

Pengukuran Radioaktivitas

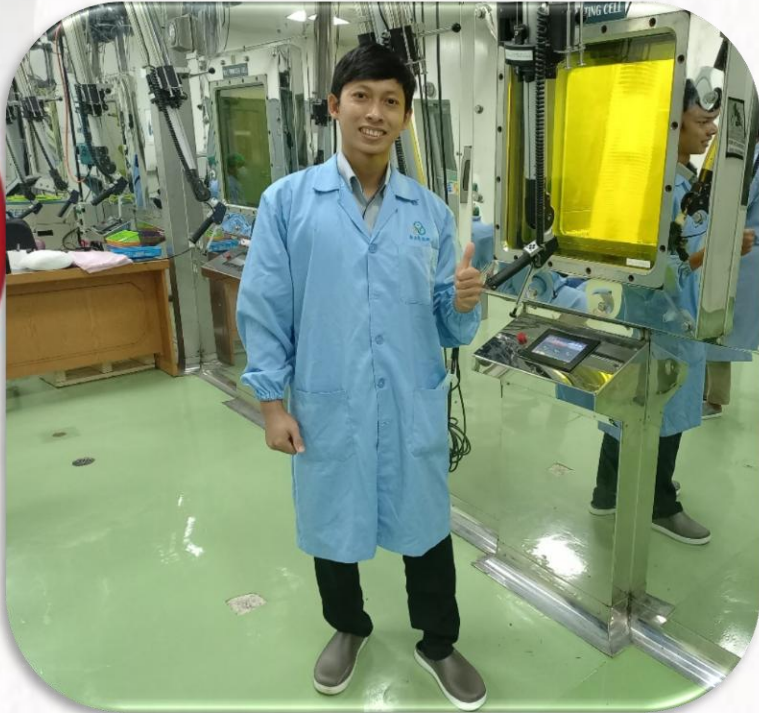
Amal Rezka Putra

Pelatihan Petugas Keahlian Pada Fasilitas Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka dari Siklotron untuk Area Produksi dan Area Sarana Penunjang Kritis bagi Pegawai PT Global Onkolab Farma
30 Juni – 11 Juli 2025

Direktorat Pengembangan Kompetensi BRIN



PROFIL



Nama : Amal Rezka Putra
Jabatan : Peneliti Ahli Muda, QA Manager
Email : amal.rezka.putra@brin.go.id
Mobile : 085284480210
Phone :

Riwayat Pendidikan



2009 – 2013 S1 Farmasi (S.Si.)

2013 – 2014 Apoteker (Apt.)



2020 – 2022 S2 Ilmu Kimia (M.Si)

Riwayat Pelatihan



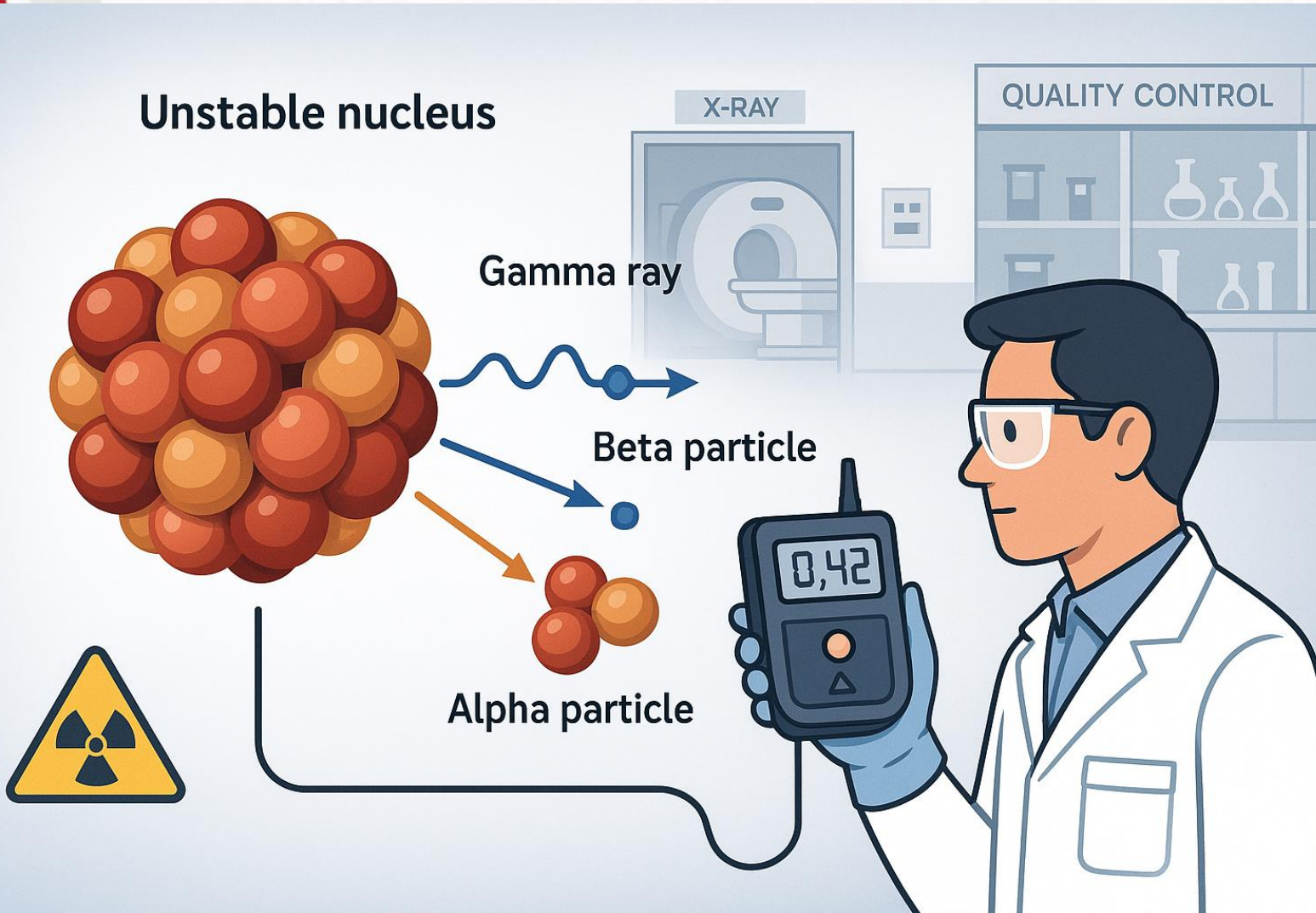
- 2018 – Training for foreign young researchers and engineers in Japan Atomic Energy Agency (JAPAN) 
- 2018 – Regional AFRA Training Course Preparation and QC Tc-99m Radiopharmaceuticals (INDONESIA) 
- 2018 – Regional Training Course on Cyclotron Based Radiopharmaceuticals (KOREA) 
- 2019 – Regional Training Workshop on Production, Quality Control and Health Regulations for Radiopharmaceuticals (SINGAPORE) 
- 2022 – Regional Training Course on Regulatory Aspects of Radiopharmaceuticals Production with GMP Requirements (MONGOLIA) 
- 2024 - Joint IAEA-USA International School on Peaceful Uses of Nuclear Applications (AMERIKA) 

