekukan dengan Nitrogen cair. Gas yang tersisa hanya bertekanan 0,1 millitor (Awaludin, Rohadi, 2006).

Kamar iradiasi diselimuti oleh gas helium dengan tekanan yang lebih tinggi dari tekanan di dalam kamar iradiasi. Hal ini dimaksudkan jika terjadi kebocoran pada kamar iradiasi, gas Xenon radioaktif tidak keluar, namun tertekan oleh gas helium dari luar yang bertekanan lebih tinggi. Kamar iradiasi diselimuti pula oleh air pendingin. Air pendingin ini digunakan untuk mendinginkan kamar iradiasi. Pada saat iradiasi neutron, reaksi inti disertai dengan pelepasan radiasi gama. Radiasi Gama ini tertangkap oleh material di sekitarnya dan menyebabkan panas yang dapat meningkatkan suhu kamar iradiasi. Peningkatan suhu ini diserap oleh air yang disirkulasi ke luar dan dihubungkan dengan pendingin.

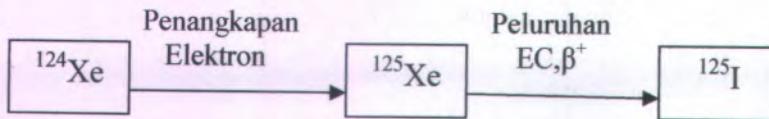
Botol peluruhan ditutup dengan timbal setebal 13 cm. Botol peluruhan merupakan tempat dengan paparan tertinggi pada saat Xenon-125 ditarik dari kamar iradiasi ke botol peluruhan. Radiasi yang dilepaskan dari peluruhan Xenon-125 menjadi I-125 ditahan oleh timbal tebal ini.

Sistem perpindahan gas secara keseluruhan ditutup menggunakan timbal setebal 2 cm. Timbal ini digunakan untuk menahan radiasi pada saat perpindahan gas radioaktif dan radioisotop yang tersisa di jalur perpindahan. Sistem perpindahan gas secara keseluruhan ditutup oleh fleksi gelas dan dihubungkan ke cerobong reaktor. Hal ini mengantisipasi jika seandainya ada kebocoran gas radioaktif. Gas tersebut tidak menyebar ke balai percobaan reaktor, namun dialirkan ke cerobong reaktor yang tinggi.

Sebelum pompa vakum diletakkan *Seledoid Valve*. *Valve* ini dihubungkan dengan detektor radiasi. *Valve* ini akan menutup secara otomatis jika detektor radiasi menangkap paparan radiasi dengan nilai tinggi. Hal ini untuk mencegah agar gas radioaktif tersedot ke pompa vakum. Jika ternyata ada gas radioaktif yang bergerak menuju pompa, *Valve* otomatis tertutup dan jalur ke pompa vakum terputus.

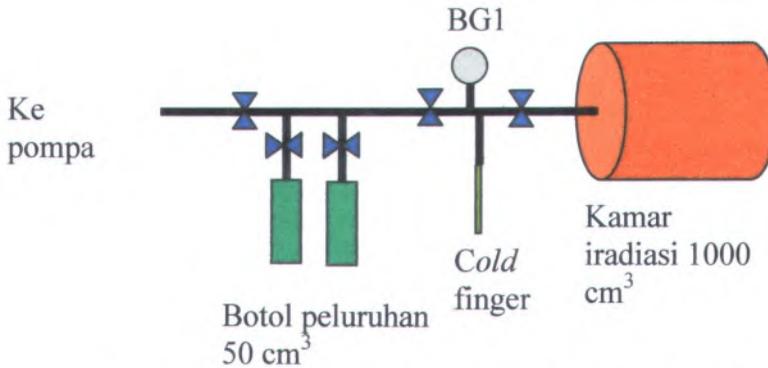
## 2.9 Pembuatan Radioisotop Iodium-125

Iodium-125 dibentuk dari sasaran isotop Xenon-124. Xenon-124 berubah menjadi Xenon-125 melalui penangkapan neutron sambil melepaskan radiasi gama atau dinyatakan dengan reaksi  $(n,\gamma)$ . Xenon-125 merupakan radioisotop dengan waktu paro 17 jam dan meluruh menjadi Iodium-125. Ada dua tipe peluruhan Xenon-125, yaitu *electron capture* (EC) dan beta positif. Kedua jenis peluruhan ini menghasilkan  $^{125}\text{I}$ .



Gambar 2.6 Reaksi pembentukan Iodium-125

Setelah terbentuk Xe-125, gas tersebut dipindahkan ke botol peluruhan agar Xe-125 tersebut meluruh menjadi I-125. Pompa vakum digunakan untuk mengeluarkan seluruh gas di dalam kamar iradiasi serta pipa-pipa penghubung. Pompa vakum digunakan juga memastikan bahwa kamar iradiasi, botol peluruhan serta sambungan di dalam sistem pengiriman gas tidak ada kebocoran. Iodium-125 yang telah terbentuk di botol peluruhan dilarutkan menggunakan NaOH encer untuk mendapatkan Iodium-125 dalam bentuk Natrium Iodida (NaI). Diagram proses produksi radioisotop I-125 dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema Fasilitas Produksi Iodium-125 yang Menempel di Reaktor G.A. Siwabessy

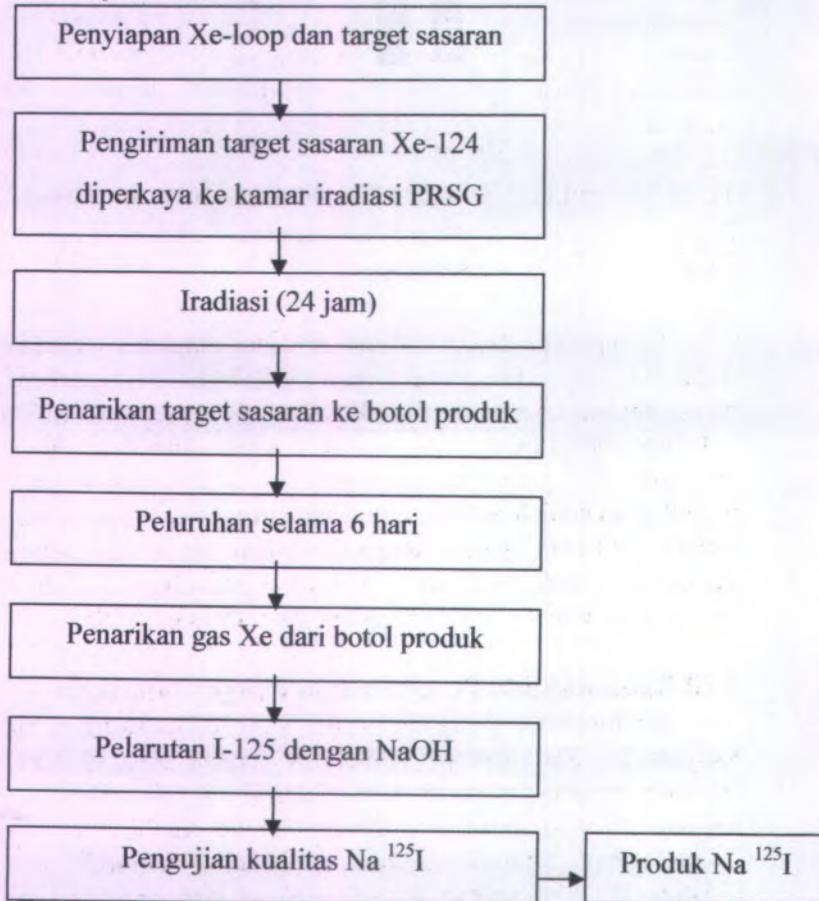
Uji produksi I-125 merupakan suatu rangkaian proses yang rumit karena reaksi yang terjadi adalah reaksi bertahap dan menggunakan sasaran berbentuk gas yang harganya relatif mahal. Sebelum melakukan uji produksi telah dilaksanakan suatu rangkaian uji fungsi sistem peralatan I-125. Tujuan dari uji produksi ini adalah untuk melihat apakah proses produksi berjalan dengan optimal, yaitu dengan melihat besarnya persentase perolehan (*yield*) I-125 dan I-125 yang dihasilkan apakah sudah sesuai persyaratan yang ditetapkan (Medi Physics, 1985).

## 2.10 Radionuklida Pengotor dan Pengendaliannya

Radionuklida pengotor utama yang dikhawatirkan adalah Iodium-126. Radioisotop ini memiliki waktu paro 13 hari dan meluruh dengan peluruhan beta. Radioisotop ini terbentuk dari Iodium-125 yang teriradiasi neutron. Setelah Xe-125 terbentuk di dalam kamar iradiasi, radioisotop tersebut meluruh menjadi Iodium-125. Radioisotop ini selanjutnya mendapatkan paparan

neutron dan menjadi Iodium-126. Reaksi inti ini memilikiampang lintang 894 barn.

Untuk mencegah bercampurnya radioisotop I-126 ke dalam produk I-125, pada saat memindahkan Xe-125 dari kamar iradiasi ke botol peluruhan, gas tersebut dilewatkan ke Iodium *filter*. Dengan demikian I-128 yang ikut terbawa dan tersaring di dalam Iodium *filter* ini.



Gambar 2.8 Diagram Proses Produksi Radioisotop I-125

Pengotor lain yang mungkin terbentuk adalah Cesium-137 dengan paro 30 tahun. Radioisotop ini Xe-136 yang terkandung di dalam sasaran. Xenon alam berubah menjadi Xenon-137 dari paparan neutron. Reaksi ini memiliki tampang lintang relatif kecil 0,15 barn. Selanjutnya Xe-137 meluruh dengan peluruhan beta menjadi Cs-137. Xe-136 terkandung sebanyak 8,9% di dalam Xenon alam. Sedangkan di dalam sasaran diperkaya kandungannya berkurang menjadi 1,5 %. Karena panjangnya waktu paro dan kecilnya tampang lintang reaksi inti pembentukannya, serta kecil kelimpahannya di dalam Xenon alam, maka Cs-137 yang dihasilkan sangat kecil.

Tabel 2.3 Kandungan Isotop pada Xenon Alam dan Diperkaya

Jenis isotop	Kandungan pada Xenon Alam (%Jumlah)	Kandungan pada Xenon Diperkaya (%Jumlah)	Tampang Lintang Reaksi Inti (b)
$^{124}\text{Xe}$	0	82	125
$^{126}\text{Xe}$	0	0	3,0
$^{128}\text{Xe}$	8	0	0,4
$^{129}\text{Xe}$	26	4	45
$^{130}\text{Xe}$	4	0	0,4
$^{136}\text{Xe}$	21	3	120
$^{132}\text{Xe}$	26	1	0,2
$^{134}\text{Xe}$	10	1	0,15
$^{131}\text{Xe}$	1	4	0,2

## 2.11 Pengenalan *Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows*

Memenuhi tuntutan dan keinginan *programmer* dan *user* yang mengharapkan bisa membuat dan menjalankan program komputer secara mudah (*user friendly*) dengan tampilan menu yang menarik, menyebabkan para pembuat *software* (misal *Microsoft*) berusaha mengeluarkan produk berupa *software* untuk

pemrograman visual. Beberapa *software* untuk pemrograman visual, diantaranya *Visual Basic*, *Visual C++* dan *Delphi*.

Beberapa kelebihan pemrograman visual dibandingkan pemrograman non visual atau berbasis DOS, diantaranya :

1. Bisa mendesain berbagai tampilan menu yang menarik (unsur keindahan atau estetika) dengan cara lebih mudah
2. Bisa menampilkan berbagai gambar, grafik, foto dan animasi (video)
3. Dalam pengoperasiannya banyak menggunakan *mouse* sehingga lebih mudah dan cepat

*Visual Basic 6.0* adalah bahasa pemrograman yang bekerja dalam lingkup *microsoft windows*. *Microsoft visual basic 6.0* dapat memanfaatkan kemampuan *microsoft windows* secara optimal. Kemampuannya dapat dipakai untuk merancang program aplikasi yang berpenampilan seperti program aplikasi lainnya berbasis *microsoft windows*. Beberapa istilah dan komponen *Visual Basic 6.0* yang dipakai dalam membuat program aplikasi yang perlu diketahui : *Project*, *Form*, *Toolbox*, *Properties*, Kode Program.

### **2.11.1 Project**

*Project* (proyek) adalah program aplikasi *Visual Basic 6.0* dan disimpan dalam *UBS* berakhiran \*.vbp (pada versi visual basic sebelumnya berakhiran \*.mak). *UBS* ini menyimpan seluruh komponen program dan segala sesuatu yang berhubungan dengan proyek. Jika kita membuat program aplikasi, akan terdapat jendela proyek, yang berisi semua *UBS* yang dibutuhkan untuk menjalankan program aplikasi *Visual Basic 6.0* yang dibuat. Pada saat kita membuat program aplikasi baru, maka jendela proyek otomatis berisi objek *form1*.

### **2.11.2 Form**

*Form* adalah suatu obyek yang dipakai sebagai tempat bekerja program aplikasi. *Form* berbentuk jendela dan dapat

dibayangkan sebagai kertas kerja atau layar yang dapat dilukisi atau diletakkan ke dalamnya obyek-obyek lain. Pada saat kita membuat suatu program aplikasi (proyek) baru, secara otomatis akan muncul satu *form* dan disebut *form1*. Nantinya dalam satu proyek dapat menggunakan lebih dari satu *form*. Pada saat *Visual Basic 6.0* dijalankan, *form* terletak di bagian tengah layar.

### 2.11.3 Toolbox

*Toolbox* adalah kotak alat yang berisi icon-icon untuk memasukkan obyek tertentu ke dalam *form*. Ketika kita mulai membuat suatu proyek, *Visual Basic 6.0* akan otomatis menyediakan *icon-icon* objek yang sering dipakai. Pada saat *Visual Basic 6.0* dijalankan, *toolbox* terletak di bagian kiri layar.

### 2.11.4 Properties

*Properties* digunakan untuk menentukan *setting* suatu objek. Suatu objek biasanya mempunyai beberapa *properties* yang dapat diatur langsung dari jendela *properties* atau lewat kode program. *Setting properties* akan menentukan cara kerja atau tampilan obyek yang bersangkutan saat program dijalankan. Pada saat *Visual Basic 6.0* dijalankan, *properties* terletak di bagian kanan layar. Kotak *properties* bisa tidak ditampilkan di layar (agar kotak *form* bisa tampak lebih lebar) dengan mengklik bagian "X" di kanan atas kotak *properties*, dan bila ingin dimunculkan kembali, tekan F4.

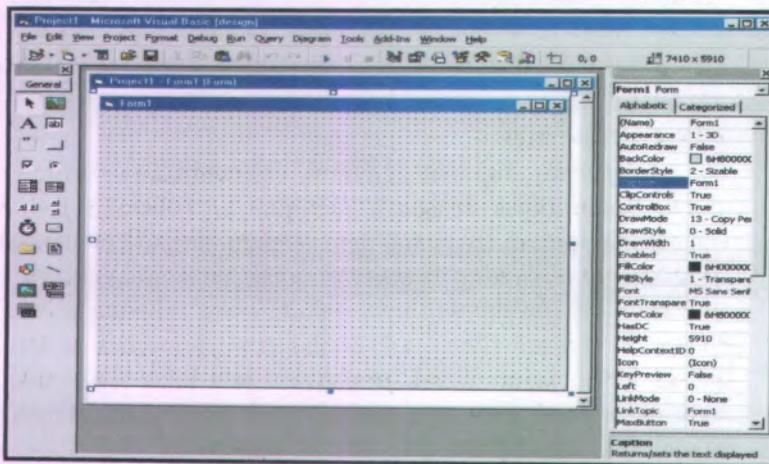
### 2.11.5 Kode Program

Kode program adalah serangkaian tulisan perintah yang akan dilaksanakan jika suatu objek dijalankan. Kode program ini akan mengontrol dan menentukan jalannya suatu objek. Bila dalam program yang dibuat dengan *Visual Basic 6.0* banyak menyangkut masalah perhitungan atau komputer, maka perintah-perintah itu dibuat dalam kode program ini.

## 2.12 Menjalankan Microsoft Visual Basic 6.0

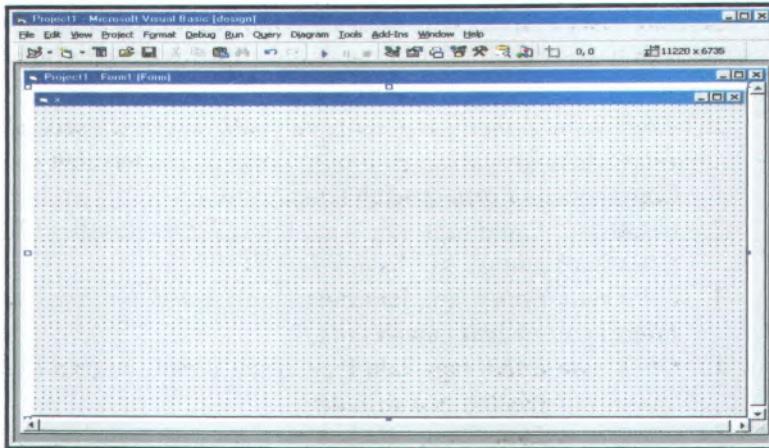
Bila belum ada *software Visual Basic 6.0*, maka harus di-*install (setup)* dulu *software Visual Basic 6.0* sebelum menjalankannya. Untuk menjalankan *Visual Basic 6.0*, lakukan tahap-tahap berikut :

1. *Click icon START* pada *Windows* (terletak di bagian kiri bawah)
2. *Click program*
3. Selanjutnya *Click Microsoft Visual Basic 6.0*
4. Maka akan tampak tampilan seperti Gambar 2.9 berikut ini.



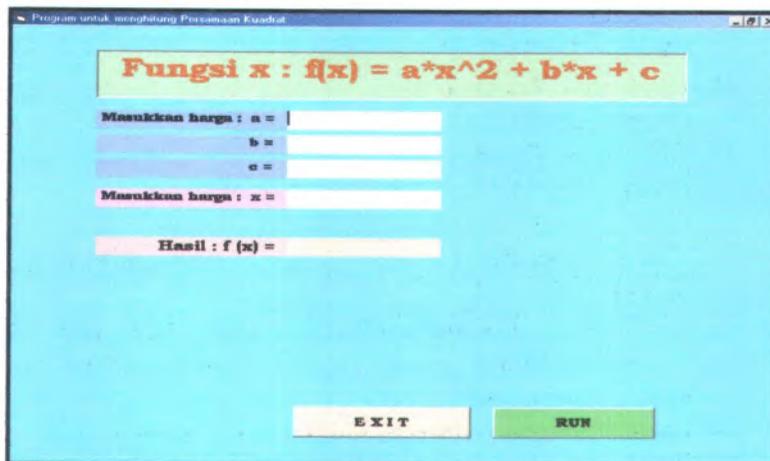
Gambar 2.9 Tampilan utama *Microsoft Visual Basic 6.0*

Bila diinginkan, bentuk *form* bisa dibuat layar lebar dengan menyembunyikan (mengklik tanda "X" di kanan atas) *Toolbox* dan *Properties*, sehingga tampak *form* dengan layar lebar seperti pada Gambar 2.10 di bawah ini



Gambar 2.10 Tampilan *form* dengan layar lebar

Di bawah ini akan ditunjukkan cara membuat program sederhana yaitu untuk menghitung dan menampilkan hasil persamaan kuadrat. Ketika program di-*run*, terlihat tampilan Gambar 2.11 di bawah ini :



Gambar 2.11 Tampilan Menu Program Persamaan Kuadrat

Setelah Visual Basic dijalankan dan muncul tampilan *form*, maka lakukan tahap-tahap berikut ini untuk membuat program yang dimaksud :

1. *Click* icon **Label** yang terdapat pada *Toolbox* (sebelah kiri *Form*) lalu tempatkan atau buat kotak *Label* tersebut (*Name* : *Label1*) pada *Form* sebelah tengah atas
2. *Click* icon **Label** lagi, lalu buat kotak *Label* tersebut (*Name* : *Label2*) di sebelah kiri bawah *Label1*
3. *Click* icon **Label** lagi, lalu buat kotak *Label* tersebut (*Name* : *Label3*) di sebelah bawah *Label2*
4. *Click* icon **Label** lagi, lalu buat kotak *Label* tersebut (*Name* : *Label4*) di sebelah bawah *Label3*
5. *Click* icon **Label** lagi, lalu buat kotak *Label* tersebut (*Name* : *Label5*) di sebelah bawah *Label4*
6. *Click* icon **Label** lagi, lalu buat kotak *Label* tersebut (*Name* : *Label6*) di sebelah bawah *Label5*
7. *Click* icon **TextBox**, lalu buat kotak *TextBox* tersebut (*Name* : *Text1*) di sebelah kanan *Label2*
8. *Click* icon **TextBox** lagi, lalu buat kotak *TextBox* tersebut (*Name* : *Text2*) di sebelah kanan *Label3*
9. *Click* icon **TextBox** lagi, lalu buat kotak *TextBox* tersebut (*Name* : *Text3*) di sebelah kanan *Label4*
10. *Click* icon **TextBox** lagi, lalu buat kotak *TextBox* tersebut (*Name* : *Text4*) di sebelah kanan *Label5*
11. *Click* icon **TextBox** lagi, lalu buat kotak *TextBox* tersebut (*Name* : *Text5*) di sebelah kanan *Label6*
12. *Click* icon **CommmandButton**, lalu buat kotak *CommmandButton* tersebut (*Name* : *Commmand1*) di sebelah bawah *form*
13. *Click* icon **CommmandButton** lagi, lalu buat kotak *CommmandButton* tersebut (*Name* : *Commmand2*) di sebelah kanan *Commmand1*
14. Lakukan *setting properties* untuk masing-masing obyek
15. Buat kode program seperti di bawah ini :

```
Private Sub Form_Load()
```

```
    Show
```

```
    Text1.Text = ""
```

```
    Text2.Text = ""
```

```
    Text3.Text = ""
```

```
    Text4.Text = ""
```

```
    Text5.Text = ""
```

```
    Text1.SetFocus
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
```

```
    If KeyAscii = 13 Then
```

```
        KeyAscii = 0
```

```
        A = Val(Text1.Text)
```

```
        If (A = 0 Or Text1.Text = "") Then
```

```
            Text1.Text = ""
```

```
            Text1.SetFocus
```

```
        Else
```

```
            Text2.SetFocus
```

```
        End If
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text2_KeyPress(KeyAscii As Integer)
```

```
    If KeyAscii = 13 Then
```

```
        KeyAscii = 0
```

```
        B = Val(Text2.Text)
```

```
        If Text2.Text = "" Then
```

```
            Text2.Text = ""
```

```
            Text2.SetFocus
```

```
        Else
```

```
            Text3.SetFocus
```

```
        End If
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text3_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 13 Then
        KeyAscii = 0
        C = Val(Text3.Text)
        If Text3.Text = "" Then
            Text3.Text = ""
            Text3.SetFocus
        Else
            Text4.SetFocus
        End If
    End If
End Sub
```

```
Private Sub Text4_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 13 Then
        KeyAscii = 0
        X = Val(Text4.Text)
        If (X = 0 Or Text4.Text = "") Then
            Text4.Text = ""
            Text4.SetFocus
        Else
            Y = A * X ^ 2 + B * X + C
            Text5.Text = Y
            Command2.SetFocus
        End If
    End If
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()
    End
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
    A = Val(Text1.Text)
    B = Val(Text2.Text)
```

```

C = Val(Text3.Text)
X = Val(Text4.Text)
Y = A * X ^ 2 + B * X + C
Text5.Text = Y
Commmmand1.SetFocus
End Sub

```

16. Pada *TaskBar* bagian atas *Click Project*, lalu *Click Add Module*. Tulis kode program: Global A, B, C, X *As Single* (Maksudnya agar variabel A, B, C dan X yang Formatnya *Single* dapat berlaku untuk seluruh bagian program atau *project*)
17. Jalankan program, maka akan tampil keluaran seperti pada Gambar 2.11 di atas. Coba masukkan nilai variabel yang diinginkan, misal : a = 5, b = 2, c = 4, x = 3, maka akan tampak hasil : f(x) = 55
18. *Default* nama program / *Project* adalah : *Project1*, untuk menyimpan *UBS* program dengan nama yang lain, *Click UBS* (kiri atas) lalu pilih *SAVE PROJECT1 AS .....*, lalu tulis nama program / *project* yang diinginkan (misal : kuadrat)
19. *Default* nama *Form* adalah : *Form1*, untuk menyimpan *UBS Form* dengan nama yang lain, *Click UBS* (kiri atas) lalu pilih *SAVE FORM1 AS .....*, lalu tulis nama *UBS* yang diinginkan (misal : kuadrat)
20. Untuk meng-*compile* program menjadi *execute* program ( *\*.vbp* → *\*.EXE*), *Click UBS* (kiri atas) lalu pilih *MAKE PROJECT1.EXE .....* (tentu saja bila nama *Project* sudah diganti dengan nama lain misal *Kuadrat* maka yang tampil / pilih *MAKE KUADRAT.EXE .....*
21. Setelah program *dcompile* (*\*.EXE*) maka program bisa langsung dijalankan tanpa harus menjalankan dulu *Visual Basic*.

Tabel 2.4 *Setting Properties* pada Obyek

<b>Obyek</b>	<b>Properties</b>	<b>Setting</b>
<i>Form</i>	<i>Name</i>	<i>Form1 (default)</i> (Boleh saja memberi nama <i>Form</i> dengan nama yang lain. misal : kuadrat)
	<i>Caption</i>	Program untuk menghitung Persamaan Kuadrat (atau kata-kata lain yang diinginkan)
	<i>BackColor</i>	Biru muda (atau sesuai dengan warna latar belakang yang diinginkan)
	<i>WindowState</i>	2 – <i>Maximize</i> (maksudnya agar pada saat program di- <i>run</i> , maka tampilan <i>Form</i> akan selayar penuh)
<i>Label</i>	<i>Name</i>	<i>Label1 (default)</i>
	<i>Font</i>	<i>Font : Bookman Old Style</i> <i>FontStyle : Bold</i> <i>Size : 26</i> (atau <i>setting</i> lain yang sesuai dengan selera yang diinginkan)
	<i>ForeColor</i>	Coklat (atau sesuai dengan warna <i>text</i> yang di- <i>inginkan</i> )
	<i>Caption</i>	Fungsi x : $f(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$

	<i>BackColor</i>	Hijau muda (atau sesuai dengan warna latar belakang yang diinginkan)
	<i>BorderStyle</i>	1 – <i>Fixed Single</i> (maksudnya agar obyek <i>Label 1</i> diberi border)
<i>Label</i>	<i>Name</i>	<i>Label2 (default)</i>
	<i>Font</i>	<i>Font : Bookman Old Style</i> <i>FontStyle : Bold</i> <i>Size : 12</i> (atau <i>setting</i> lain yang sesuai dengan selera yang diinginkan)
	<i>Caption</i>	Masukkan harga : a =
	<i>BackColor</i>	Ungu (atau sesuai dengan warna latar belakang yang diinginkan)
<i>Label</i>	<i>Name</i>	<i>Label3 (default)</i>
	<i>Font</i>	Idem seperti pada <i>Label2</i>
	<i>Caption</i>	b =
	<i>BackColor</i>	Ungu (atau sesuai dengan warna latar belakang yang diinginkan)
<i>Label</i>	<i>Name</i>	<i>Label4 (default)</i>
	<i>Font</i>	Idem seperti pada <i>Label2</i>
	<i>Caption</i>	c =

	<i>BackColor</i>	Ungu (atau sesuai dengan warna latar belakang yang diinginkan)
<i>Label</i>	<i>Name</i>	<i>Label5 (default)</i>
	<i>Font</i>	Idem seperti pada <i>Label2</i>
	<i>Caption</i>	Masukkan harga : x =
	<i>BackColor</i>	Jingga (atau sesuai dengan warna latar belakang yang diinginkan)
<i>Label</i>	<i>Name</i>	<i>Label6 (default)</i>
	<i>Font</i>	Idem seperti pada <i>Label2</i>
	<i>Caption</i>	Hasil : f(x) =
	<i>BackColor</i>	Coklat (atau sesuai dengan warna latar belakang yang diinginkan)
<i>TextBox</i>	<i>Name</i>	<i>Text1 (default)</i>
	<i>Font</i>	Idem seperti pada <i>Label2</i>
	<i>BackColor</i>	Putih (atau sesuai dengan warna latar belakang yang diinginkan)
<i>TextBox</i>	<i>Name</i>	<i>Text2 (default)</i>
	<i>Font</i>	Idem seperti pada <i>Label2</i>
	<i>BackColor</i>	Idem seperti pada <i>Text1</i>
<i>TextBox</i>	<i>Name</i>	<i>Text3 (default)</i>
	<i>Font</i>	Idem seperti pada <i>Label2</i>
	<i>BackColor</i>	Idem seperti pada <i>Text1</i>

TextBox	<i>Name</i>	<i>Text4 (default)</i>
	<i>Font</i>	Idem seperti pada <i>Label2</i>
	<i>BackColor</i>	Idem seperti pada <i>Text1</i>
TextBox	<i>Name</i>	<i>Text5 (default)</i>
	<i>Font</i>	Idem seperti pada <i>Label2</i>
	<i>BackColor</i>	Idem seperti pada <i>Text1</i>
CommmandButton	<i>Name</i>	<i>Commmand1 (default)</i>
	<i>Caption</i>	E X I T (bila <i>Commmand Button</i> ini di <i>Click</i> maka program akan berakhir, dengan menulis <i>END</i> pada kode program)
	<i>Style</i>	2 – <i>Graphical</i>
	<i>BackColor</i>	Coklat (atau sesuai dengan warna latar belakang yang diinginkan)
CommmandButton	<i>Name</i>	<i>Commmand2 (default)</i>
	<i>Caption</i>	<i>RUN</i>
	<i>Style</i>	2 – <i>Graphical</i>
	<i>BackColor</i>	Hijau (atau sesuai dengan warna latar belakang yang diinginkan)

(Petroutsos, Evangelos, 1998)

### 2.13 Sifat Bahan Xenon-124

Isotop Xe-124 di alam memiliki kelimpahan sebesar 0,10 %, maka untuk mendapatkan Xe-125 dengan radioaktivitas yang tinggi diperlukan Xenon dengan kandungan Xenon-124 yang lebih tinggi (Xenon yang diperkaya).

### 2.14 Sifat Produk Iodium-125 ( $^{125}\text{I}$ )

Bentuk kimianya  $\text{Na } ^{125}\text{I}$ , memiliki waktu paruh 59,91 hari, termasuk aktivitas jenis bebas pengemban (*carrier free*), konsentrasi radioaktif  $> 500 \text{ mCi } ^{125}\text{I} / \text{mL}$ , kemurnian radionuklida  $> 99,9 \% ^{125}\text{I}$  (*exclusive of } ^{126}\text{I}), pengotor radionuklida mempunyai sifat konsentrasi  $^{126}\text{I} < 0.005 \%$  dari konsentrasi  $^{125}\text{I}$  dan konsentrasi pengotor  $< 0,1\%$  dari konsentrasi  $^{125}\text{I}$ , kemurnian radiokimianya  $> 98,0 \% ^{125}\text{I}$  sebagai iodida, dan pHnya 8-11. Aplikasi atau kegunaan  $^{125}\text{I}$  adalah sebagai *radiolabeling* dalam *radioimmunoassay*, *osteoporosis detection*, *diagnostic imaging*, *brain cancer treatment*, *mapping of receptors in the brain*, dan *interstitial radiation therapy for treatment of prostate cancer* (Mediphysics, 1985).*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah satu set spektrometer gama dengan detektor HPGe (*High Purity Germanium*) dari Canberra Industries Inc. yang dilengkapi komputer PC dengan memori 1024 MB RAM, prosesor Intel(R) Core (TM) 2 Duo 2.20 GHz dan *harddisk* 80 GB. Untuk pengembangan program komputernya digunakan perangkat lunak *Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows*.



Gambar 3.1 Peralatan Spektrometer Gama

### 3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sumber standar radioaktif untuk pembuatan kurva kalibrasi efisiensi, seperti yang terlihat pada Tabel 3.1 di bawah ini. Semua sumber standar radioaktif ini buatan Du Pont.

Tabel 3.1 Beberapa Jenis Sumber Standar Radioaktif yang Digunakan

No.	Radionuklida	Energi (keV)	Intensitas (%)
1	Ba-133	302,85	18,4
		356,01	61,9
2	Cs-137	661,64	86,0
3	Co-60	1173,23	99,88
		1332,51	100,0

### 3.3 Prosedur Kerja

#### 3.3.1 Pengoperasian Spektrometer Gama

*Power Supply* dan *High Voltage (HV)* (tombol yang ada di belakang) dihidupkan ke *ON*, lampu detektor dilihat harus berwarna hijau (*COLD*). Jika lampu berwarna kuning (*WARM*), *MCA* tidak dapat dioperasikan, lakukan pengisian nitrogen cair terlebih dahulu. Jika lampu detektor warna hijau (*COLD*), *MCA* dapat dioperasikan lebih lanjut. Tombol *Dual HV Supply* dihidupkan ke posisi *ON* (tombol ada didepan). Tegangan dinaikkan secara perlahan-lahan ( $\pm 10$  v) sampai mencapai 1.8 KV (1800 VOLT) lalu tombol *Dual HV Supply* dikunci.

Komputer dihidupkan kemudian program *short cut to MCA* diklik. Setelah program terbuka, *File* diklik, *Open Datasource* diklik, *DET 01* diklik lalu *OK (Enter)* ditekan. Waktu *counting* ditentukan, *MCA* diklik, *Acquire Set up* diklik (waktu *counting*, yang diinginkan, ditentukan, misal 300 detik) kemudian di-*OK (enter)*.

Pencacahan dimulai dengan cara Sumber Standar Radioaktif, yang akan dicacah, dimasukkan ke detektor kemudian *Start* diklik (alat akan beroperasi secara otomatis selama waktu yang ditentukan). Puncak (*Peak*), hasil pencacahan, ditandai dengan gerakan tanda “ $\uparrow$ ” ke puncak yang diinginkan (kanan dan kirinya), kemudian *Display, ROIs*, dan *add ROI* diklik.

Besar cacahan (*NET AREA*) dapat dilihat di *MARKER INFO*, begitu juga untuk waktu pencacahan dapat dilihat di *TIME*

*INFO* dengan cara tombol *NEXT* atau *PREV* digerakkan. Hasil pencacahan dapat disimpan dengan cara *File* diklik, *Save As*, lalu *File Name* diisi dalam bentuk *.CNF*. Jika sudah selesai, *File* diklik, lalu *Exit*.

Peralatan *MCA* dimatikan dengan cara *Dual HV Supply* diturunkan kembali secara perlahan-lahan kembali (lampu detektor selama penurunan tegangan harus tetap berwarna Hijau atau *COLD*) sampai nol dan dikunci. Lalu tombol *ON*, yang berada di depan diturunkan ke *OFF*. Tombol *Power HV* (panel belakang) dimatikan ke *OFF*. Komputer di-*shut down* lalu seluruh *POWER SUPPLY* dimatikan ke *OFF*.

### 3.3.2 Pembuatan Kalibrasi Efisiensi pada Spektrometer Gama

Untuk pembuatan kurva kalibrasi efisiensi dilakukan pengukuran sumber standar radioaktif yang diketahui radioaktivitasnya (dps). Dari spektrum gama dapat diketahui cps (*counts per second*) dari setiap puncak pada energi tertentu dengan mencari *net area* dari puncak tersebut dibagi dengan *counting time* (dalam detik). Dengan demikian dapat dicari kurva kalibrasi efisiensinya

Sumber standar radioaktif (Ba-133, Co-60, dan Cs-137), yang diketahui  $E\delta$ , intensitas, dan radioaktivitas (Bq atau Dps), dihitung radioaktivitasnya saat pengukuran, diukur, didapatkan *Net Area*, dihitung *Cps*, dihitung efisiensi setiap energi. Lalu dibuat kalibrasi efisiensi dan didapatkan kurvanya.