Riwayat Pekerjaan



- | | | |
|---------------|--|---|
| 2015 – 2018 | Quality control staff | |
| 2018 - recent | Quality Assurance Manager | |
| 2023 | Menjadi Tim Perumus Rancangan Peraturan Badan POM Nomor 34 Tahun 2018 tentang Pedoman Cara Pembuatan Obat yang Baik |  |
| 2024 | Memberikan masukan Pedoman Dispensing dan Compounding Radiofarmaka di Rumah Sakit |  |
| 2023 - 2024 | Menjadi Tim Penyusun Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Bidang Ketenaganukliran Subbidang Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka |  |
| 2024 | Menjadi Tim Reviewer Kekayaan Intelektual BRIN |  |
| 2024 | Memberikan masukan terhadap Rancangan Revisi Peraturan Badan POM Nomor 16 Tahun 2015 tentang Tata Laksana dan Penilaian Obat Pengembangan Baru |  |
| 2024 - 2025 | Menjadi Tim Penyusun Modul Pelatihan Pengembangan Kompetensi Bidang Riset dan Inovasi BRIN (Modul Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka) |  |

LATAR BELAKANG



- **Radioaktivitas** adalah proses peluruhan inti atom yang tidak stabil, disertai dengan pemancaran partikel atau sinar. Pengukuran radioaktivitas menjadi sangat penting dalam bidang radiologi, **kedokteran nuklir**, industri, serta pengujian dan pengendalian mutu radiofarmaka.
- Akurasi dalam mengukur radioaktivitas memastikan bahwa **produk radiofarmaka aman digunakan**, memenuhi spesifikasi, dan sesuai regulasi internasional

MANFAAT

- Memahami **prinsip dasar pengukuran** radioaktivitas.
- Mengenal **metode dan instrumen** yang digunakan dalam pengukuran.
- Mengetahui aplikasi pengukuran radioaktivitas dalam **QC radiofarmaka**.
- Mampu **menginterpretasikan** hasil pengukuran untuk memastikan identitas dan kemurnian radionuklida.

TUJUAN PEMBELAJARAN

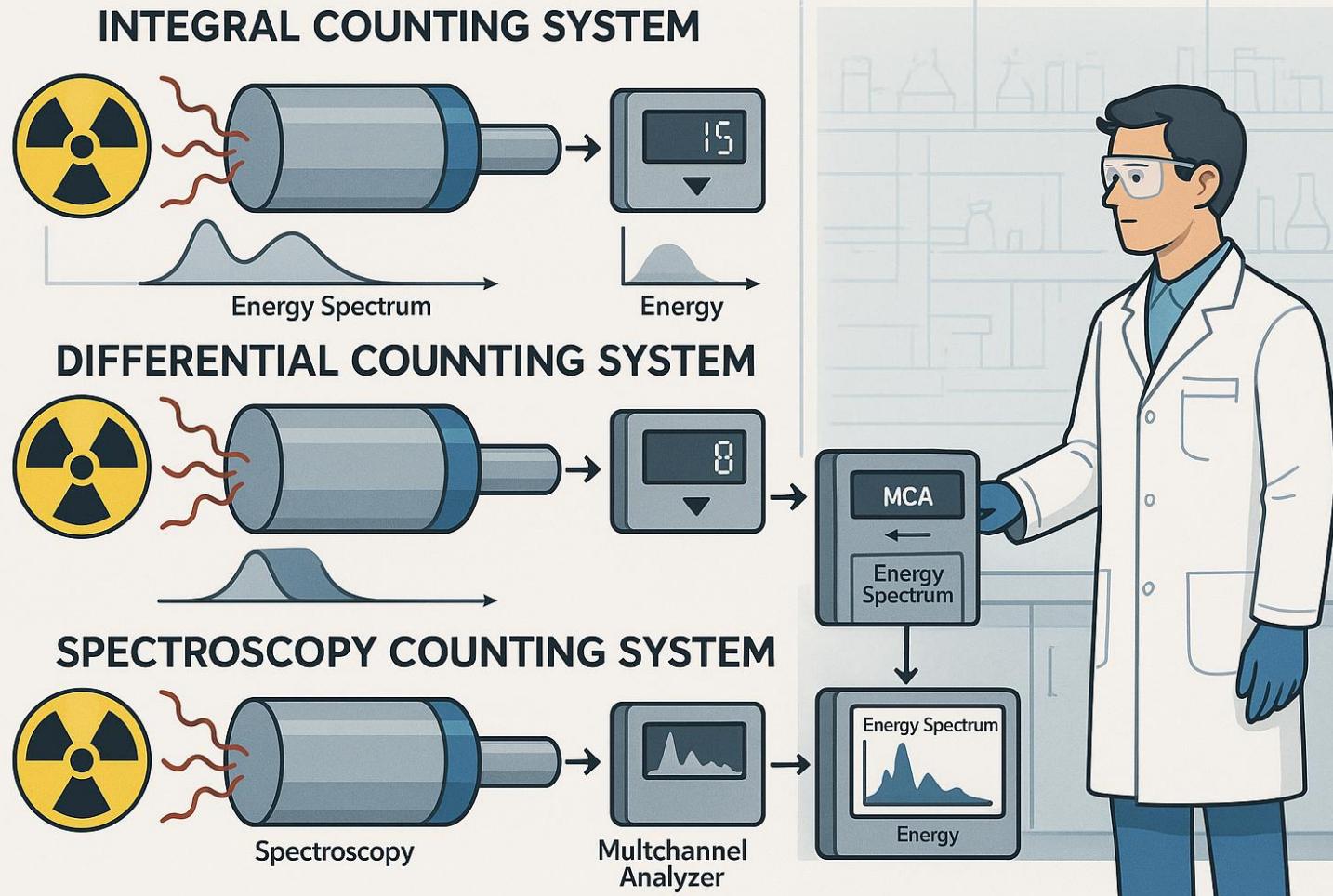
Setelah mempelajari topik ini, peserta diharapkan dapat:

1. Menjelaskan prinsip dasar **pengukuran radioaktivitas**.
2. Mengidentifikasi **metode pengukuran** berdasarkan jenis radionuklida.
3. Melaksanakan prosedur **pengukuran dengan benar**.
4. **Mengevaluasi hasil pengukuran** sesuai standar yang berlaku.