### 3.3.3 Pengukuran Cuplikan Radionuklida pada Spektrometer Gama

Cuplikan diukur sehingga didapatkan *Net Area* pada tertentu, dihitung *Cps*, dihitung efisiensi pada  $E\delta$  tersebut dengan kalibrasi efisiensi pada geometri yang sesuai, maka didapatkan radioaktivitas pengotor radionuklida tersebut lalu dihitung dalam satuan  $\mu\text{Ci}$  atau Bq.



VI BRB  
HARIT ON PEMPARRAN

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Data Pengamatan

Sebelum peralatan spektrometer gama digunakan untuk pengukuran radionuklida, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi efisiensi menggunakan sumber radioaktif standar. Sumber standar radioaktif yang biasa digunakan di PRR untuk pembuatan kurva kalibrasi efisiensi dapat dilihat pada Tabel 3.1. Kalibrasi efisiensi dilakukan terhadap ke 5 geometri atau posisi, yaitu rak 1 sampai rak 5. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Energi dan Efisiensi Pengukuran Sumber Standar Radioaktif pada Berbagai Geometri atau Posisi

Geo/ Posisi	Energi (keV)	Efisiensi	Keterangan
Sumber Titik/ Rak 1	302.85	0,015224	Persamaan <i>Power</i> yang didapat : $Y = 4,51147X^{-9,972046E-01}$ Koefisien determinasi : $R^2 = 0,99985338$
	356.01	0,012889	
	661.64	0,006846	
	1173.23	0,003939	
	1332.51	0,003467	
Sumber Titik/ Rak 2	302.85	0,008471	Persamaan <i>Power</i> yang didapat : $Y = 1,98399X^{-9,554254E-01}$ Koefisien determinasi : $R^2 = 0,99994318$
	356.01	0,007239	
	661.64	0,003983	
	1173.23	0,002333	
	1332.51	0,002045	
Sumber Titik/ Rak 3	302.85	0,005414	Persamaan <i>Power</i> yang didapat : $Y = 1,28719X^{-9,577867E-01}$
	356.01	0,004646	
	661.64	0,002544	

	1173.23 1332.51	0,001472 0,001318	Koefisien determinasi : $R^2 = 0,99993440$
Sumber Titik/ Rak 4	302.85 356.01 661.64 1173.23 1332.51	0,005414 0,004646 0,002544 0,001472 0,001318	Persamaan <i>Power</i> yang didapat : $Y=7,73465E-01X^{-9,577867E-01}$ Koefisien determinasi : $R^2 = 0,99993440$
Sumber Titik/ Rak 5	302.85 356.01 661.64 1173.23 1332.51	0,002724 0,002335 0,001268 0,000761 0,000663	Persamaan <i>Power</i> yang didapat : $Y=6,12798E-01X^{-9,485747E-01}$ Koefisien determinasi : $R^2 = 0,99973458$

#### 4.1.2 Perhitungan pada Sistem Komputerisasi Radioisotop I-125

##### Data 1 dengan Nama File 20080611.DAT (Perhitungan secara Manual)

Diketahui :

Data I-125 :

Ao (Radioaktivitas)	= 193.948 mCi/mL
Date (mm-dd-yy)	= 06-10-2008
Time (hh:mm)	= 14:15
$T_{1/2}$ I-125 (Waktu Paruh)	= 59.99 hari
	= 59.99*24 jam

Data Pengukuran dengan Spektrometer Gama:

Jumlah Puncak/ <i>Peak</i>	= 1
CT ( <i>Counting Time</i> )	= 300 s
Volum Cuplikan yang diukur	= 0.01 mL
Date (mm-dd-yy)	= 06-10-2008
Time (hh: mm)	= 15:00

*Calibration Time :*

Date (mm-dd-yy)	= 06-11-2008
Time (hh:mm)	= 09:00
Radioaktivitas I-125 mCi/mL	= 1.92203E+02
t (selisih wkt I-125 dg kalibrasi)	= 18 jam 45 menit
	= 18 + (45/60) jam

## Nuklida I-126:

$T_{1/2}$ I-126 (Waktu Paruh)	= 13 hari
	= 13 * 24 jam
Energi	= 388.6 kEv
I (Intensitas)	= 34.7 % = 0.347
NA (Net Area)	= 44721
t (selisih wkt pengukuran dg kalibrasi)	= 18 jam

## Pada Posisi Rak 1 dan Geometri 1

A	= 4.51147
B	= -0.997204
X = Energi	= 388.6 kEv

## Ditanya:

- Radonuklida I-126 ( $\mu\text{Ci} / \text{mCi}$ )?
- Persentase (%) I-126?

## Jawab:

- Menghitung Efisiensi (Y)

Persamaan Grafik Linier :

$$Y = A * X^B$$

$$= 4.51147 * 388.6^{-0.9972046}$$

$$Y = 1.180471 \text{ E-02}$$

Maka didapat nilai Effisiensi Y ialah 1.180471 E-02

- Menghitung Radioaktivitas Akhir I-125 (At I-125)

$$\begin{aligned} \text{At I-125} &= \text{Ao} * e^{-\lambda t} \text{ dimana } \lambda = \ln 2 / T_{1/2} \text{ I-125} \\ &= 193.948 \text{ mCi/mL} * e^{(-0.693 / 59.99 * 24 \text{ jam}) * (18 + (45/60) \text{ jam})} \end{aligned}$$

$$\text{At I-125} = 192.2028 \text{ mCi}$$

Maka nilai At I-125 adalah 192.2028 mCi

- Menghitung Aktivitas Awal (Ao) I-126 saat Pengukuran

Dimana Ao I-126 = DPS

$$\text{DPS} = (\text{NA}/\text{CT}) / (\text{Y} * \text{I})$$

$$= (44721/300) / (1.180471\text{E-}02 * 0.347) * \frac{37000}{1000} * 100 \mu\text{Ci}$$

$$\text{DPS} = 98.35661 \mu\text{Ci}$$

Jadi nilai Ao I-126 atau DPS ialah 98.35661  $\mu\text{Ci}$

- Menghitung Aktivitas Akhir I-126 saat kalibrasi

$$\begin{aligned} \text{At I-126} &= \text{Ao I-126} * e^{-\lambda t} \text{ dimana } \lambda = \ln 2 / T_{1/2} \text{ I-126} \\ &= 98.35661 \mu\text{Ci} * e^{(-0.693 / 13 * 24 \text{ jam}) * 18 \text{ jam}} \end{aligned}$$

$$\text{At I-126} = 94.50101 \mu\text{Ci}$$

Jadi nilai At I-126 yaitu 94.50101  $\mu\text{Ci}$

-Menghitung Radonuklida I-126 ( $\mu\text{Ci} / \text{mCi}$ )

$$\begin{aligned} \text{I-126} (\mu\text{Ci} / \text{mCi}) &= \text{At I-126 saat kalibrasi} / \text{At I-125} \\ &= 94.50101 / 192.2028 \end{aligned}$$

$$\text{I-126} (\mu\text{Ci} / \text{mCi}) = 4.91674\text{E-}01 \mu\text{Ci} / \text{mCi}$$

Jadi nilai radionuklida I-126 adalah 4.91674E-01  $\mu\text{Ci} / \text{mCi}$

- Menghitung Persentase (%) I-126

$$\begin{aligned} \% \text{ I-126} &= (\text{At I-126 saat kalibrasi} / (\text{At I-125} * 1000)) * 100\% \\ &= 4.91674\text{E-}02 \% \end{aligned}$$

Jadi nilai Persentase (%) I-126 yaitu 4.91674E-02 %

Untuk data 2 (nama file 20080708.DAT) dan data 3 (nama file 20090220.DAT) dengan menggunakan cara yang sama secara manual seperti di atas maka didapatkan hasil sebagai berikut:

**Data 2 (Nama File 20080708.DAT)**

Nilai Radionuklida I-126 adalah  $4.32405E-01 \mu\text{Ci} / \text{mCi}$

Nilai Persentase (%) I-126 adalah  $4.32405E-02 \%$

**Data 3 (Nama File 20090220.DAT)**

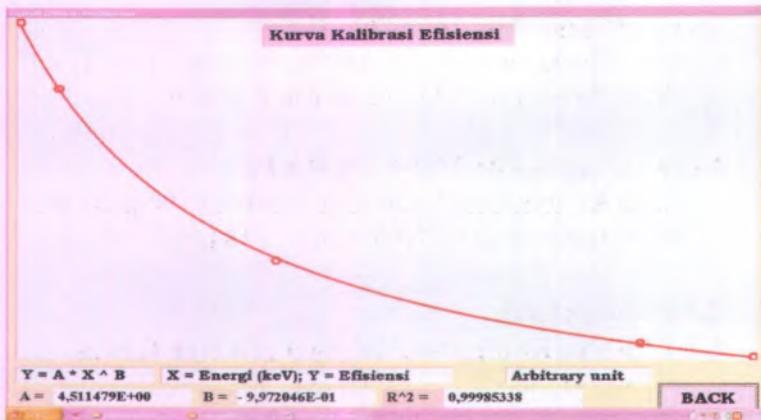
Nilai Radionuklida I-126 yaitu  $7.21841E+00 \mu\text{Ci} / \text{mCi}$

Nilai Persentase (%) I-126 yaitu  $7.21841E-01 \%$

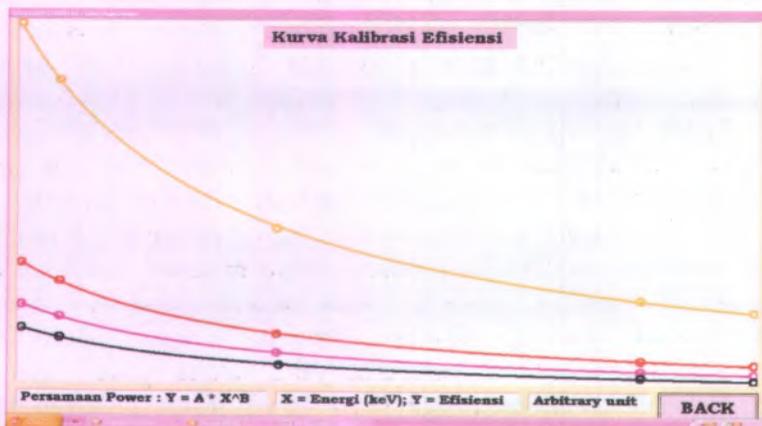
**4.2 Pembahasan****4.2.1 Sistem Komputerisasi Spektrometer Gama**

Pada Tabel 4.1 ditampilkan hasil pengukuran sumber standar radioaktif yang telah dilakukan dan dihitung efisiensi untuk masing-masing energi yang diketahui. Dari percobaan awal yang telah dilakukan, diketahui bahwa kurva kalibrasi efisiensi yang sesuai adalah menggunakan persamaan power. Terlihat pada Gambar 4.1 di bawah ini untuk posisi rak 1 (jarak yang paling dekat antara sumber standar radioaktif dengan detektor), bila menggunakan persamaan power diperoleh  $R^2 = 0.9996$  dan titik data pengamatan tidak jauh menyimpang dari garis kurvanya. Sedangkan bila menggunakan persamaan eksponensial diperoleh  $R^2 = 0.9679$  dan titik data pengamatan agak jauh menyimpang dari garis kurvanya. Demikian juga untuk posisi rak lainnya.

Perhitungan dan visualisasi kurva persamaan power dan persamaan eksponensial menggunakan program komputer yang telah dibuat sebelumnya. Untuk selanjutnya kurva kalibrasi efisiensi dihitung sebagai persamaan power. Bila hasil perhitungan kalibrasi efisiensi yang tertera pada Tabel 4.1 divisualisasikan pada satu skala grafik maka diperoleh kurva seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.1 Kurva Persamaan Power dan Persamaan Eksponensial dari Kalibrasi Efisiensi Posisi Rak 1



Gambar 4.2 Visualisasi Kurva Kalibrasi Efisiensi pada Berbagai Posisi (Rak1 sampai Rak 5)

Program komputer yang dikembangkan untuk perhitungan kalibrasi efisiensi, *control chart* dan pengukuran radionuklida pada spektrometer gama ini menggunakan bahasa pemrograman

*Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows*. Tampilan menu utama seperti terlihat pada Gambar 4.3. Terdapat beberapa pilihan menu untuk pemakai spektrometer gama, yang dibuat sedemikian rupa agar pemakai bisa mengoperasikan paket program ini seefisien mungkin. Bila pemakai ingin mencari dan menampilkan data yang telah disimpan, bisa mendapatkannya dengan mengklik data yang diinginkan seperti tampak pada menu Gambar 4.4 di bawah ini.

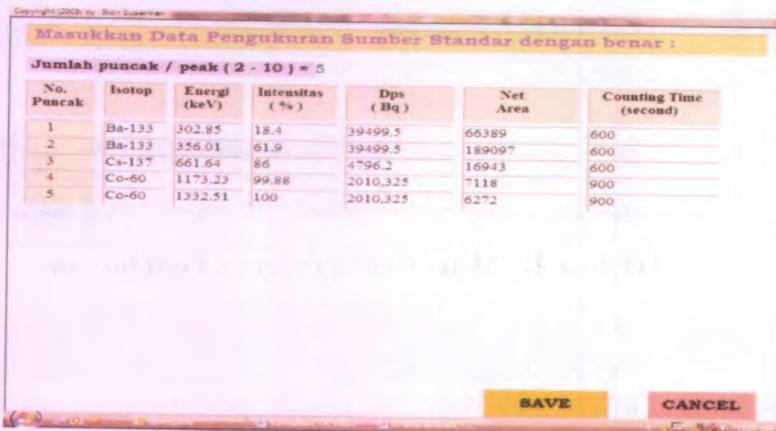


Gambar 4.3 Menu Utama Program Perhitungan Spektrometri Gama

Dalam memasukan data, juga dibuat sedemikian rupa agar pemakai bisa memasukkan data dengan cepat. Bila ada kesalahan dalam memasukan data sebelumnya, tinggal *cursor* diletakkan pada kolom data yang ingin diperbaiki, jadi tidak perlu mengulang program dari awal. Gambar 4.5 di bawah menampilkan menu pemasukan data pengukuran sumber standar radioaktif. Setelah data dimasukkan, efisiensi dari tiap energi langsung dihitung melalui Persamaan 2.23 dan disimpan dengan nama data yang diinginkan.



Gambar 4.4 Menu untuk Mencari dan Menampilkan Data yang Diinginkan



Gambar 4.5 Menu untuk Pemasukan Data Kalibrasi Efisiensi

Pada pengukuran cuplikan radioaktif, setelah pemasukan data hasil pengukuran akan langsung dihitung radioaktivitasnya dalam satuan  $\mu\text{Ci}$  dan Bq. Pada Gambar 4.6 di bawah dapat dilihat menu pemasukan data pengukuran cuplikan radioaktif dan

hasil perhitungan radioaktivitasnya. Pada menu ini terdapat pula opsi untuk mencetak hasil keluaran ke printer.

**Masukkan Data Pengukuran Sampel dengan benar :**

Jumlah puncak / peak (maksimum = 10) = 4      Counting time (s) = 1800

Judul = Pengukuran pengotor radioaktif

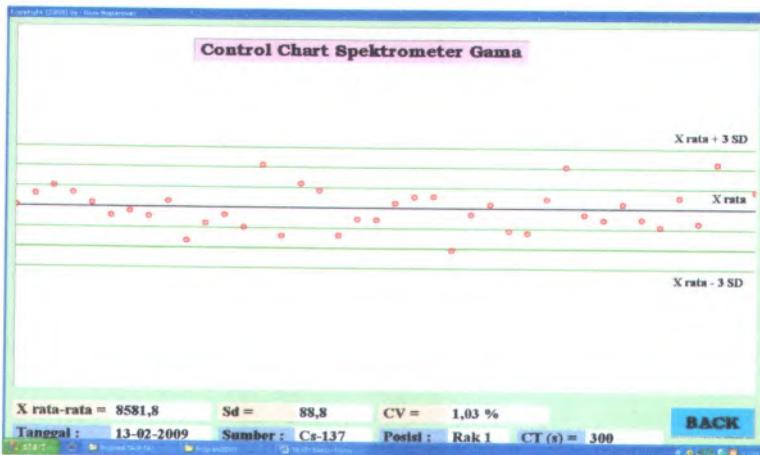
Faktor pengenceran = 100 kali

No. Puncak	Isotop	Energi (keV)	Intensitas (%)	Net Area	Efisiensi	Radioaktivitas uCi	Bq
1	Is-126	388.60	34.70	6210	1.233640E-02	2.178208E-02	8.059369E-02
2	Mn-99	759.10	12.14	5250	6.109329E-03	1.009214E-01	3.731203E 03
3	Cs-137	661.64	86.0	4200	7.176849E-03	1.021746E-02	3.780459E-02
4	I-131	364.49	82.4	6330	1.316751E-02	8.750891E-03	3.241160E-02

SIAPKAN PRINTER DAN KERTAS :

OK      CANCEL      PRINT      CANCEL

Gambar 4.6 Menu Pemasukan Data Pengukuran Cuplikan Radioaktif



Gambar 4.7 Kurva *Control Chart* (Sumber Standar Cs-137,  $n = 40$ )

Gambar 4.7 di atas memperlihatkan hasil pengukuran sumber standar radioaktif Cs-137 yang dilakukan sebanyak 40 kali pada posisi yang sama dan dihitung simpangan bakunya menggunakan Persamaan 2.29.

Dari *control chart* ini dapat dilihat simpangan baku dalam bentuk koefisien variasi (*Coefficient of Variation*, CV) sebesar 0.49 %. Nilai CV (persentase simpangan baku terhadap nilai rata-rata) yang relatif kecil ini menunjukkan ketelitian peralatan spektrometer gama yang digunakan relatif tinggi. Selanjutnya *control chart* ini dapat digunakan pada setiap pemakaian peralatan spektrometer gama dengan terlebih dahulu mengukur sumber standar Cs-137. Bila hasil pengukuran sumber standar ini (setelah dikoreksi terhadap waktu yang sama ketika *control chart* dibuat) berada dalam rentang  $\bar{x} \pm 3 S_d$ , maka kondisi peralatan spektrometer gama dalam kondisi baik dan siap digunakan untuk pengukuran. Sumber standar radioaktif yang digunakan untuk pembuatan *control chart* dipilih Cs-137 didasarkan pertimbangan waktu paruh Cs-137 yang relatif panjang (30.4 tahun) sehingga bisa digunakan untuk jangka waktu lama. Tapi bila ada perubahan kondisi (*setting*) peralatan spektrometer gama, maka *control chart* perlu diperbarui. Demikian juga terhadap kurva kalibrasi efisiensi selalu diperbarui setiap 3 bulan atau bila ada perubahan *setting* peralatan spektrometer gama (Website Idaho National Laboratory (INL), 2008).

Program komputer yang dikembangkan untuk perhitungan pengukuran spektrometer gama, dibuat sedemikian rupa agar pemakai dapat melakukan pemasukan, penyimpanan dan pemanggilan data secara efisien. Keluaran yang dihasilkan bukan hanya dalam bentuk nilai angka, juga bisa dalam bentuk visualisasi grafik. Dilengkapi dengan penggunaan password, penampilan logo, dan waktu untuk membantu pemakai. Juga terdapat informasi lain dalam bentuk gambar atau video untuk membantu pemakai bila ada yang ingin diketahui sehingga pemakai bisa lebih memahami bidang pekerjaannya. Pada program komputer yang dibuat ini, dikembangkan juga *source*

*code* yang memungkinkan program ini bisa dijalankan menggunakan komputer dengan resolusi yang berbeda tapi tampilan program tidak akan mengecil atau terpotong. *Listing source code* disusun terpisah dari makalah ini.

#### 4.2.2 Sistem Komputerisasi Radioisotop I-125

Sistem Komputerisasi Radioisotop I-125 ini dibuat dengan menggunakan pemrograman Microsoft Visual Basic for Windows 6.0. Hampir sama dengan pemrograman yang dikembangkan pada perhitungan pengukuran spektrometer gama di atas, diantaranya sistem pemrosesan data, sistem dokumentasi dan informasi, dan perekaman (*recording*). Program komputer ini juga dibuat dengan tujuan agar pemakai dapat memasukkan, menyimpan, dan memanggil data yang tersimpan secara efektif dan efisien. Keluaran menu utama sistem komputerisasi radioisotop I-125 dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Menu utama Program Sistem Komputerisasi Radioisotop I-125

Tampilan menu yang pertama adalah keluaran tampilan menu utama program komputerisasi radioisotop I-125 ini

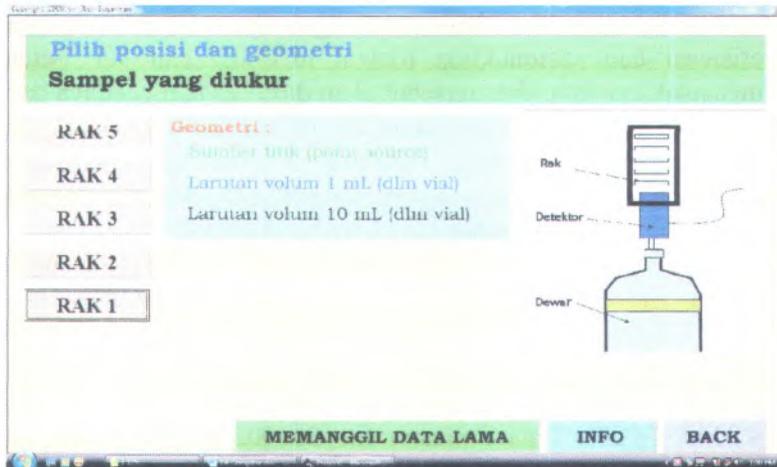
terdapat penampilan logo, waktu, serta informasi lain dalam bentuk gambar atau video yang dapat membantu pemakai. Tiga pilihan utama yang disajikan adalah sistem pemrosesan data, sistem dokumentasi dan informasi, dan perekaman (*recording*). Di setiap menu pilihan pertama ini terdapat pilihan-pilihan lain yang tersedia dengan mengklik *icon* yang akan dipilih, seperti yang terlihat pada Gambar 4.8.

#### 4.2.2.1 Sistem Pemrosesan Data

Pemakai jika ingin melakukan perhitungan yang berkaitan dengan radioisotop I-125 dapat menggunakan dan memilih menu sistem pemrosesan data yang ada pada menu utama ini. Pemakai akan dibawa ke menu selanjutnya untuk proses lebih lanjut, seperti menu yang terdapat pada Gambar 4.9.

Pada menu ini pemakai bebas memilih posisi rak dan geometri radioisotop I-125 yang telah dilakukan pengukuran pada spektrometer gama sebelumnya. Pada menu ini juga terdapat fasilitas memanggil data lama yang telah tersimpan sebelumnya. Selain itu juga terdapat menu untuk melihat info tinjauan pustaka mengenai pemrosesan data radioisotop I-125. Menu ini juga menampilkan gambar sebagian dari peralatan spektrometer gama, yaitu rak, detektor, dan dewar atau tabung nitrogen cair. Menu "Back" untuk kembali ke menu awal atau menu utama.

Menu berikutnya dapat diakses jika pemakai memilih posisi rak dan geometri yang diinginkan. Lalu pemakai akan diperintahkan untuk memasukkan data-data pengukuran dengan benar, diantaranya data radioisotop I-125 berupa radiaktivitas dalam satuan  $\mu\text{Ci}/\text{mCi}$ , tanggal, dan waktu pengukuran. Data pengukuran dengan spektrometer gama berupa jumlah atau *peak* dengan *range 1-5 peak*, waktu cacahan atau *counting time* dalam satuan waktu sekon (s), volume cuplikan yang diukur dalam satuan volum mililiter (mL), tanggal dan waktu pengukuran dengan spektrometer gama. Waktu kalibrasi (*calibration time*) berupa tanggal dan jam pada saat mengkalibrasi.



Gambar 4.9 Menu untuk Memilih Posisi dan Geometri serta Menampilkan Data Tersimpan yang Diinginkan



Gambar 4.10 Menu untuk Menghitung Efisiensi dan Radionuklida (dalam uCi/mCi dan %) serta Menyimpan dan Mencetak Hasil Perhitungan

Pemasukan data dilakukan dengan tujuan untuk menghitung efisiensi dan radionuklida (dalam  $\mu\text{Ci}/\text{mCi}$  dan %). Setelah memasukkan data, data tersebut akan diproses dan hasilnya dapat disimpan dengan mengisi nama file dalam format ".DAT". Jika ingin kembali ke menu sebelumnya atau tidak melakukan pemrosesan data dapat mengklik tombol "cancel/back". Menu ini selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4.10.

Hasil perhitungan secara manual didapatkan untuk data 1 (nama file 20080611.DAT) adalah nilai radionuklida I-126  $4.91674\text{E}-01$   $\mu\text{Ci}/\text{mCi}$  dan nilai Persentase (%) I-126  $4.91674\text{E}-02\%$ . Data 2 (nama file 20080708.DAT) adalah nilai radionuklida I-126  $4.32405\text{E}-01$   $\mu\text{Ci}/\text{mCi}$  dan nilai persentase (%) I-126  $4.32405\text{E}-02\%$ . Data 3 (nama file 20090220.DAT) yaitu nilai radionuklida I-126  $7.21841\text{E}+00$   $\mu\text{Ci}/\text{mCi}$  dan nilai persentase (%) I-126  $7.21841\text{E}-01\%$ . Hasil perhitungan secara komputerisasi menunjukkan hasil yang sama dengan perhitungan secara manual, sehingga dapat program komputer radioisotop I-125 telah sesuai dan akurat. Tampilan menu pengukuran data 1, 2, dan 3 dapat dilihat pada Gambar 4.11.1, Gambar 4.11.2, dan Gambar 4.11.3.

Copyright 2007 by 3M-10000000

**Data Pengukuran yang ingin ditampilkan**

Data I-125 : Radioaktivitas (mCi/mL) = 193.946  
 Date (mm-dd-yyyy) = 06-10-2008 Time (hh:mm) = 14:13

Data pengukuran dengan spektrometer gama : Jumlah puncak / peak (1 - 5) 1  
 Counting time (s) = 300 Volum cuplikan yg diukur (mL) = 0.01  
 Date (mm-dd-yyyy) = 06-10-2008 Time (hh:mm) = 15:00

Calibration Time : Date (mm-dd-yyyy) = 06-11-2008 Time (hh:mm) = 09:00  
 Radioaktivitas I-125 (mCi/mL) = 1.92203E+02

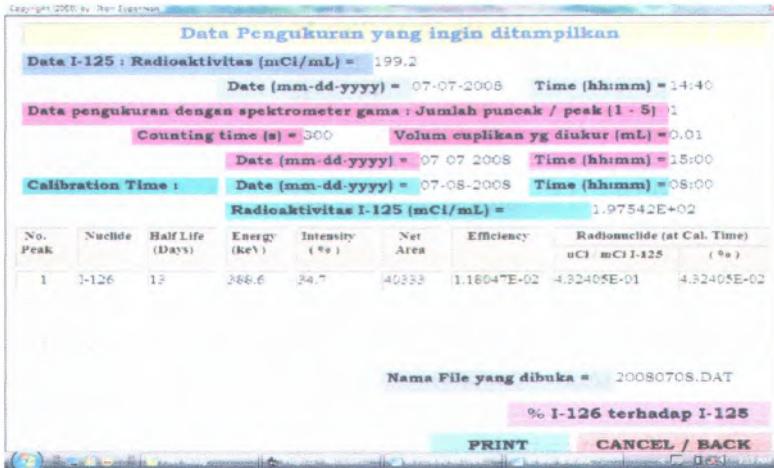
No. Peak	Nuclide	Half Life (Days)	Energy (keV)	Intensity (%)	Net Area	Efficiency	Radionuclide (at Cal. Time) $\mu\text{Ci} / \text{mCi} \cdot 125$ (%)
1	I-126	15	388.6	34.7	44721	1.18047E-02	$4.91674\text{E}-01$ $4.91674\text{E}-02$

Nama File yang dibuka = 20080611.DAT

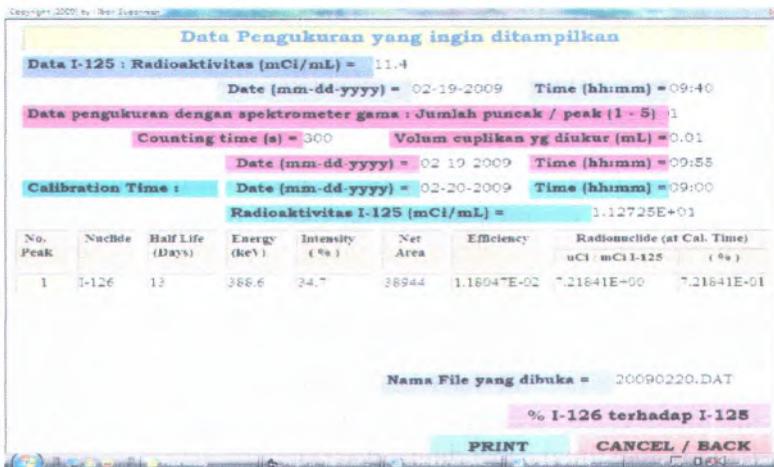
% I-126 terhadap I-125

PRINT CANCEL / BACK

Gambar 4.11.1 Data Pengukuran dengan Nama File 20080611.DAT



Gambar 4.11.2 Data Pengukuran dengan Nama File 20080708.DAT



Gambar 4.11.3 Data Pengukuran dengan Nama File 20090220.DAT

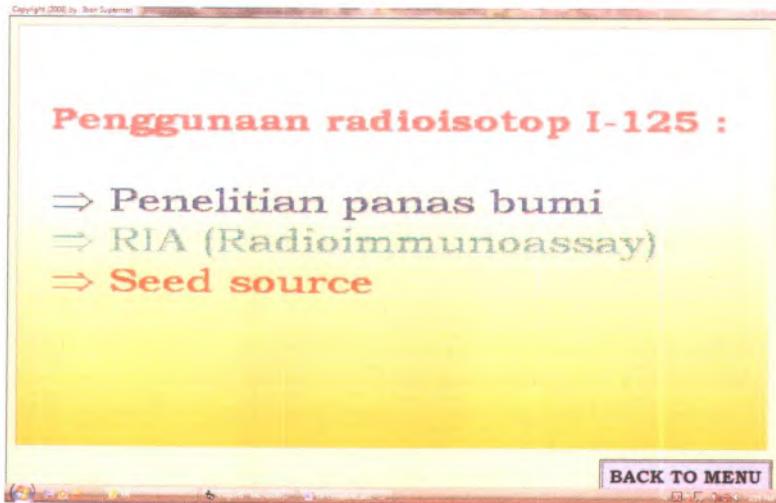
#### 4.2.2.2 Sistem Dokumentasi dan Informasi

Sistem dokumentasi dan informasi ini merupakan menu yang dibuat untuk memberi informasi yang berkaitan dengan radioisotop I-125 mulai tentang penggunaan dan spesifikasi radioisotop I-125, fasilitas proses, proses radioisotop I-125, dan sejarah (*history*) fasilitas I-125 yang akan dibahas berikut ini.

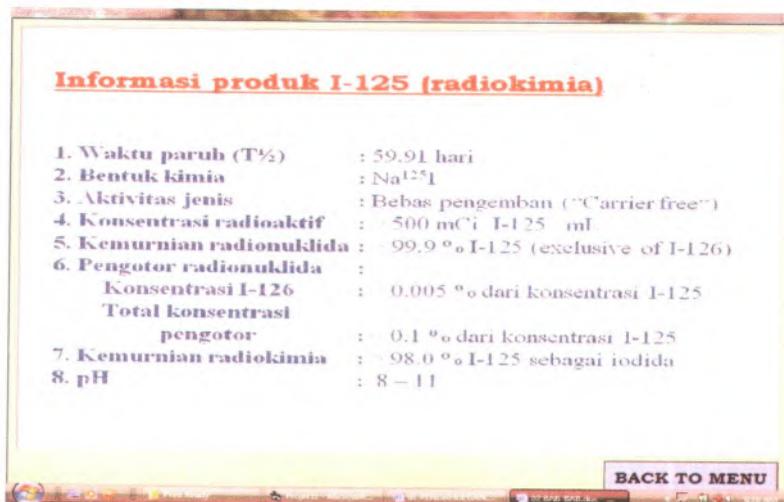
##### 4.2.2.2.1 Penggunaan dan Spesifikasi Radioisotop I-125

Dokumentasi dan informasi yang pertama adalah penggunaan radioisotop I-125 antara lain untuk penelitian panas bumi, RIA (*Radioimmunoassay*), dan *seed source*. Pembuatan *seed* untuk *brachytherapy* (bentuk radioterapi dimana sumber radioaktif ditempatkan di dalam atau di sekitar area yang memerlukan perawatan, seperti untuk perawatan kanker prostat dan kanker serviks), contoh radioisotop yang digunakan, selain I-125 adalah Ir-192, untuk keperluan radiografi (*seed source*) dan (*Hair pin dan Single pin*) *Brachytherapy (low dose rate)*. Sedangkan untuk pembuatan *kit* RIA (*Radioimmunoassay*) sebagai *tracer* (mempelajari distribusi dan sifat elemen pada suatu proses) digunakan I-125. Penggunaan radioisotop I-125 dapat dilihat pada Gambar 4.12.

Spesifikasi radioisotop I-125 juga merupakan informasi produk I-125 (radiokimia), yaitu waktu paruh, bentuk kimia, aktivitas jenis, konsentrasi radioaktif, kemurnian radionuklida, pengotor radionuklida (terdiri dari konsentrasi I-126 dan total konsentrasi pengotor), kemurnian radiokimia, dan pH. Informasi produk I-125 (radiokimia) dibuat pada program komputerisasi radioisotop I-125 ini bagi para pemakai apabila memerlukan informasi tentang sifat-sifat I-125 dengan cepat. Informasi produk I-125 (radiokimia) dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.12 Dokumentasi dan Informasi Penggunaan Radioisotop I-125



Gambar 4.13 Dokumentasi dan Informasi Spesifikasi Produk I-125 (Radiokimia)



Kegiatan produksi radioisotop Iodium-125 ini menggunakan Reaktor Serba Guna G.A. SIWABESSY (RSG-GAS) dan dilakukan pengujian kendali kualitasnya. Xenon-125 merupakan radioisotop dengan waktu paro 17 jam dan meluruh menjadi Iodium-125. Ada dua tipe peluruhan Xenon-125, yaitu *electron capture* (EC) dan beta positif. Kedua jenis peluruhan ini menghasilkan  $^{125}\text{I}$ . Iodium-125 dibentuk dari sasaran isotop Xenon-124. Xenon-124 berubah menjadi Xenon-125 melalui penangkapan neutron sambil melepaskan radiasi gama atau dinyatakan dengan reaksi (n, $\gamma$ ).

#### 4.2.2.2.3 Proses Radioisotop I-125

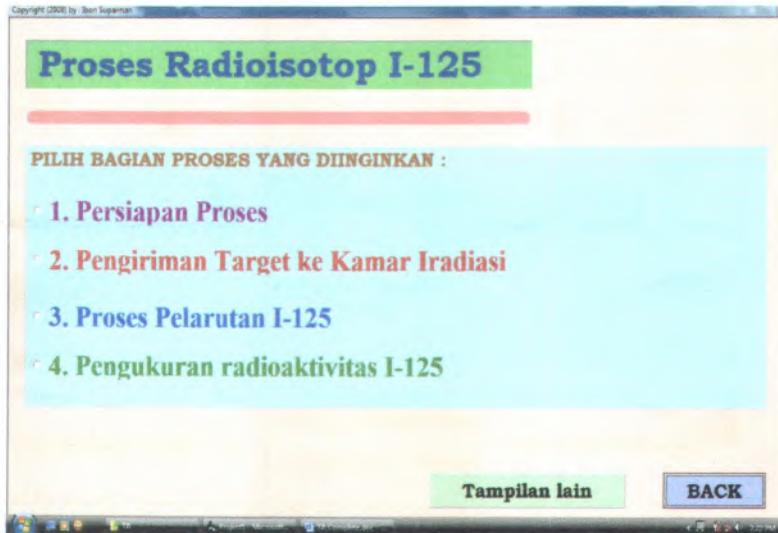
Menu proses radioisotop I-125 ini menampilkan empat pilihan bagian proses yang pemakai inginkan, yaitu persiapan proses, pengiriman target ke kamar iradiasi, proses pelarutan I-125, dan pengukuran radioaktivitas I-125. Dimana setiap pilihan ini merupakan suatu video atau tayangan proses radioisotop I-125 yang dilakukan oleh beberapa pegawai PRR BATAN Serpong Tangerang Banten. Tampilan menu proses disediakan dalam tiga tampilan lain terdiri dari tampilan 1, 2, dan 3, dapat diklik pada pilihan "tampilan lain". Tampilan 1 hanya berupa tulisan dalam *command button* yang (dapat dilihat pada Gambar 4.15.1). Tampilan 2 berupa tulisan dalam *command button* dan gambar dari tampilan video (dapat dilihat pada Gambar 4.15.2). Sedangkan tampilan 3 berupa gambar dari tampilan video (dapat dilihat pada Gambar 4.15.3). Setiap tampilan video proses radioisotop I-125 ini dapat dijelaskan berikut ini.