POKOK BAHASAN

- Definisi dan konsep dasar radioaktivitas
- Satuan radioaktivitas (Becquerel, Curie)
- Metode pengukuran radioaktivitas:
- Pengukuran kemurnian radionuklida
- Aplikasi pengukuran dalam pengujian radiofarmaka
- Interpretasi hasil pengukuran dan batas spesifikasi

DASAR TEORI: Sistem Pencacah Radiasi



1. Sistem pencacah Integral - Diferensial

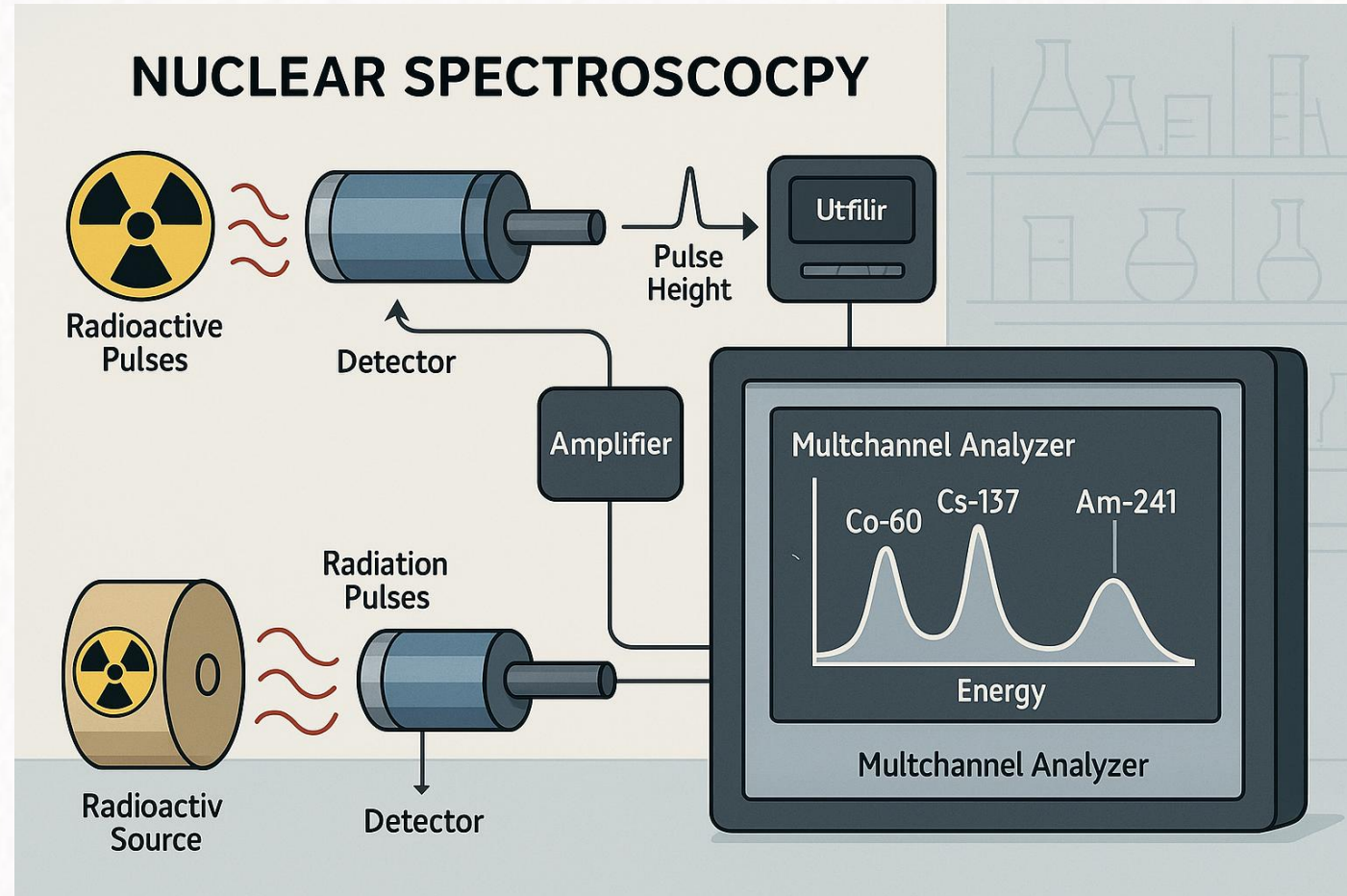
Sistem ini digunakan untuk mencacah atau menghitung jumlah radiasi yang mengenai detektor. Sistem pencacah integral tidak memperdulikan energi radiasi sedangkan sistem pencacah diferensial mengukur pada selang energi tertentu saja.

2. Sistem pencacah Spektroskopi

Rangkaian ini untuk mencacah atau menghitung jumlah radiasi pada setiap rentang energi,

Spektroskopi Nuklir

- **Spektroskopi Nuklir:** Analisa Sumber radiasi dengan mengukur Distribusi Energinya
- **Energi suatu Sumber Sebanding dengan Distribusi Tinggi Pulsa.** Scanning Tinggi Pulsa Diperoleh Spektrum Energi
- **Spektrum Energi :** Spesifik pada tiap radioisotope Untuk Identifikasi Isotop



Spektroskopi Gamma



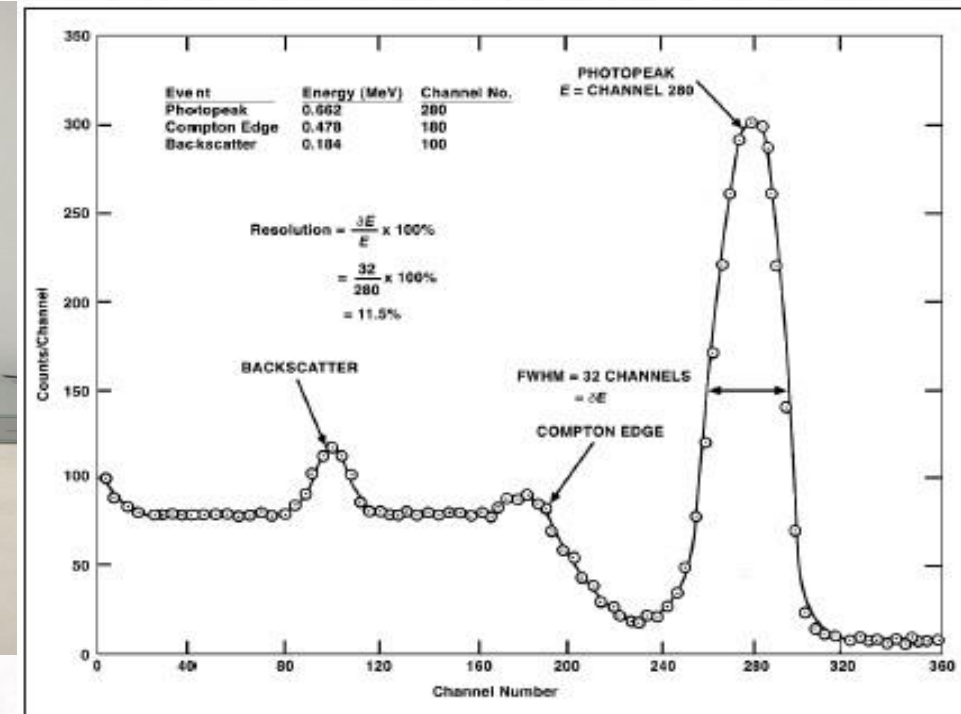
Detektor



Pengolah Data



Sumber Standar

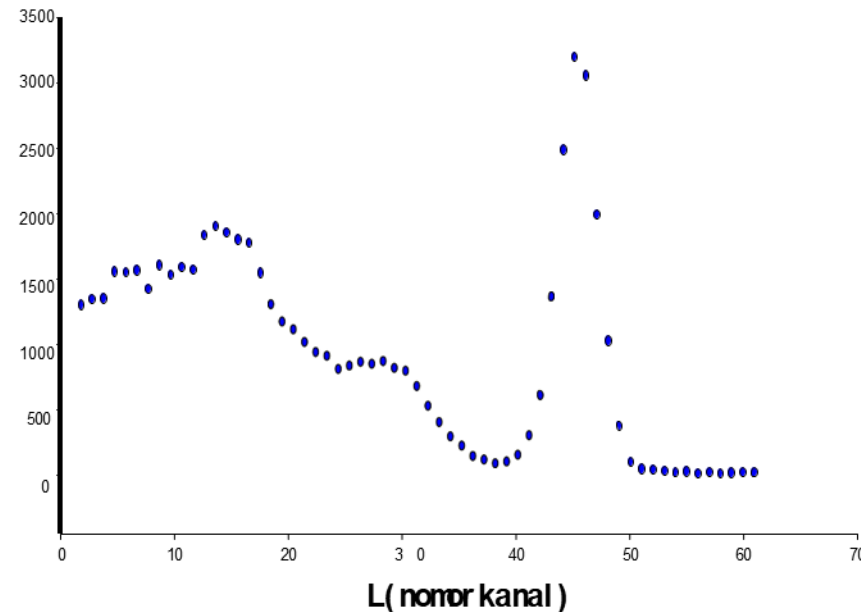
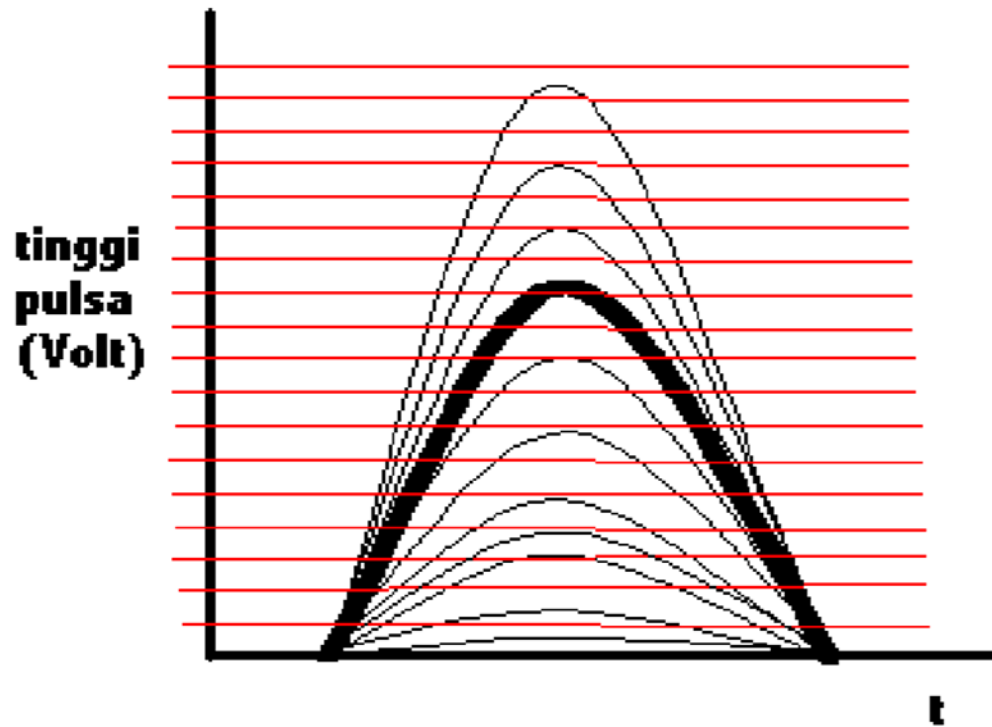


Spektrum
gamma Cs-137

Mode : Window

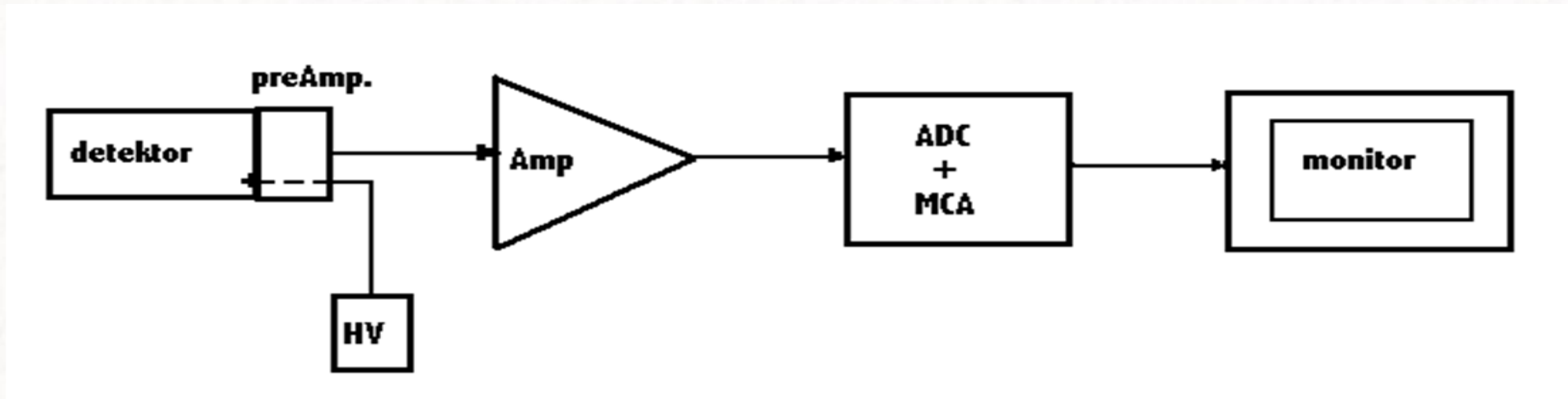
Range Lebar window (ΔE) antara (0 - 1) V