Persiapan proses dilakukan dengan cara uji produksi I-125 merupakan suatu rangkaian proses reaksi bertahap dan menggunakan sasaran berbentuk gas, yang harganya relatif mahal. Sebelum melakukan uji produksi telah dilaksanakan suatu rangkaian uji fungsi sistem peralatan I-125. Tujuan dari uji produksi ini adalah untuk melihat apakah proses produksi berjalan dengan optimal, yaitu dengan melihat besarnya persentase

perolehan (*yield*) I-125 dan I-125 yang dihasilkan apakah sudah sesuai persyaratan yang ditetapkan.

Pengiriman target ke kamar iradiasi dilakukan dengan cara mengirimkan target berupa gas Xe-124 ke alat yang bernama *Xenon loop* agar diiradiasi membentuk Xe-125. Setelah terbentuk Xe-125, gas tersebut dipindahkan ke botol peluruhan agar Xe-125 tersebut meluruh menjadi I-125. Pompa vakum digunakan untuk menurunkan tekanan sistem *Xenon Loop* sehingga terjadi perbedaan tekanan antara kamar iradiasi dengan sistem *Xenon loop* dan memudahkan perpindahan gas Xe-124 yang sudah diiradiasi ke sistem *Xenon loop* serta mengeluarkan seluruh gas di dalam kamar iradiasi dan pipa-pipa penghubung. Selain itu pompa vakum digunakan juga memastikan bahwa kamar iradiasi, botol peluruhan serta sambungan di dalam sistem pengiriman gas tidak ada kebocoran. Pemindahan gas Xenon dilakukan dengan *cryogenic system* menggunakan Nitrogen cair. Gas Xenon memiliki tekanan uap jenuh pada suhu 80°K sebesar 0,1 millitorr. Oleh sebab itu, hampir seluruh gas Xenon dapat dipindahkan atau ditarik ke dalam wadah yang dibekukan dengan Nitrogen cair. Gas yang tersisa hanya bertekanan 0,1 millitor.

Proses pelarutan Iodium-125 dari botol produk bermula dari gas Xenon yang diluruhkan di botol produk ditarik ke botol produk lain yang ada pada fasilitas *Xe-loop* dengan sistem pendinginan dan Iodium yang tertinggal pada botol produk lain yang ada pada fasilitas *Xe-loop* untuk dilarutkan dengan volume yang telah ditentukan dan hasil pelarutan yang diperoleh disebut fraksi I, II, dan III, yang telah sesuai persyaratan konsentrasi radioaktif yang ditetapkan oleh Medy Physis Inc. Persentase perolehan (*yield*) dihitung dari radioaktivitas total hasil uji coba 6 hari setelah EOI dibandingkan dengan radioaktivitas I-125 yang diperoleh berdasarkan perhitungan dan dikalikan 100%. Iodium-125 yang telah terbentuk di botol peluruhan dilarutkan menggunakan NaOH encer untuk mendapatkan Iodium-125 dalam bentuk Natrium Iodida (NaI).



Gambar 4.15.1 Menu Dokumentasi dan Informasi Proses Radioisotop I-125 (Tampilan 1)

Pengukuran radioaktivitas I-125 dilakukan dengan cara hasil pelarutan fraksi I, II, III dicuplik dengan pipet mikro kemudian ditotolkan pada kertas *Whatman* dan diukur radioaktivitasnya dengan menggunakan GIC (*Gama Ionization Chamber*), sehingga didapat radioaktivitas I-125.



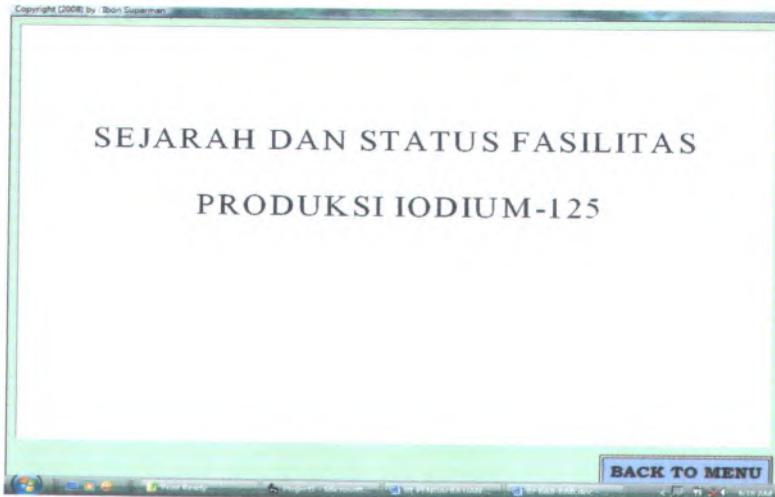
Gambar 4.15.2 Dokumentasi dan Informasi Proses Radioisotop I-125 (Tampilan 2)



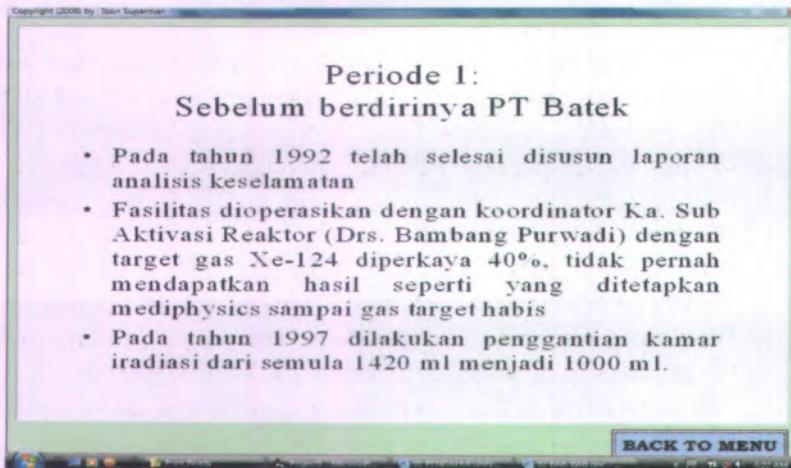
Gambar 4.15.3 Dokumentasi dan Informasi Proses Radioisotop I-125 (Tampilan 3)

#### 4.2.2.2.4 *History* Fasilitas I-125

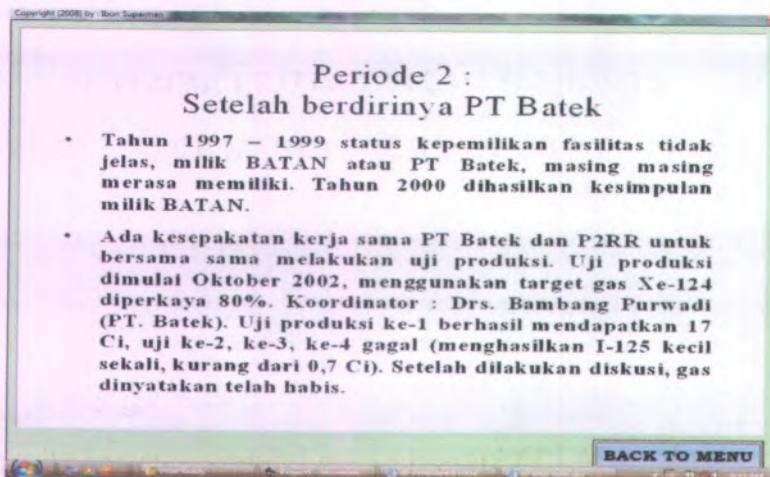
Menu *history* fasilitas I-125 merupakan tampilan dengan mengklik halaman ini maka akan ditampilkan *history* fasilitas I-125. Sejarah dan status fasilitas produksi (Gambar 4.16.1) ini terdiri dari tiga periode. Periode 1 (Gambar 4.16.2) adalah sejarah fasilitas produksi sebelum berdirinya PT Batek. Periode 2 (Gambar 4.16.3) adalah sejarah fasilitas produksi setelah berdirinya PT Batek. Periode 3 (Gambar 4.16.4) adalah sejarah fasilitas produksi saat PRR mulai terlibat dalam pengoperasian. Pada menu *history* fasilitas I-125 ini terdapat pula informasi hasil uji produksi oleh PRR dari tahun 2005-2008 (Gambar 4.16.5). Selain itu terdapat menu kelemahan fasilitas dan upaya perbaikan (Gambar 4.16.6), serta menu tentang rencana di tahun 2009 (Gambar 4.16.7). Terdapat pula pilihan *command button* berupa *back to menu* untuk kembali ke menu utama.



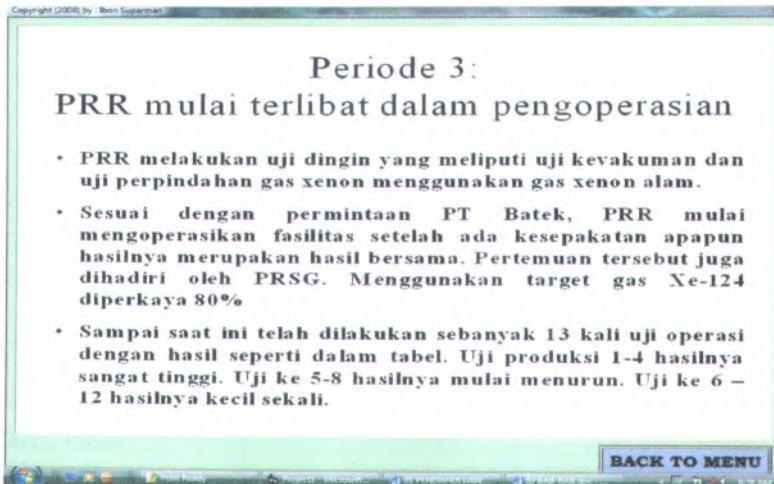
Gambar 4.16.1 Dokumentasi dan Informasi tentang *History* dan Status Fasilitas Produksi Iodium-125



Gambar 4.16.2 Dokumentasi dan Informasi tentang *History* Fasilitas Periode 1 : Sebelum berdirinya PT Batek



Gambar 4.16.3 Dokumentasi dan Informasi tentang *History* Fasilitas Periode 2 : Setelah berdirinya PT Batek



Gambar 4.16.4 Dokumentasi dan Informasi tentang *History* Fasilitas Periode 3: PRR Mulai Terlibat dalam Pengoperasian

Copyright (2008) by I. Ben Suparman

### Hasil Uji produksi oleh PRR

No	tanggal	Radioaktivitas (mCi)	Keterangan
1	9 – 22 Juni 2005	9541	
2	27 Juni – 8 Juli 2005	9806	
3	18 Juli – 29 Juli 2005	9755	
4	9 – 22 Des 2005	9458	
5	18 - 31 Agustus 2006	3293	
6	2 – 13 April 2007	3854	
7	8 – 21 Juni 2007	4794	
8	13 – 26 Juli 2007	2744	
9	14 – 28 Sept 2007	1614	
10	17 – 26 Maret 2008	709	
11	27 Mei – 9 Juni 2008	1066	2 x iradiasi
12	24 Juni – 7 Juli 2008	1533	3 x iradiasi

BACK TO MENU

Gambar 4.16.5 Dokumentasi dan Informasi tentang *History* Fasilitas Hasil Uji Produksi oleh PRR

Copyright (2008) by Ben Supriyanto

### Kelemahan fasilitas dan upaya perbaikan

Setelah PRR mengoperasikan fasilitas produksi diketahui beberapa kelemahan fasilitas dan dilakukan upaya perbaikan sebagai berikut.

No	Kelemahan fasilitas	Upaya perbaikan
1	Penyimpanan gas target: gas 500 ml disimpan dalam 50 ml sehingga tekanan sangat tinggi.	Pembuatan penyimpanan gas yang lebih besar. Saat ini sedang diuji.
2	Keselamatan radiasi: Pelarutan Iodium-125 dan pengoperasian valve. Paparan 1000 mR/j dikocok dengan tangan.	Pembuatan rotator untuk pelarutan dan lengan pemutar valve
3	Keterbatasan penyaringan Iodium yang terbentuk di dalam kamar iradiasi. Setelah uji produksi ke-8 mulai terdeteksi adanya I-126 sebagai pengotor	Telah dilakukan upaya pencucian filter Iodium, namun tetap ada I-126 lolos ke produk. Tahun 2009 ini direncanakan penggantian filter Iodium.

**BACK TO MENU**

Gambar 4.16.6 Dokumentasi dan Informasi tentang *History* Fasilitas Kelemahan Fasilitas dan Upaya Perbaikan

Copyright (2008) by Ben Supriyanto

### Rencana tahun 2009

- Uji botol penyimpanan yang baru.
- Penggantian filter Iodium.
- Pengadaan gas Xenon-124 diperkaya.
- Perbaikan jalur Nitrogen Cair.

**BACK TO MENU**

Gambar 4.16.7 Dokumentasi dan Informasi tentang *History* Fasilitas Rencana Tahun 2009

#### 4.2.2.3 Sistem Perekaman

Pilihan terakhir pada menu utama adalah perekaman, dimana pada menu perekaman ini terdapat juga dua pilihan, yaitu *loading file* dan *CCTV system*. Kedua pilihan ini merupakan tampilan berupa tayangan atau video. Pada *CCTV system* terdapat *CCTV camera*, *DVR*, *control keyboard*, *monitor*, dan *cable*. Tayangan ini dapat dilihat pada program komputer sistem komputerisasi radioisotop I-125.

#### 4.2.2.4 Kode Program Sistem Komputerisasi Radioisotop I-125

Kode Program Komputer Radioisotop ini menggunakan bermacam-macam bahasa pemrograman yang dikemas sedemikian rupa sehingga menjadi kumpulan kode program yang saling berkaitan dalam membuat aplikasi pada sistem komputerisasi radioisotop I-125. Kode program adalah serangkaian tulisan perintah yang akan dilaksanakan jika suatu objek dijalankan. Kode program ini akan mengontrol dan menentukan jalannya suatu objek.

Di awal pembuatan kode program ini pada menu utama terdapat kode program *ResWidth* atau *ResHeight* yang berguna untuk menyesuaikan lebar dan panjang setiap *icon* pada program ini, seperti *image*, *command*, *line*, dan lain-lain, dengan resolusi komputer yang digunakan oleh pemakai dan memungkinkan program ini bisa dijalankan menggunakan komputer dengan resolusi yang berbeda, tetapi tampilan program tidak akan mengecil atau terpotong sehingga dihasilkan tampilan yang menarik.

Perintah kode program *Upload*, *Load*, *Visible*, dan *Invisible* hampir sama fungsinya yaitu menampilkan *form* yang ingin dilihat dan disampaikan kepada pemakai (*True*), disisi lain disaat yang bersamaan terdapat perintah untuk tidak menampilkan *form* lainnya (*False*). *SetFocus* adalah suatu metoda (suatu set perintah seperti halnya fungsi dan prosedur, tetapi sudah tersedia di dalam

suatu objek) untuk memerintahkan suatu *icon* untuk tetap atau tidak berpindah ke tampilan selanjutnya.

*Private Sub Timer1\_Timer* merupakan suatu *event*, peristiwa atau kejadian yang diterima oleh suatu objek, misalnya klik, seret, tunjuk dan lain-lain. *Sub Timer1\_Timer* akan dijalankan pada saat *timer1 enabled*-nya *true* dan dengan jeda sesuai dengan intervalnya. *Coding* pada *Timer1\_timer* akan dijalankan terus-menerus tanpa henti. Perintah *Timer* adalah untuk membuat jam terus bergerak. Pada kode program *Format(Now, "hh:mm:ss",* dan *Format(Date, "dddd, dd mmmm yyyy")* adalah untuk menampilkan jam dan tanggal. Objek *Now* adalah objek yang menunjukkan nilai tanggal atau jam saat ini. Sedangkan perintah *Format* digunakan untuk merubah bentuk dari suatu *string* atau untuk menggabungkan dua atau lebih *string*.

Rangkaian kode program *For I = 1 to n* dan *Next* merupakan perintah struktur pengulangan yang akan melakukan perulangan sebanyak *n* kali. *For I = 1 to n (STEP m)* dan *Next* pada perintah perulangan ini *STEP* bersifat optional dan dapat dihilangkan. *STEP* menunjukkan pertambahan yang dilakukan dimana *default*-nya adalah *m*. Untuk nilai dari besar ke kecil disarankan digunakan nilai *STEP* yang negatif.

Kode program berikutnya adalah *Open-Close* merupakan perintah untuk menyimpan dan membaca *file data*. *Open-Close* ini berkaitan dengan perintah *Input* dan *Output* yaitu data dibaca dari *file data* (dimana data tersebut sebelumnya disimpan sebagai *file data*). Untuk mengecek apakah data telah disimpan maka dapat mencoba menjalankan *Notepad* dari *Windows* dan lalu *file* tersebut cari dan dilihat isinya.

Operasi *string* juga terdapat dalam pengkodean program ini diantaranya *Right*, *Mid*, dan *Left*. Ketiga perintah ini berguna untuk mengambil suatu *string* dari dalam suatu *string*. Fungsi *Right* untuk mengambil suatu *string* dari kanan dengan *sintaks Right (String, Panjangnya)*. Fungsi *Mid* untuk mengambil suatu *string* yang berada di tengah-tengah dengan *sintaks Mid (String,*

*Start*, Panjangnya). Fungsi *Left* untuk mengambil suatu *string* dari kiri dengan *sintaks Left (String, Panjangnya)*.