Proses pengukuran seperti pada mode normal, dengan nilai ΔE konstan



Tujuan : mencacah untuk mendapat bentuk spektrum dari suatu sumber radiasi

SISTEM SPEKTROSKOPI



Skema Sistem Spektrokopi

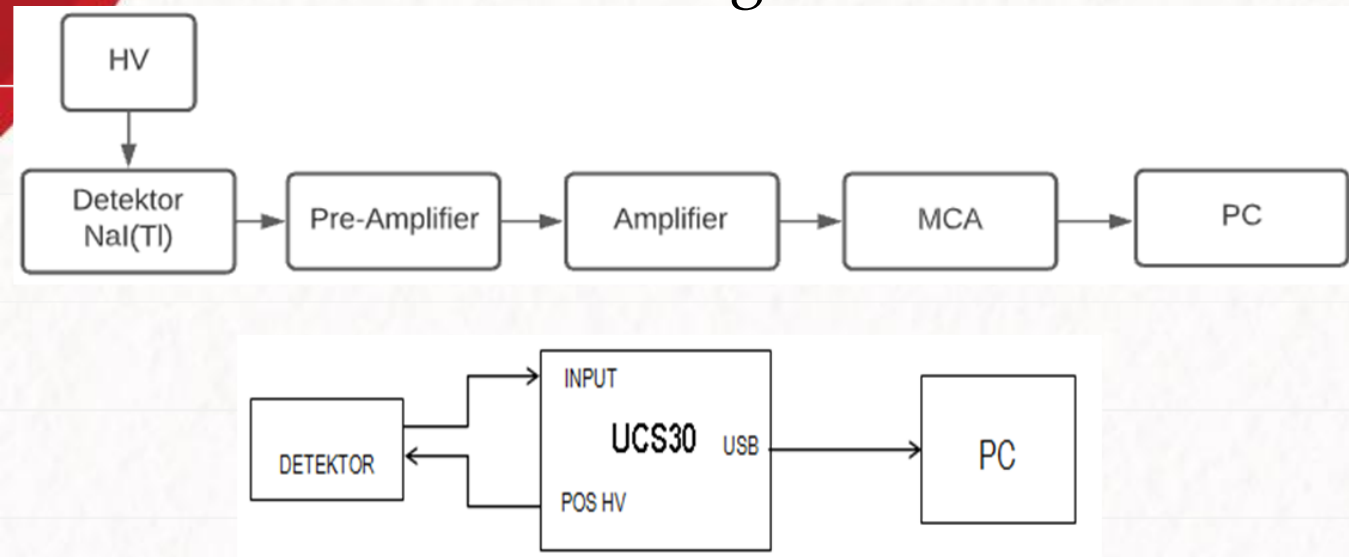
Detektor : sinar gamma : Ge(Li), HpGe, NaI(Tl)
sinarX : Si(Li)
alpha : Surface Barrier, PIPS

Hasil : Energi → jenis radionuklida (kualitatif)
Kuantitas (cacahan) → Aktivitas (kuantitatif)

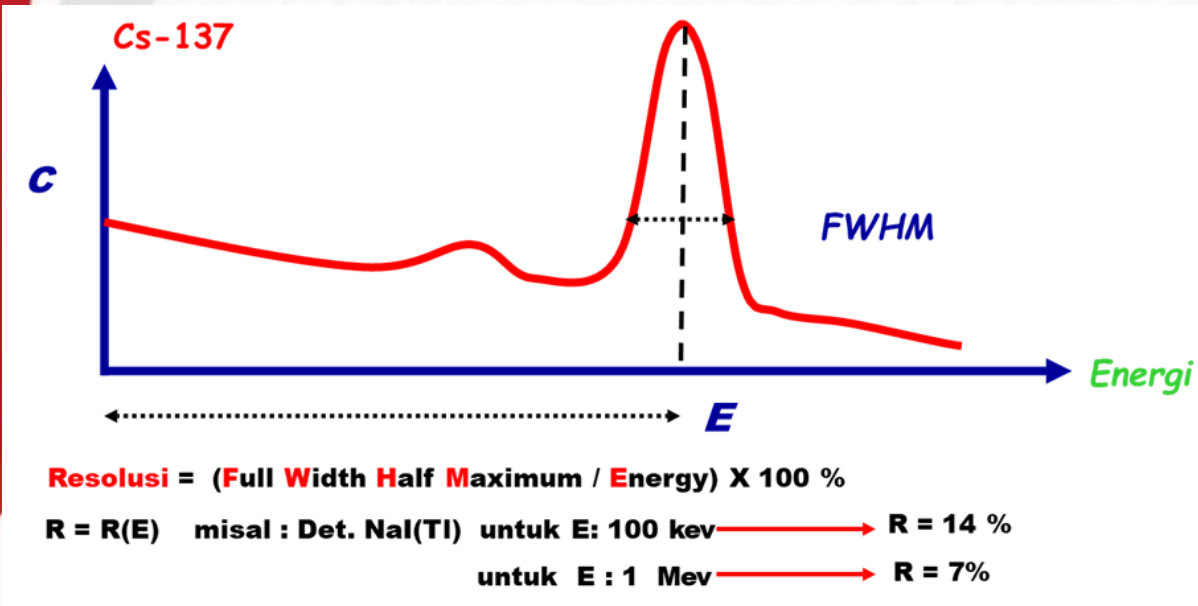
PENGUJIAN/PENGAMBILAN DATA

Unjuk Kerja Detektor (FWHM, Resolusi, Efisiensi) & kalibrasi Energi

Spektroskopi dengan Detector NaI(Tl)