Operator *Microsoft Visual Basic 6.0* mengandung beberapa elemen yang dirancang untuk digunakan di dalam rumus-rumus atau formula yang pada hakekatnya adalah suatu pernyataan yang menggabungkan angka, variabel, operator, dan fungsi untuk membuat suatu nilai baru. Dengan beberapa pengecualian, simbol matematika yang digunakan dalam sehari-hari. Operator *visual basic* yang digunakan dalam kode program ini adalah *Mod* yang dipakai dalam kode program perhitungan waktu (tanggal dan jam). *Mod* merupakan sisa pembagian, contoh penggunaan operator *Mod* dapat dilihat pada Lampiran 2.

Pada program komputerisasi radiosiotop I-125 ini terdapat kode program *DateDiff (Date and Time Interval Calculation)* yang berfungsi untuk menghitung selisih waktu (tanggal dan jam) antara *initial date/time* dan *final date/time*. Dalam kaitannya pengukuran I-125 dan I-126 ini, waktunya diacu terhadap waktu kalibrasi (*Calibration Time*). Penggunaan pada program ini adalah menghitung selisih waktu antara *Date1* (waktu Radioisotop I-125) dengan *Date3* (waktu saat kalibrasi), selain itu untuk menghitung waktu antara *Date 2* (Saat pengukuran dengan spektrometri gama) dengan *Date3* (waktu saat kalibrasi). Contoh penggunaan *DateDiff* ini selengkapnya dapat dilihat pada kode program di Lampiran 2.

*Val(Text1.Text)* merupakan metoda untuk *file* data dalam bentuk *text* diubah menjadi variabel agar dapat dilakukan proses pengelolaan data dan perhitungan pada program ini. Perintah *Write* digunakan untuk dapat mengisi data atau menulis dan selanjutnya data, yang ditulis pemakai tersebut, dapat dipakai untuk mengelola data. *Text1(Index)* dimaksudkan karena *text1* mempunyai data lebih dari satu, sehingga digunakan perintah *index* untuk mengolah data-data tersebut. Perintah *Printer.Print* merupakan metoda untuk memerintah objek yang akan dicetak. *KeyAscii* adalah perintah untuk menampilkan kode Ascii dari suatu karakter, dimana setiap huruf atau angka mempunyai kode

*ascii*. *Run* adalah perintah untuk menjalankan suatu kode program. *Dir1.Path* berada dalam direktori *path*. *Drive1.Drive* perintah untuk menampilkan objek yang berada pada drive C, D, E, atau lainnya.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Hasil pengukuran kemurnian radionuklida radioisotop I-125 dari tiga *batch* produksi terakhir diperoleh pengotor radionuklida  $4.91674\text{E}-01 \mu\text{Ci I-126/ mCi I-125}$  atau  $4.91674\text{E}-02\% \text{ I-126}$ ;  $4.32405\text{E}-01 \mu\text{Ci I-126/ mCi I-125}$  atau  $4.32405\text{E}-02\% \text{ I-126}$ ;  $7.21841\text{E}+00 \mu\text{Ci I-126/ mCi I-125}$  atau  $7.21841\text{E}-01\% \text{ I-126}$ . Validasi program komputer dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan secara manual memberikan hasil yang sama, tetapi dengan program komputer perhitungan dapat diselesaikan jauh lebih cepat.

Program komputer yang dikembangkan untuk komputerisasi perhitungan penentuan kemurnian radionuklida produk radioisotop I-125 ini menggunakan bahasa pemrograman *Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows* ini, dibuat sedemikian rupa agar pemakai mudah dalam mengoperasikannya dan terdapat beberapa informasi mengenai spektrometri gama dan produk radioisotop I-125, sehingga pemakai bisa lebih menghayati pekerjaannya dan dapat diaplikasikan secara rutin pada setiap pemakaian spektrometer gama. *Source code* tambahan yang dikembangkan memungkinkan program komputer ini bisa dijalankan dengan komputer yang menggunakan resolusi yang berbeda tanpa ada kekhawatiran tampilan program akan mengecil atau terpotong. Adanya program komputer ini akan menghindarkan pemakai dari *inefisiensi* waktu dan kemungkinan kesalahan dalam pemrosesan data.

Kurva kalibrasi efisiensi spektrometer gama dapat diselesaikan melalui persamaan *power*. Dari ke 5 kurva kalibrasi efisiensi (posisi rak 1 sampai rak 5) diperoleh persamaan *power* dengan koefisien determinasi lebih besar dari 0.999 (mendekati satu). Hal ini menunjukkan titik data pengamatan tidak jauh

menyimpang dari kurvanya dan ini dibuktikan dengan visualisasi grafiknya.

Dari *control chart* yang dibuat menunjukkan peralatan spektrometer gama yang digunakan memiliki CV sebesar 0.49 %, suatu simpangan baku yang relatif kecil yang berarti juga ketelitian yang relatif tinggi. *Control chart* yang dibuat ini bisa digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengetahui apakah kondisi peralatan spektrometer gama dalam kondisi baik dan siap digunakan untuk pengukuran.

## 5.2 Saran

Program komputer yang dibuat ini bisa terus dikembangkan sesuai dengan perkembangan *software Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows* dan *toolkit* pendukungnya, dan kebutuhan di lapangan yang terus berkembang.

Kemampuan dalam pengembangan program komputer untuk mengatasi masalah komputasi dalam bidang kimia bisa terus dikembangkan untuk menghadapi era otomatisasi proses kimia.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Awaludin, Rohadi, (2006), *Penggunaan Ulang Sasaran Xenon pada Produksi I-125*, Prosiding Seminar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Jakarta
- BATAN, (1989), *Prosedur Pengoperasian Fasilitas Produksi Iodium-125*, No. Identifikasi: P2RR.RI.P01 Rev.1, Bidang Radioisotop, Pusat Pengembangan Radioisotop, dan Radiofarmaka, Jakarta
- Beiser, A., (1990), *Konsep Fisika Modern*, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta
- Chapra, Steven C. dan Raymond P. Canale, (2002), *Numerical Methods for Engineers*, Fourth Ed., McGraw-Hill, New York
- Connel, D. W., (1993), *Bioakumulasi Senyawa Xenobiotik*, UI Press, Jakarta
- Daintith, (1990), *Kamus Lengkap Kimia*, Erlangga, Jakarta
- Darmono, (1995), *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*, UI Press, Jakarta
- Darmstadt, (1990), *Reagents, Diagnostics Chemicals*, Frankfurter Strasse, Germany
- Friedldaner, Gerhart, (1997), *Nuclear and Radio-chemistry*, John Wiley & Sons Inc., New York

- Ghosal, S.N., (1997), *Atomic dan Nuclear Physisc*, Volume II, S. Chad dan Company, New Delhi
- Gilmore G., dan Hemingway J., (1995), *Practical Gamma-Ray Spectrometry*, John Wiley & Sons, Chichester
- Halvorson, M., (2002), *Microsoft Visual Basic 6.0 Profesional Step by Step*, Microsoft Press, NewYork
- Japan Radioisotope Association, (1990), *Note Book of Radioisotope*, Maruzen, Japan
- Knoll, F. Glenn, (2000), *Radiation Detection dan Measurement*. John Wiley & Sons Inc., New York
- Mathews, (2001), *Numerical Methods for Computer Science, Enginering dan Mathematics*, Prentice Hall International, New York
- Petroutsos, Evangelos, (1998), *Mastering Visual Basic 6*, Sybex Inc., USA
- Mediphysics, (1985), *Manufacturing Manual of Iodine-125*, New York
- Miller, J. C., (1991), *Statistik Untuk Kimia Analitik*, Edisi Kedua, ITB, Bandung
- NRCR Report, (1978), *A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures*, No. 58, Washington DC
- Salim, N.A., (1984), *Spektrometri Gama*, Badan Tenaga Atom Nasional, Yogyakarta

- Stamatakis, W., (2002), *Microsoft Visual Basic Design Pattern*, Microsoft Press, New York
- Suparman, Ibon, (2008), *Dasar-dasar Spektrometri Gama*, PRR-BATAN, Serpong
- Suparman, Ibon, (2008), *Komputer grafik dan pemrograman visual : Aplikasinya di PRR-BATAN*, PRR- BATAN, Serpong
- Suparman, Ibon, (2008), *Program Komputer Persamaan Power dan Persamaan Eksponensial*, PRR-BATAN, Serpong
- Suparman, Ibon, (2008), *Program Komputer Perhitungan Spektrometri Gama*, PRR-BATAN, Serpong
- Susetyo, (1988), *Spektrometri Gama*, Gajah Mada Press, Yogyakarta
- Taftazani, Agus, Sumining, (1998), *Penentuan Fluktuasi Kandungan Unsur Mayor, Minor Dan Kelumit Dalam Cuplikan Sungai Dan Air Laut Sekitar Muria*, Yogyakarta
- Website Idaho National Laboratory (INL), (2008),  
<http://www.inl.gov/>

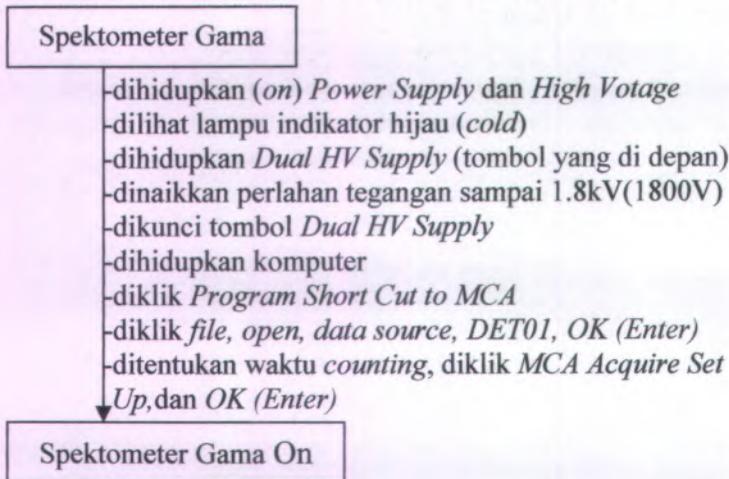
## LAMPIRAN

Lampiran terdiri dari:

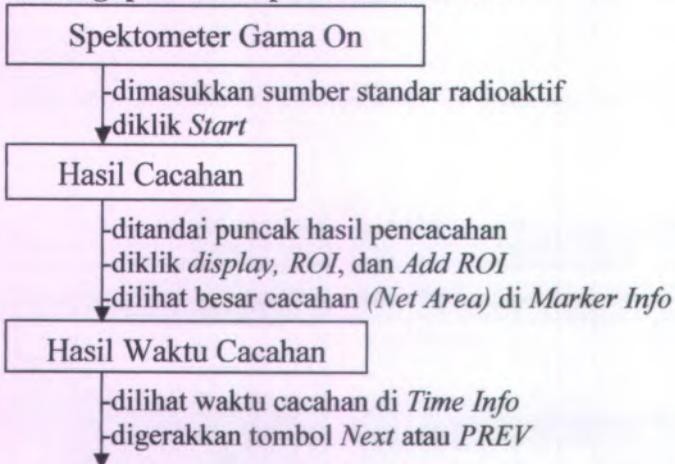
- Lampiran 1. Diagram Skematik Penelitian
- Lampiran 2. Kode Pemrograman Sistem Komputerisasi Radioisotop I-125

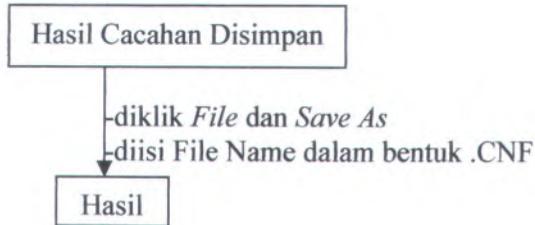
## Lampiran 1. Diagram Skematik Penelitian

### i. Peralatan Spektrometer Gama Dihidupkan

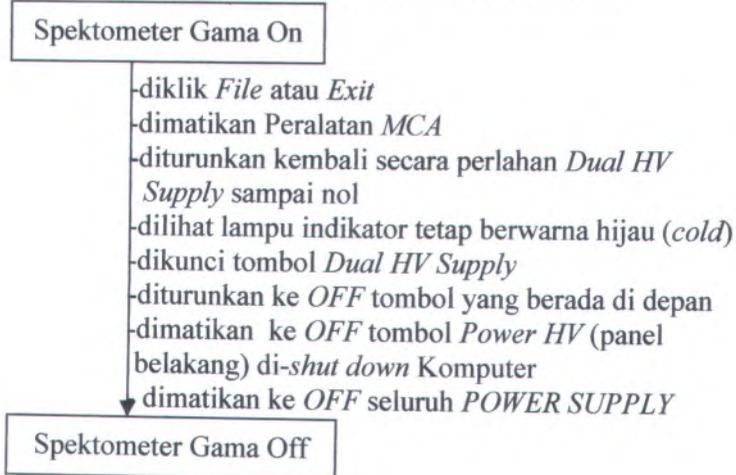


### ii. Pengoperasian Spektrometer Gama

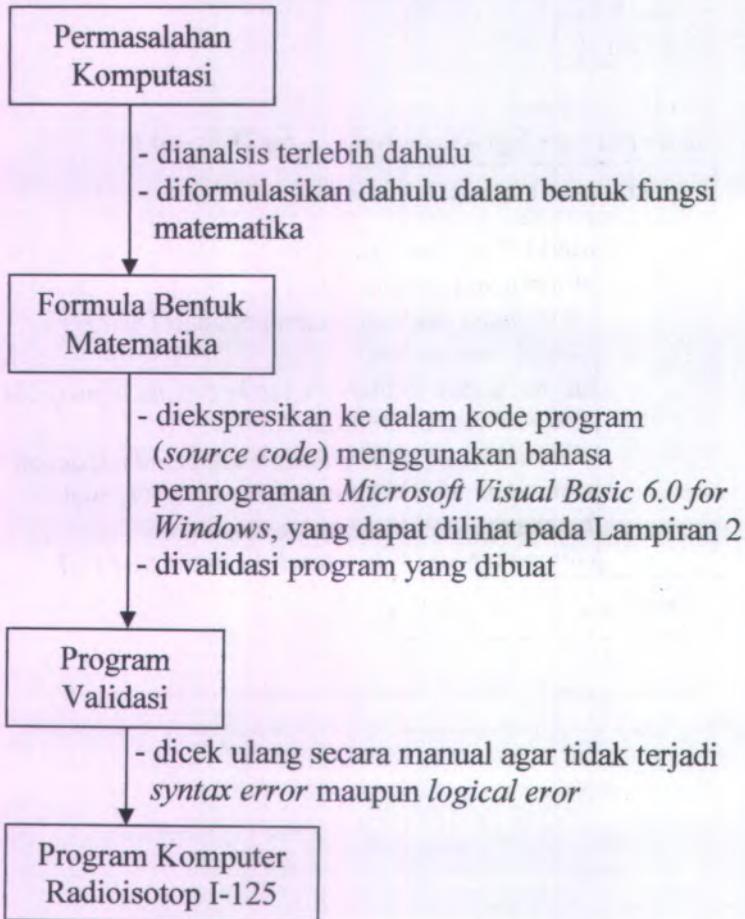




### iii. Peralatan Spektrometer Gama Dimatikan



**iv. Pembuatan Program Komputer Radioisotop I-125 menggunakan *Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows***



## Lampiran 2. Kode Pemrograman Sistem Komputerisasi Radioisotop I-125

### i. Menu Utama

Dim X, y, ResWidth, ResHeight As Single

Private Sub Form\_Load()

Show

ResWidth = Screen.Width / Screen.TwipsPerPixelX

ResHeight = Screen.Height / Screen.TwipsPerPixelY

MenuUtama.Width = Screen.Width

MenuUtama.Height = Screen.Height

'Resolusi komputer ketika kita sedang bekerja membuat program ini

X = 800: y = 600

Image1.Width = Image1.Width \* (ResWidth / X)

Image1.Height = Image1.Height \* (ResHeight / y)

Image1.Left = Image1.Left \* (ResWidth / X)

Image1.Top = Image1.Top \* (ResHeight / y)

Image2.Width = Image2.Width \* (ResWidth / X)

Image2.Height = Image2.Height \* (ResHeight / y)

Image2.Left = Image2.Left \* (ResWidth / X)

Image2.Top = Image2.Top \* (ResHeight / y)

Command1.Width = Command1.Width \* (ResWidth / X)

Command1.Height = Command1.Height \* (ResHeight / y)

Command1.Left = Command1.Left \* (ResWidth / X)

Command1.Top = Command1.Top \* (ResHeight / y)

Command1.FontSize = Command1.FontSize \* (ResWidth / X)

Line1.X1 = Line1.X1 \* (ResWidth / X)

Line1.X2 = Line1.X2 \* (ResWidth / X)

Line1.Y1 = Line1.Y1 \* (ResHeight / y)

Line1.Y2 = Line1.Y2 \* (ResHeight / y)

Line1.BorderWidth = Line1.BorderWidth \* (ResHeight / y)

```
Label1.Width = Label1.Width * (ResWidth / X)
Label1.Height = Label1.Height * (ResHeight / y)
Label1.Left = Label1.Left * (ResWidth / X)
Label1.Top = Label1.Top * (ResHeight / y)
Label1.FontSize = Label1.FontSize * (ResWidth / X)
Label2.Width = Label2.Width * (ResWidth / X)
Label2.Height = Label2.Height * (ResHeight / y)
Label2.Left = Label2.Left * (ResWidth / X)
Label2.Top = Label2.Top * (ResHeight / y)
Label2.FontSize = Label2.FontSize * (ResWidth / X)
Text2.Width = Text2.Width * (ResWidth / X)
Text2.Height = Text2.Height * (ResHeight / y)
Text2.Left = Text2.Left * (ResWidth / X)
Text2.Top = Text2.Top * (ResHeight / y)
Text2.FontSize = Text2.FontSize * (ResWidth / X)
Text3.Width = Text3.Width * (ResWidth / X)
Text3.Height = Text3.Height * (ResHeight / y)
Text3.Left = Text3.Left * (ResWidth / X)
Text3.Top = Text3.Top * (ResHeight / y)
Text3.FontSize = Text3.FontSize * (ResWidth / X)
```