Spektrum Energi

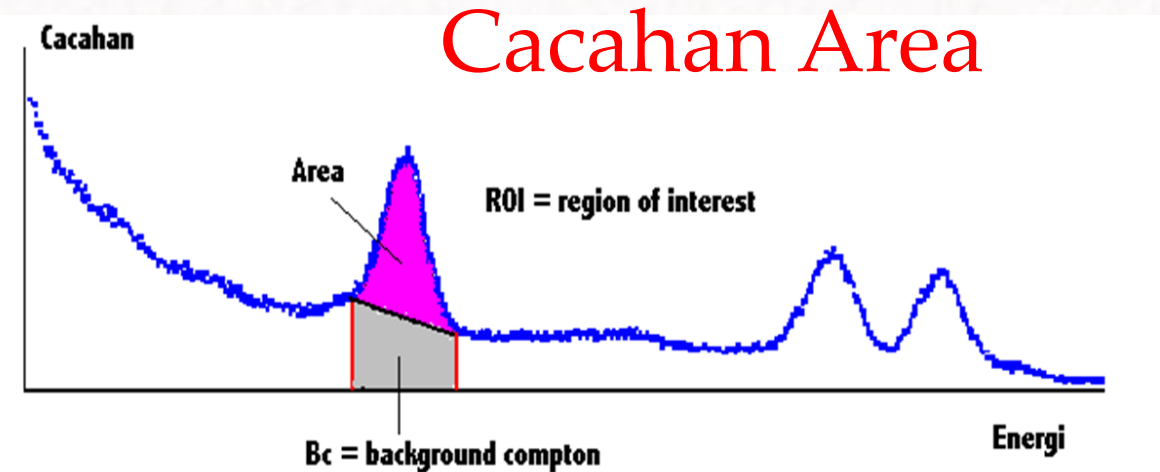


FWHM = *Full width at half maximum*

Rumus menentukan resolusi:

$$Res = \frac{FWHM}{E} \times 100\%$$

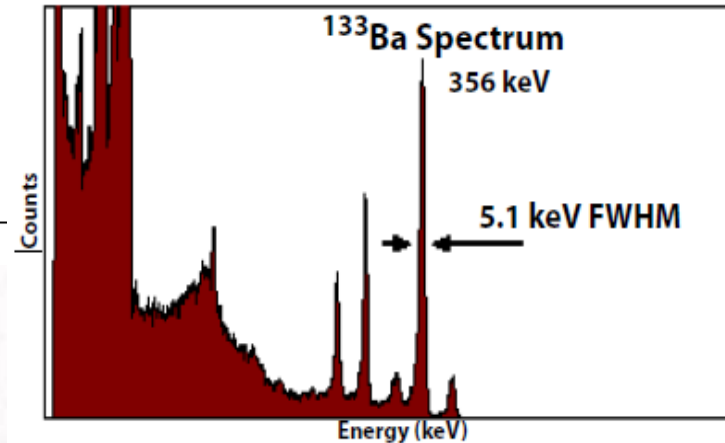
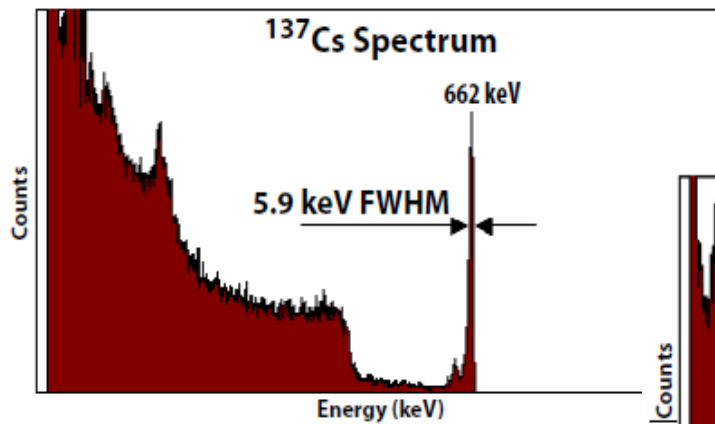
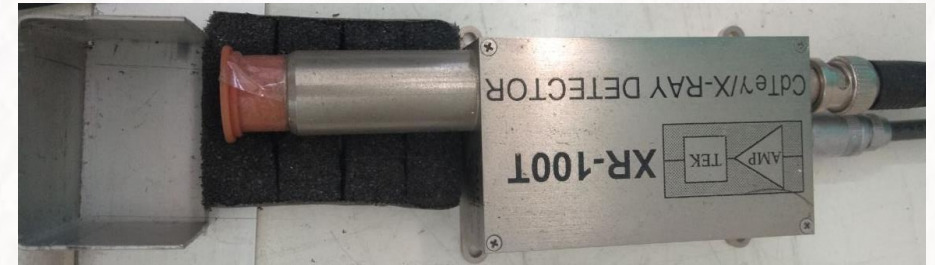
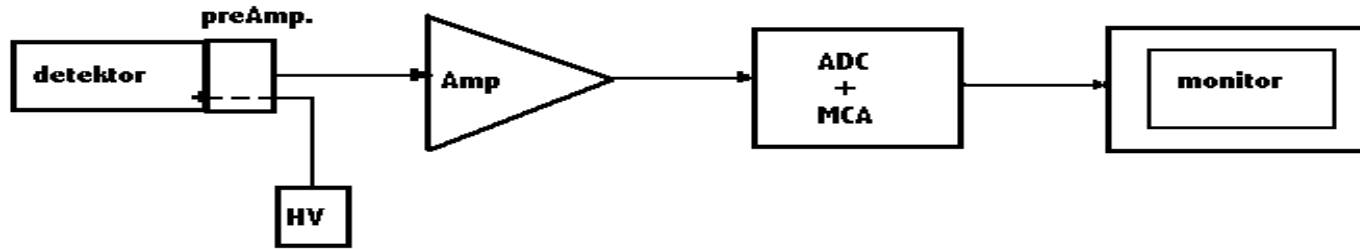
Res = FWHM (keV) → Detektor semikonduktor



- ✓ Integral = Area + BC ,
- ✓ Area = X $\pm \sigma(\%)$

Laju cacah: $R = \frac{Area}{L_T}$; L_T = live time (waktu pengukuran)

Detektor cadmium telluride (CdTe)