'Bagian Frame1

'-----

```
Frame1.Width = Frame1.Width * (ResWidth / X)
Frame1.Height = Frame1.Height * (ResHeight / y)
Frame1.Left = Frame1.Left * (ResWidth / X)
Frame1.Top = Frame1.Top * (ResHeight / y)
Frame1.FontSize = Frame1.FontSize * (ResWidth / X)
Option1.Width = Option1.Width * (ResWidth / X)
Option1.Height = Option1.Height * (ResHeight / y)
Option1.Left = Option1.Left * (ResWidth / X)
Option1.Top = Option1.Top * (ResHeight / y)
Option1.FontSize = Option1.FontSize * (ResWidth / X)
Option2.Width = Option2.Width * (ResWidth / X)
Option2.Height = Option2.Height * (ResHeight / y)
```

```
Option2.Left = Option2.Left * (ResWidth / X)
Option2.Top = Option2.Top * (ResHeight / y)
Option2.FontSize = Option2.FontSize * (ResWidth / X)
Option3.Width = Option3.Width * (ResWidth / X)
Option3.Height = Option3.Height * (ResHeight / y)
Option3.Left = Option3.Left * (ResWidth / X)
Option3.Top = Option3.Top * (ResHeight / y)
Option3.FontSize = Option3.FontSize * (ResWidth / X)
Option4.Width = Option4.Width * (ResWidth / X)
Option4.Height = Option4.Height * (ResHeight / y)
Option4.Left = Option4.Left * (ResWidth / X)
Option4.Top = Option4.Top * (ResHeight / y)
Option4.FontSize = Option4.FontSize * (ResWidth / X)
Option5.Width = Option5.Width * (ResWidth / X)
Option5.Height = Option5.Height * (ResHeight / y)
Option5.Left = Option5.Left * (ResWidth / X)
Option5.Top = Option5.Top * (ResHeight / y)
Option5.FontSize = Option5.FontSize * (ResWidth / X)
Option6.Width = Option6.Width * (ResWidth / X)
Option6.Height = Option6.Height * (ResHeight / y)
Option6.Left = Option6.Left * (ResWidth / X)
Option6.Top = Option6.Top * (ResHeight / y)
Option6.FontSize = Option6.FontSize * (ResWidth / X)
Option9.Width = Option9.Width * (ResWidth / X)
Option9.Height = Option9.Height * (ResHeight / y)
Option9.Left = Option9.Left * (ResWidth / X)
Option9.Top = Option9.Top * (ResHeight / y)
Option9.FontSize = Option9.FontSize * (ResWidth / X)
Option10.Width = Option10.Width * (ResWidth / X)
Option10.Height = Option10.Height * (ResHeight / y)
Option10.Left = Option10.Left * (ResWidth / X)
Option10.Top = Option10.Top * (ResHeight / y)
Option10.FontSize = Option10.FontSize * (ResWidth / X)
TimeAwal = TimeAwal
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()  
    'Unload MenuUtama  
    End  
End Sub
```

```
Private Sub Option1_Click()  
    Unload MenuUtama  
    Load PosGeoSampel  
End Sub
```

```
Private Sub Option2_Click()  
    Option3.Visible = True  
    Option4.Visible = True  
    Option5.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Option3_Click()  
    Unload MenuUtama  
    Load InfoI125  
End Sub
```

```
Private Sub Option4_Click()  
    Unload MenuUtama  
    Load Fasilitas  
End Sub
```

```
Private Sub Option5_Click()  
    Unload MenuUtama  
    Load MenuProses  
End Sub
```

```
Private Sub Option6_Click()  
    Option7.Visible = True  
    Option8.Visible = True
```

```
Option9.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Option7_Click()  
    Unload MenuUtama  
    Load Recording  
End Sub
```

```
Private Sub Option8_Click()  
    Unload MenuUtama  
    Load FrmLoading  
End Sub
```

```
Private Sub Option9_Click()  
    Unload MenuUtama  
    Load CCTV  
End Sub
```

```
Private Sub Option10_Click()  
    Unload MenuUtama  
    Load Histori1125  
End Sub
```

```
Private Sub Text2_Click()  
    Command1.SetFocus  
End Sub
```

```
Private Sub Text3_Click()  
    Command1.SetFocus  
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()  
    Text2.Text = Format(Now, " hh:mm:ss")  
    Text3.Text = Format(Date, " dddd, dd mmmm yyyy")  
End Sub
```

**ii. Pos Geometri dan Cuplikan**

```
Private Sub Command1_Click()  
  Unload PosGeoSampel  
  Load MenuUtama  
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
  RAK = 1  
  Frame1.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()  
  RAK = 2  
  Frame1.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()  
  RAK = 3  
  Frame1.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click()  
  RAK = 4  
  Frame1.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Command6_Click()  
  RAK = 5  
  Frame1.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image1_Click()  
    Command1.SetFocus  
End Sub
```

```
Private Sub Option1_Click()  
    GEO = 1  
    Unload PosGeoSampel  
    Load DataSampelInput  
End Sub
```

```
Private Sub Option2_Click()  
    GEO = 2  
    Unload PosGeoSampel  
    Load DataSampelInput  
End Sub
```

```
Private Sub Option3_Click()  
    GEO = 3  
    Unload PosGeoSampel  
    Load DataSampelInput  
End Sub
```

```
Private Sub Command7_Click()  
    Standar = 0  
    Sampel = 1  
    Unload PosGeoSampel  
    Load InfoCD  
End Sub
```

```
Private Sub Command8_Click()  
    Frame2.Visible = True  
    File1.Visible = True  
    Command9.Visible = True  
End Sub
```



```

Private Sub Command9_Click()
    Frame2.Visible = False
    File1.Visible = False
    Command9.Visible = False
End Sub

```

```

Private Sub File1_Click()
    BukaFile = File1.FileName
    'Buka File Data
    Open BukaFile For Input As #1
    Input #1, AktI125, Date125, Time125
    Input #1, Date126, Time126, DateCD, TimeCD
    Input #1, NSampel, CountingTime, Volum
    For i = 0 To NSampel - 1
        Input #1, IsotopS(i), TS(i), EnergiS(i), IntensitasS(i), NetAreaS(i),
EfisiensiS(i), AktRadio(i), PersenRadio(i)
    Next i
    Close
    Frame2.Visible = False
    Command9.Visible = False
    File1.Visible = False
    Unload PosGeoSampel
    Load DataSampelOutput
End Sub

```

### iii. Data Cuplikan Input

```

Private Sub Form_Load()
    'Buka Data Kalibrasi Efisiensi
    '-----
    BukaFile = "RAK" + Right$(Str$(RAK), 1) + "GEO" +
    Right$(Str$(GEO), 1) + ".DAT"
    Open BukaFile For Input As #1
    Input #1, NData
    For i = 0 To NData - 1

```

```
    Input #1, Isotop(i), Energi(i), Intensitas(i), Efisiensi(i), Dps(i),  
NetArea(i), CT(i)  
    Next i  
    Input #1, a, b  
    Close  
    Text9.Text = "1"  
    Text13.Text = "300"  
    Text19.Text = "0.010"  
    Text15.Text = Date$  
    Text17.Text = Left$(Time$, 5)  
    Text21.Text = "100"  
    Text23.Text = Date$  
    Text25.Text = Left$(Time$, 5)  
    Text28.Text = Date$  
    Text30.Text = Left$(Time$, 5)  
    Text35.Text = Right$(Date$, 4) + Left$(Date$, 2) + Mid$(Date$,  
4, 2) + ".DAT"  
    Text21.SetFocus  
End Sub
```

```
Private Sub Text21_KeyPress(KeyAscii As Integer)  
    If KeyAscii = 13 Then  
        KeyAscii = 0  
        AktI125 = Val(Text21.Text)  
        If (AktI125 = 0) Then  
            Text21.SetFocus  
        Else  
            Text23.SetFocus  
        End If  
    End If  
End Sub
```

```
Private Sub Text23_KeyPress(KeyAscii As Integer)  
    If KeyAscii = 13 Then  
        KeyAscii = 0
```

```

Date125 = Text23.Text
Month2 = Val(Left$(Date125, 2))
Day2 = Val(Mid$(Date125, 4, 2))
Year2 = Val(Right$(Date125, 4))
If Day2 < 1 Or Day2 > 31 Or Month2 < 1 Or Month2 > 12 Or
Year2 < 1000 Or Len(Date125) > 10 Or _
Len(Date125) < 10 Or (Year2 Mod 4 > 0 And Month2 = 2
And Day2 > 28) Or _
(Year2 Mod 4 = 0 And Month2 = 2 And Day2 > 29) Or
((Month2 = 4 Or Month2 = 6 Or _
Month2 = 9 Or Month2 = 11) And Day2 > 30) Then
    Beep
    Text23.SetFocus
Else
    Text25.SetFocus
End If
End If
End Sub

```

```

Private Sub Text25_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    KeyAscii = 0
    Time125 = Text25.Text
    Hour2 = Val(Left$(Time125, 2)): Minute2 =
Val(Mid$(Time125, 4, 2))
    If Len(Time125) > 5 Or Len(Time125) < 5 Or (Mid$(Time125,
3, 1) <> "." And Mid$(Time125, 3, 1) <> ":") Or _
Hour2 < 0 Or Hour2 > 24 Or Minute2 < 0 Or Minute2 > 59 Or
(Hour2 > 23 And Minute2 > 0) Then
        Beep
        Text25.SetFocus
    Else
        Text9.SetFocus
    End If
End If

```

```
End If  
End Sub
```

```
Private Sub Text9_KeyPress(KeyAscii As Integer)  
If KeyAscii = 13 Then  
KeyAscii = 0  
NSampel = Val(Text9.Text)  
If (NSampel < 1 Or NSampel > 5) Then  
Beep  
Text9.SetFocus  
Elseif (NSampel > 0 And NSampel < 6) Then  
For i = NSampel To 4  
Text1(i).Visible = False  
Text2(i).Visible = False  
Text3(i).Visible = False  
Text4(i).Visible = False  
Text5(i).Visible = False  
Text6(i).Visible = False  
Text7(i).Visible = False  
Text11(i).Visible = False  
Text31(i).Visible = False  
Next  
Text13.SetFocus  
End If  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub Text13_KeyPress(KeyAscii As Integer)  
If KeyAscii = 13 Then  
KeyAscii = 0  
CountingTime = Val(Text13.Text)  
If (CountingTime = 0) Then  
Text13.SetFocus  
Else  
Text19.SetFocus
```

```
End If
End If
End Sub
```

```
Private Sub Text19_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
KeyAscii = 0
Volum = Val(Text19.Text)
If (Volum = 0) Then
Text19.SetFocus
Else
Text15.SetFocus
End If
End If
End Sub
```

```
Private Sub Text15_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
KeyAscii = 0
Date126 = Text15.Text
Month1 = Val(Left$(Date126, 2))
Day1 = Val(Mid$(Date126, 4, 2))
Year1 = Val(Right$(Date126, 4))
If Day1 < 1 Or Day1 > 31 Or Month1 < 1 Or Month1 > 12 Or
Year1 < 1000 Or Len(Date126) > 10 Or
Len(Date126) < 10 Or (Year1 Mod 4 > 0 And Month1 = 2
And Day1 > 28) Or
(Year1 Mod 4 = 0 And Month1 = 2 And Day1 > 29) Or
((Month1 = 4 Or Month1 = 6 Or
Month1 = 9 Or Month1 = 11) And Day1 > 30) Then
Beep
Text15.SetFocus
Else
Text17.SetFocus
End If
```

```
End If
End Sub
```

```
Private Sub Text17_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    KeyAscii = 0
    Time126 = Text17.Text
    Hour1 = Val(Left$(Time126, 2)): Minute1 =
Val(Mid$(Time126, 4, 2))
If Len(Time126) > 5 Or Len(Time126) < 5 Or (Mid$(Time126,
3, 1) <> "." And Mid$(Time126, 3, 1) <> ":") Or _
    Hour1 < 0 Or Hour1 > 24 Or Minute1 < 0 Or Minute1 > 59 Or
    (Hour1 > 23 And Minute1 > 0) Then
        Beep
        Text17.SetFocus
    Else
        Text28.SetFocus
    End If
End If
End Sub
```

```
Private Sub Text28_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    KeyAscii = 0
    DateCD = Text28.Text
    Month3 = Val(Left$(DateCD, 2))
    Day3 = Val(Mid$(DateCD, 4, 2))
    Year3 = Val(Right$(DateCD, 4))
    If Day3 < 1 Or Day3 > 31 Or Month3 < 1 Or Month3 > 12 Or
Year3 < 1000 Or Len(DateCD) > 10 Or _
    Len(DateCD) < 10 Or (Year3 Mod 4 > 0 And Month3 = 2
And Day3 > 28) Or _
    (Year3 Mod 4 = 0 And Month3 = 2 And Day3 > 29) Or
((Month3 = 4 Or Month3 = 6 Or _
```

```

    Month3 = 9 Or Month3 = 11) And Day3 > 30) Then
    Beep
    Text28.SetFocus
Else
    Text35.Text = Right$(DateCD, 4) + Left$(DateCD, 2) +
Mid$(DateCD, 4, 2) + ".DAT"
    Text30.SetFocus
End If
End If
End Sub

Private Sub Text30_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    KeyAscii = 0
    TimeCD = Text30.Text
    Hour3 = Val(Left$(TimeCD, 2)): Minute3 =
Val(Mid$(TimeCD, 4, 2))
    If Len(TimeCD) > 5 Or Len(TimeCD) < 5 Or (Mid$(TimeCD,
3, 1) <> "." And Mid$(TimeCD, 3, 1) <> ":") Or _
    Hour3 < 0 Or Hour3 > 24 Or Minute3 < 0 Or Minute3 > 59 Or
(Hour3 > 23 And Minute3 > 0) Then
        Beep
        Text30.SetFocus
    Else
        D126CD = DateDiff("d", Date126, DateCD) * 24 +
(TimeValue(TimeCD) - TimeValue(Time126)) * 24
        D125CD = DateDiff("d", Date125, DateCD) * 24 +
(TimeValue(TimeCD) - TimeValue(Time125)) * 24
        TS125 = 59.91 * 24
        Akt1125CD = Akt1125 * Exp(-Log(2) / TS125 * D125CD)
        Text1(0).Text = " 1"
        Text2(0).SetFocus
    End If
End If
End Sub

```

```
Private Sub Text2_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
KeyAscii = 0
IsotopS(Index) = Text2(Index).Text
If (IsotopS(Index) = "") Then
Text2(Index).SetFocus
Else
If IsotopS(Index) = "I-126" Then
Text31(Index) = "13.0"
Text3(Index) = "388.60"
Text4(Index) = "34.70"
ElseIf IsotopS(Index) = "Mo-99" Then
Text31(Index) = " "
Text3(Index) = "739.40"
Text4(Index) = "12.14"
ElseIf IsotopS(Index) = "Cs-137" Then
Text31(Index) = "11008.64"
Text3(Index) = "661.64"
Text4(Index) = "86.0"
ElseIf IsotopS(Index) = "I-131" Then
Text31(Index) = "8.02"
Text3(Index) = "364.49"
Text4(Index) = "82.4"
End If
Text31(Index).SetFocus
End If
End If
End Sub
```

```
Private Sub Text31_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
KeyAscii = 0
```

```
TS(Index) = Val(Text31(Index).Text)
If (TS(Index) = 0) Then
    Text31(Index).SetFocus
Else
    Text3(Index).SetFocus
End If
End If
End Sub
```

```
Private Sub Text3_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As
Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    KeyAscii = 0
    EnergiS(Index) = Val(Text3(Index).Text)
    If (EnergiS(Index) = 0) Then
        Text3(Index).SetFocus
    Else
        EfisiensiS(Index) = a * EnergiS(Index) ^ b
        Text4(Index).SetFocus
    End If
End If
End Sub
```

```
Private Sub Text4_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As
Integer)
If KeyAscii = 13 Then
    KeyAscii = 0
    IntensitasS(Index) = Val(Text4(Index).Text)
    If (IntensitasS(Index) = 0) Then
        Text4(Index).SetFocus
    Else
        Text5(Index).SetFocus
    End If
End If
End Sub
```

```

Private Sub Text5_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As
Integer)
If KeyAscii = 13 Then
KeyAscii = 0
NetAreaS(Index) = Val(Text5(Index).Text)
If (NetAreaS(Index) = 0) Then
Text5(Index).SetFocus
Else
'Perhitungan uCi/mCi I-125 dan %
AktuCi(Index) = ((NetAreaS(Index) / CountingTime) /
(EfisiensiS(Index) * IntensitasS(Index) / 100)) / 37000#
AktuCiCD(Index) = AktuCi(Index) * Exp(-Log(2) /
(TS(Index) * 24) * D126CD)
AktRadio(Index) = (AktuCiCD(Index) / Volum) / AktI125CD
PersenRadio(Index) = (AktuCiCD(Index) / Volum) /
(AktI125CD * 1000) * 100
Text6(Index).Text = Format(EfisiensiS(Index),
"0.00000E+00")
Text7(Index).Text = Format(AktRadio(Index),
"0.00000E+00")
Text11(Index).Text = Format(PersenRadio(Index),
"0.00000E+00")
If (NSampel = Index + 1) Then
Text35.SetFocus
Else
Text1(Index + 1).Text = " " & Val(Index + 2)
Text2(Index + 1).SetFocus
End If
End If
End If
End Sub

```

```

Private Sub Text35_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then

```

```
KeyAscii = 0
SimpanFile = Text35.Text
If SimpanFile = "" Then
    Text35.SetFocus
Else
    Command2.SetFocus
End If
End If
End Sub

Private Sub Command1_Click()
    Unload DataSampelInput
    Load MenuUtama
End Sub

Private Sub Command2_Click()
    'Simpan Data
    SimpanFile = Text35.Text
    Open SimpanFile For Output As #1
    Write #1, AktI125, Date125, Time125
    Write #1, Date126, Time126, DateCD, TimeCD
    Write #1, NSampel, CountingTime, Volum
    For i = 0 To NSampel - 1
        Write #1, IsotopS(i), TS(i), EnergiS(i), IntensitasS(i),
NetAreaS(i), EfisiensiS(i), AktRadio(i), PersenRadio(i)
    Next i
    Close
    Frame1.Visible = True
    Command3.Visible = True
    Command4.Visible = True
    Command3.SetFocus
End Sub

Private Sub Command3_Click()
    Frame1.Visible = False
```

```
Command3.Visible = False
Command4.Visible = False
'PRINT
Printer.Print: Printer.Print: Printer.Print: Printer.Print:
Printer.Print
Printer.FontName = TimesNewRoman
Printer.FontBold = True
Printer.FontUnderline = True
Printer.FontSize = 16
Printer.Print Tab(10); "RESULT"
Printer.FontBold = False
Printer.FontUnderline = False
Printer.FontSize = 13
Printer.Print
Printer.Print Tab(10); "Assay Time of I-125 (Dose Calibrator) : "
Printer.Print Tab(10); "  Date (mm-dd-yyyy) = "; Tab(35);
Date125
Printer.Print Tab(10); "  Time (hh:mm)   = "; Tab(35);
Time125
Printer.Print Tab(10); "  Radioactivity of I-125 (mCi/mL) = ";
AktI125
Printer.Print
Printer.Print Tab(10); "Assay Time of radionuclides / impurities
(Gamma Spectrometer) : "
Printer.Print Tab(10); "  Date (mm-dd-yyyy) = "; Tab(35);
Date126
Printer.Print Tab(10); "  Time (hh:mm)   = "; Tab(35);
Time126
Printer.Print
Printer.Print Tab(10); "Calibration Time : "
Printer.Print Tab(10); "  Date (mm-dd-yyyy) = "; Tab(35);
DateCD
Printer.Print Tab(10); "  Time (hh:mm)   = "; Tab(35);
TimeCD
```

```

Printer.Print Tab(10); " Radioactivity of I-125 (mCi/mL) = ";
Format(AktI125CD, " 0.000000E+00")
Printer.Print
For i = 0 To NSampel - 1
Printer.FontUnderline = True
Printer.Print Tab(10); "Peak : "; i + 1
Printer.FontUnderline = False
Printer.Print Tab(10); "Nuclide"; Tab(44); ": "; IsotopS(i)
Printer.Print Tab(10); "Half Life (days)"; ; Tab(44); ": "; TS(i)
Printer.Print Tab(10); "Energy (keV)"; ; Tab(44); ": "; EnergiS(i)
Printer.Print Tab(10); "Intensity (%)"; ; Tab(44); ": ";
IntensitasS(i)
Printer.Print Tab(10); "Net Area"; ; Tab(44); ": "; NetAreaS(i)
Printer.Print Tab(10); "Counting Time (s)"; Tab(44); ": ";
CountingTime
Printer.Print Tab(10); "Efficiency"; ; Tab(44); ": ";
Format(EfisiensiS(i), " 0.000000E+00")
Printer.Print Tab(10); "-----"
Printer.Print Tab(10); "Radioactivity of nuclide (uCi/mCi I-
125)"; Tab(52); "= "; Format(AktRadio(i), " 0.000000E+00")
Printer.Print Tab(33); "Percentage( % )"; Tab(52); "= ";
Format(PersenRadio(i), " 0.000000E+00")
Printer.Print Tab(10); "-----"
Printer.Print
Next i
Printer.EndDoc
Unload DataSampelInput
Load MenuUtama
End Sub

Private Sub Command4_Click()
'BATAL PRINT
Frame1.Visible = False
Command2.SetFocus
End Sub

```

#### iv. Data Cuplikan Output

```

Private Sub Form_Load()
'Data diisikan ke TextBox
'-----
Text21.Text = Akt1125
Text23.Text = Date125
Text25.Text = Time125
Text9.Text = NSampel
Text13.Text = CountingTime
Text19.Text = Volum
Text15.Text = Date126
Text17.Text = Time126
Text28.Text = DateCD
Text30.Text = TimeCD
For i = NSampel To 4
  Text1(i).Visible = False
  Text2(i).Visible = False
  Text31(i).Visible = False
  Text3(i).Visible = False
  Text4(i).Visible = False
  Text5(i).Visible = False
  Text6(i).Visible = False
  Text7(i).Visible = False
  Text11(i).Visible = False
Next
For i = 0 To NSampel - 1
  Text1(i).Text = " " & Str$(i + 1)
  Text2(i).Text = IsotopS(i)
  Text31(i).Text = TS(i)
  Text3(i).Text = EnergiS(i)
  Text4(i).Text = IntensitasS(i)
  Text5(i).Text = NetAreaS(i)
  Text6(i).Text = Format(EfisiensiS(Index), "0.00000E+00")
  Text7(i).Text = Format(AktRadio(Index), "0.00000E+00")

```

```
Text11(i).Text = Format(PersenRadio(Index), "0.00000E+00")
Next
Text35.Text = BukaFile
End Sub

Private Sub Command1_Click()
Unload DataSampelOutput
Load MenuUtama
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Frame1.Visible = True
Command3.Visible = True
Command4.Visible = True
Command3.SetFocus
End Sub

Private Sub Command3_Click()
Frame1.Visible = False
Command3.Visible = False
Command4.Visible = False
'PRINT
Printer.Print: Printer.Print: Printer.Print: Printer.Print:
Printer.Print
Printer.FontName = TimesNewRoman
Printer.FontBold = True
Printer.FontUnderline = True
Printer.FontSize = 16
Printer.Print Tab(10); "RESULT"
Printer.FontBold = False
Printer.FontUnderline = False
Printer.FontSize = 13
Printer.Print
Printer.Print Tab(10); "Assay Time of I-125 (Dose Calibrator) : "
Printer.Print Tab(10); " Date (mm-dd-yyyy) = "; Tab(35);
Date125
```

```

Printer.Print Tab(10); " Time (hh:mm) = "; Tab(35);
TimeI25
Printer.Print Tab(10); " Radioactivity of I-125 (mCi/mL) = ";
AktI125
Printer.Print
Printer.Print Tab(10); "Assay Time of radionuclides / impurities
(Gamma Spectrometer) : "
Printer.Print Tab(10); " Date (mm-dd-yyyy) = "; Tab(35);
DateI26
Printer.Print Tab(10); " Time (hh:mm) = "; Tab(35);
TimeI26
Printer.Print
Printer.Print Tab(10); "Calibration Time : "
Printer.Print Tab(10); " Date (mm-dd-yyyy) = "; Tab(35);
DateCD
Printer.Print Tab(10); " Time (hh:mm) = "; Tab(35);
TimeCD
Printer.Print Tab(10); " Radioactivity of I-125 (mCi/mL) = ";
Format(AktI125CD, " 0.000000E+00")
Printer.Print
For i = 0 To NSampel - 1
Printer.FontUnderline = True
Printer.Print Tab(10); "Peak : "; i + 1
Printer.FontUnderline = False
Printer.Print Tab(10); "Nuclide"; Tab(44); ": "; IsotopS(i)
Printer.Print Tab(10); "Half Life (days)"; ; Tab(44); ": "; TS(i)
Printer.Print Tab(10); "Energy (keV)"; ; Tab(44); ": "; EnergiS(i)
Printer.Print Tab(10); "Intensity (%)"; ; Tab(44); ": ";
IntensitasS(i)
Printer.Print Tab(10); "Net Area"; ; Tab(44); ": "; NetAreaS(i)
Printer.Print Tab(10); "Counting Time (s)"; Tab(44); ": ";
CountingTime
Printer.Print Tab(10); "Efficiency"; ; Tab(44); ": ";
Format(EfisiensiS(i), " 0.000000E+00")
Printer.Print Tab(10); "-----"

```

```

Printer.Print Tab(10); "Radioactivity of nuclide (uCi/mCi I-
125)"; Tab(52); "= "; Format(AktRadio(i), " 0.00000E+00")
Printer.Print Tab(33); "Percentage( % )"; Tab(52); "= ";
Format(PersenRadio(i), " 0.00000E+00")
Printer.Print Tab(10); "-----"
Printer.Print
Next i
Printer.EndDoc
Unload DataSampelOutput
Load MenuUtama
End Sub

```

```

Private Sub Command4_Click()
'BATAL PRINT
Frame1.Visible = False
Command2.SetFocus
End Sub

```

#### **v. Fasilitas**

```

Private Sub Command1_Click()
Unload Fasilitas
Load MenuUtama
End Sub

```

```

Private Sub Dir1_Change()
File1.Path = Dir1.Path
End Sub

```

```

Private Sub Drive1_Change()
Dir1.Path = Drive1.Drive
End Sub

```

```

Private Sub File1_Click()
SelectedFile = File1.Path & "\" & File1.FileName

```

```
Image1.Picture = LoadPicture(SelectedFile)
End Sub
```

**vi. Gambar Video**

```
Private Sub Form_Load()
GVideo = 1
End Sub
```

```
Private Sub Image1_Click()
RunProses = 1
Label1.Visible = False
Label2.Visible = False
Label3.Visible = False
Label4.Visible = False
Image17.Visible = True
End Sub
```

```
Private Sub Image2_Click()
RunProses = 2
Label1.Visible = False
Label2.Visible = False
Label3.Visible = False
Label4.Visible = False
Image18.Visible = True
End Sub
```

```
Private Sub Image3_Click()
RunProses = 3
Label1.Visible = False
Label2.Visible = False
Label3.Visible = False
Label4.Visible = False
Image19.Visible = True
End Sub
```

```
Private Sub Image4_Click()  
    RunProses = 4  
    Label1.Visible = False  
    Label2.Visible = False  
    Label3.Visible = False  
    Label4.Visible = False  
    Image20.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image17_Click()  
    Image17.Visible = False  
    Unload GbrVideo  
    Load ProsesI125  
End Sub
```

```
Private Sub Image18_Click()  
    Image18.Visible = False  
    Unload GbrVideo  
    Load ProsesI125  
End Sub
```

```
Private Sub Image19_Click()  
    Image19.Visible = False  
    Unload GbrVideo  
    Load ProsesI125  
End Sub
```

```
Private Sub Image20_Click()  
    Image20.Visible = False  
    Unload GbrVideo  
    Load ProsesI125  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Click()  
    Unload GbrVideo
```

```
Load MenuProses  
End Sub
```

```
Private Sub Label1_Click()  
RunProses = 1  
Image17.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Label2_Click()  
RunProses = 2  
Image18.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Label3_Click()  
RunProses = 3  
Image19.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Label4_Click()  
RunProses = 4  
Image20.Visible = True  
End Sub
```

**vii. History I-125**

```
Private Sub Command1_Click()  
Unload HistoriI125  
Load MenuUtama  
End Sub
```

```
Private Sub Image1_Click()  
Image1.Visible = False  
Image2.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image2_Click()  
Image2.Visible = False  
Image3.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image3_Click()  
Image3.Visible = False  
Image4.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image4_Click()  
Image4.Visible = False  
Image5.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image5_Click()  
Image5.Visible = False  
Image6.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image6_Click()  
Image6.Visible = False  
Image7.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image7_Click()  
Image7.Visible = False  
Image1.Visible = True  
Unload Histori1125  
Load MenuUtama  
End Sub
```

**viii. Info I-125**

```
Private Sub Command1_Click()  
    Unload InfoI125  
    Load MenuUtama  
End Sub
```

```
Private Sub Image1_Click()  
    Image2.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image2_Click()  
    Command1.SetFocus  
End Sub
```

**ix. Info Video**

```
Private Sub Form_Load()  
    TimeAwal = TimeAwal  
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()  
    Image1.Visible = False  
    MediaPlayer1(0).Open "K_I125Persiapan.avi"  
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
    Image2.Visible = False  
    MediaPlayer1(1).Open "K_I125KirimTarget.avi"  
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()  
    Image3.Visible = False  
    MediaPlayer1(2).Open "Anung_I125.avi"  
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()  
    Image4.Visible = False  
    MediaPlayer1(3).Open "K_I125UkurDoseCal.avi"  
End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click()  
    Unload InfoVideo  
    Load MenuProses  
End Sub
```

```
Private Sub Command6_Click()  
    Unload InfoVideo  
    Load GbrVideo  
End Sub
```

```
Private Sub Image1_Click()  
    Image1.Visible = False  
    MediaPlayer1(0).Open "K_I125Persiapan.avi"  
End Sub
```

```
Private Sub Image2_Click()  
    Image2.Visible = False  
    MediaPlayer1(1).Open "K_I125KirimTarget.avi"  
End Sub
```

```
Private Sub Image3_Click()  
    Image3.Visible = False  
    MediaPlayer1(2).Open "Anung_I125.avi"  
End Sub
```

```
Private Sub Image4_Click()  
    Image4.Visible = False  
    MediaPlayer1(3).Open "K_I125UkurDoseCal.avi"  
End Sub
```

**x. Info CCTV**

```
Private Sub Command1_Click()  
  Unload InfoCCTV  
  Load CCTV  
End Sub
```

```
Private Sub Image1_Click()  
  Image1.Visible = False  
  Image2.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image2_Click()  
  Image2.Visible = False  
  Image3.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image3_Click()  
  RunProses = 5  
  Unload InfoCCTV  
  Load ProsesI125  
End Sub
```

**xi. Info DVR**

```
Private Sub Command1_Click()  
  Unload InfoDVR  
  Load CCTV  
End Sub
```

```
Private Sub Image1_Click()  
  Image1.Visible = False  
  Image2.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image2_Click()  
Image2.Visible = False  
Image3.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image3_Click()  
Image3.Visible = False  
Image4.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image4_Click()  
Command1.SetFocus  
End Sub
```

#### **xii. Info CD**

```
Private Sub Command1_Click()  
Unload InfoCD  
Load PosGeoSampel  
End Sub
```

```
Private Sub Image1_Click()  
Image1.Visible = False  
Image2.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image2_Click()  
Unload InfoCD  
Load PosGeoSampel  
End Sub
```

#### **xiii. Info Lab RI**

```
Private Sub Command1_Click()  
Unload InfoLabRI
```

```
Load CCTV  
End Sub
```

```
Private Sub Image1_Click()  
RunProses = 6  
Unload InfoLabRI  
Load ProsesI125  
End Sub
```

#### **xiv. Info Peta**

```
Private Sub Command1_Click()  
Unload InfoPeta  
Load WelcomePRR  
End Sub
```

```
Private Sub Image1_Click()  
Image1.Visible = False  
Image2.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image2_Click()  
Image2.Visible = False  
Image3.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image3_Click()  
Image3.Visible = False  
Image4.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image4_Click()  
Image4.Visible = False  
Image5.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Image5_Click()  
  Unload InfoPeta  
  Load WelcomePRR  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Click()  
  Unload InfoPeta  
  Load WelcomePRR  
End Sub
```

#### **xv. CCTV**

```
Private Sub Command1_Click()  
  Unload CCTV  
  Load MenuUtama  
End Sub
```

```
Private Sub Image1_Click()  
  Unload CCTV  
  Load InfoCCTV  
End Sub
```

```
Private Sub Image2_Click()  
  Unload CCTV  
  Load InfoDVR  
End Sub
```

```
Private Sub Image3_Click()  
  Unload CCTV  
  Load InfoLabRI  
End Sub
```

#### **xvi. Menu Proses**

```
Dim X, y, ResWidth, ResHeight As Single  
Private Sub Command1_Click()
```

```
Unload MenuProses  
Load MenuUtama  
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
Unload MenuProses  
Load InfoVideo  
End Sub
```

```
Private Sub Label6_Click()  
Command1.SetFocus  
End Sub
```

```
Private Sub MediaPlayer1_DVDNotify(ByVal EventCode As  
Long, ByVal EventParam1 As Long, ByVal EventParam2 As  
Long)  
MediaPlayer1.Visible = False  
End Sub
```

```
Private Sub MediaPlayer1_EndOfStream(ByVal Result As Long)  
MediaPlayer1.Visible = False  
End Sub
```

```
Private Sub Option1_Click()  
RunProses = 1  
Unload MenuProses  
Load ProsesI125  
End Sub
```

```
Private Sub Option2_Click()  
RunProses = 2  
Unload MenuProses  
Load ProsesI125  
End Sub
```

```
Private Sub Option3_Click()  
  RunProses = 3  
  Unload MenuProses  
  Load ProsesI125  
End Sub
```

```
Private Sub Option4_Click()  
  RunProses = 4  
  Unload MenuProses  
  Load ProsesI125  
End Sub
```

### **xvii. Proses I-125**

```
Private Sub MediaPlayer1_DblClick(Button As Integer,  
  ShiftState As Integer, X As Single, y As Single)  
  Unload ProsesI125  
  If RunProses = 5 Or RunProses = 6 Then  
    Load CCTV  
    ElseIf GVideo = 1 Then  
      Load GbrVideo  
    Else  
      Load MenuProses  
  End If  
End Sub
```

## RIWAYAT PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 27 Maret 1986, dengan nama lengkap Yetty Permata Sari terlahir dari pasangan Bapak Supardi dan Ibu Lies Magdalena, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara yaitu Yessy Puspita Sari dan Yohanna Christiani Lorenza. Penulis beralamat di Perum. Kepuh Permai Jln. Dempo DF 15/92 RT 5 RW 8 Kepuhkiriman Waru Sidoarjo 61256 Jawa

Timur. Penulis adalah alumnus dari TK Dharma Wanita, SD Negeri IV Tropodo, SLTP Negeri I Waru dan SMA Negeri II Surabaya. Setelah lulus menempuh Pendidikan Menengah Atas, penulis melanjutkan Pendidikan Tinggi di Jurusan Kimia Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur Penelusuran Minat dan Bakat (PMDK) pada bulan Agustus 2004. Selama menempuh pendidikan tinggi di ITS, penulis berperan aktif dan berpartisipasi dalam beberapa organisasi dan kegiatan tingkat Jurusan maupun Institut, antara lain Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Koperasi Mahasiswa (KOPMA) DR. Angka ITS dan mengikuti pelatihan DIKLAT TFT (Training For Trainer) KOPMA DR. Angka ITS Surabaya tahun 2005. Penulis sempat menempuh pendidikan dan pelatihan Pengamanan Penerbangan di ATKP Surabaya dan pelatihan Kesamaptaaan Tingkat Junior Aviation Security di Kepolisian Negara Republik Indonesia tahun 2008. Penulis Kerja Praktek di Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka Badan Tenaga Nuklir Nasional (PRR BATAN) Serpong Tangerang periode tahun ajaran 2008/2009. Penulis menamatkan studi di Jurusan Kimia MIPA dengan mengambil Tugas Akhir pada bidang Kimia Analit dengan menempuh penelitian juga di PRR BATAN dan berhasil lulus.