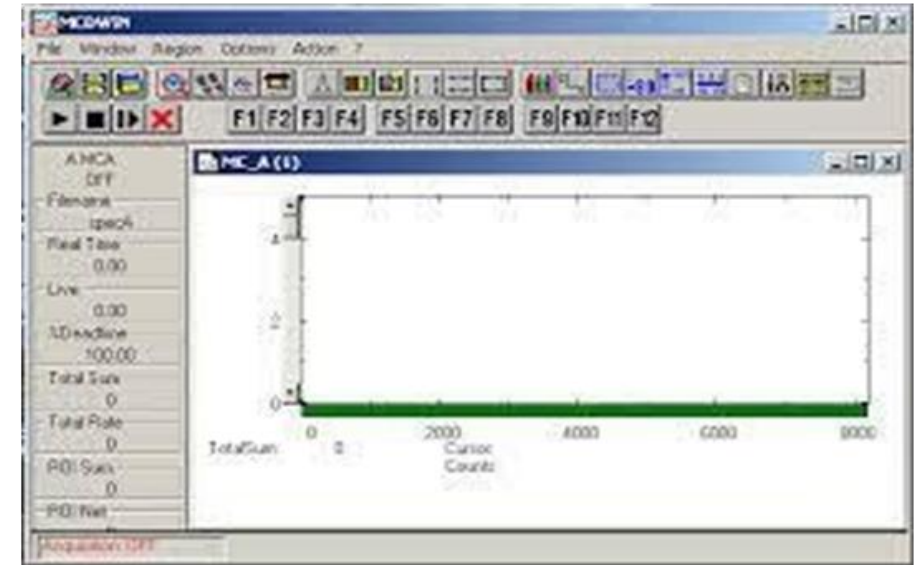
Alat dan Bahan



Multi Channel Analyzer (terintegrasi di PC)



Source kit + Pinset

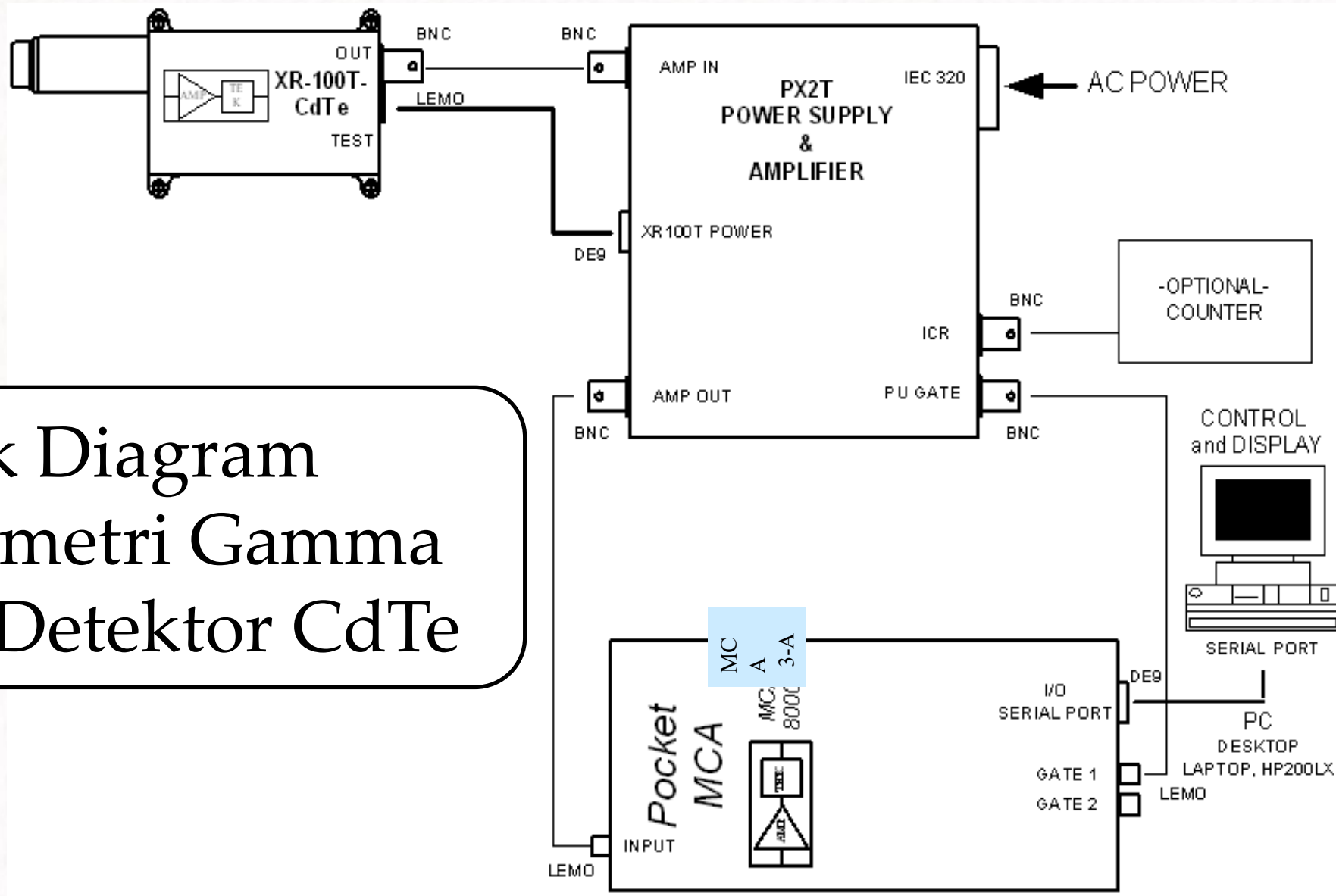


Software MCDWIN MCA-3A



Power Supply & Amplifier Model PX2T

Blok Diagram Spektrometri Gamma dengan Detektor CdTe



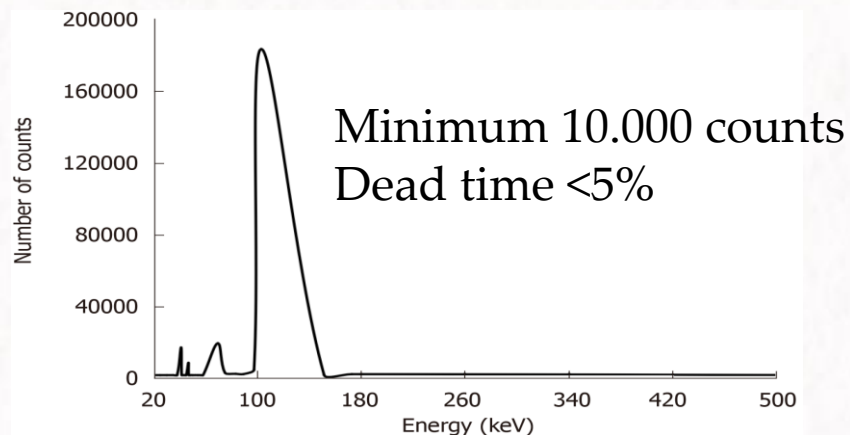
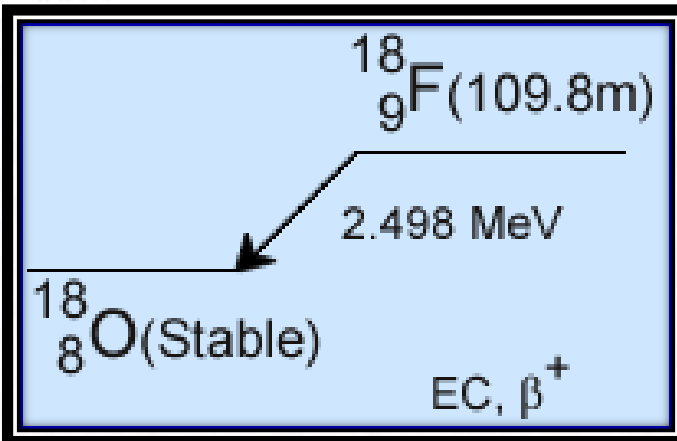
Spektrometri Gamma



Kemurnian Radionuklida

Detektor High Purity Germanium (HPGe)

Satuan energi electron volt (eV)

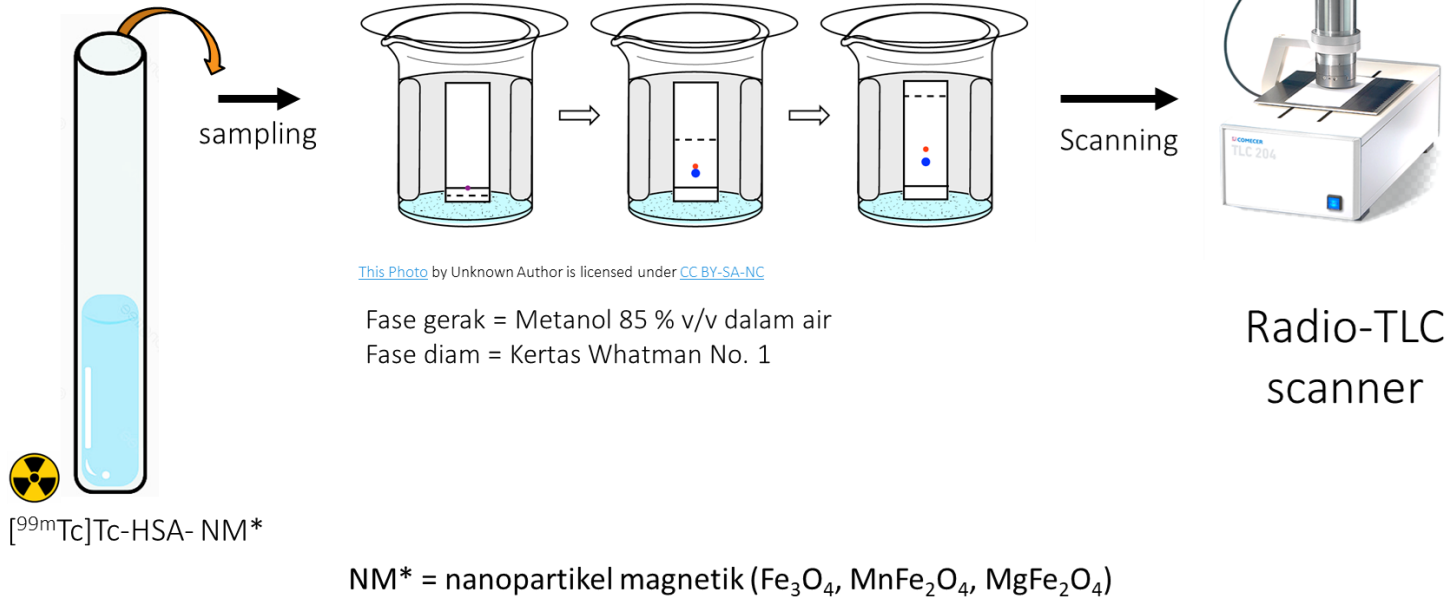


Standar keberterimaan kemurnian radionuklida F-18

- Ph. Euro = 99.9 %
- US Pharmacopoeia 99.5 %

Radio TLC Scanner

Pengujian Radiokimia

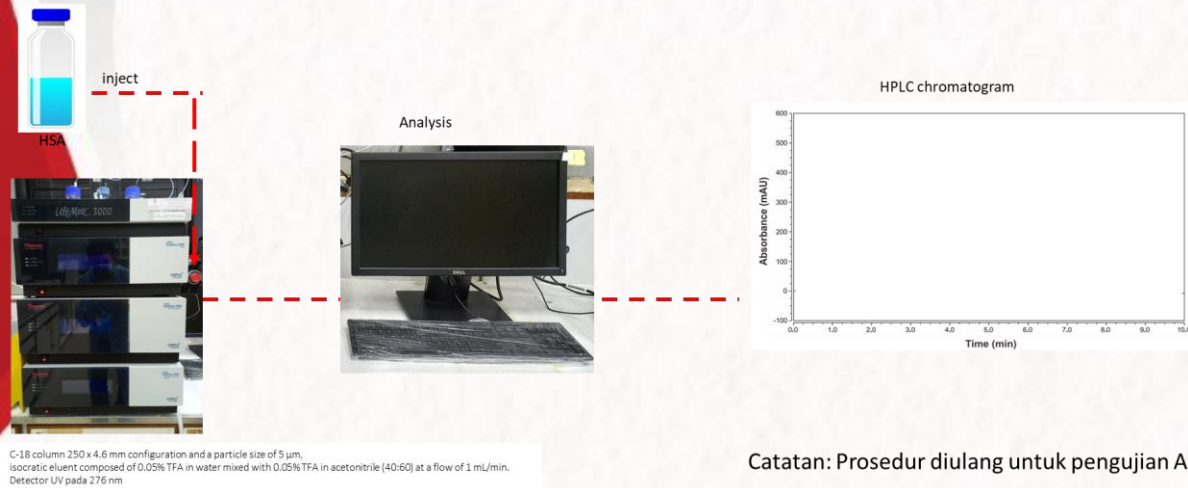


Kemurnian Radiokimia

NaI (Tl) Sodium Iodide
Scintillation Detectors

Satuan centimeter (cm)

Karakterisasi HSA dan AF



Catatan: Prosedur diulang untuk pengujian AF

Kemurnian Radiokimia

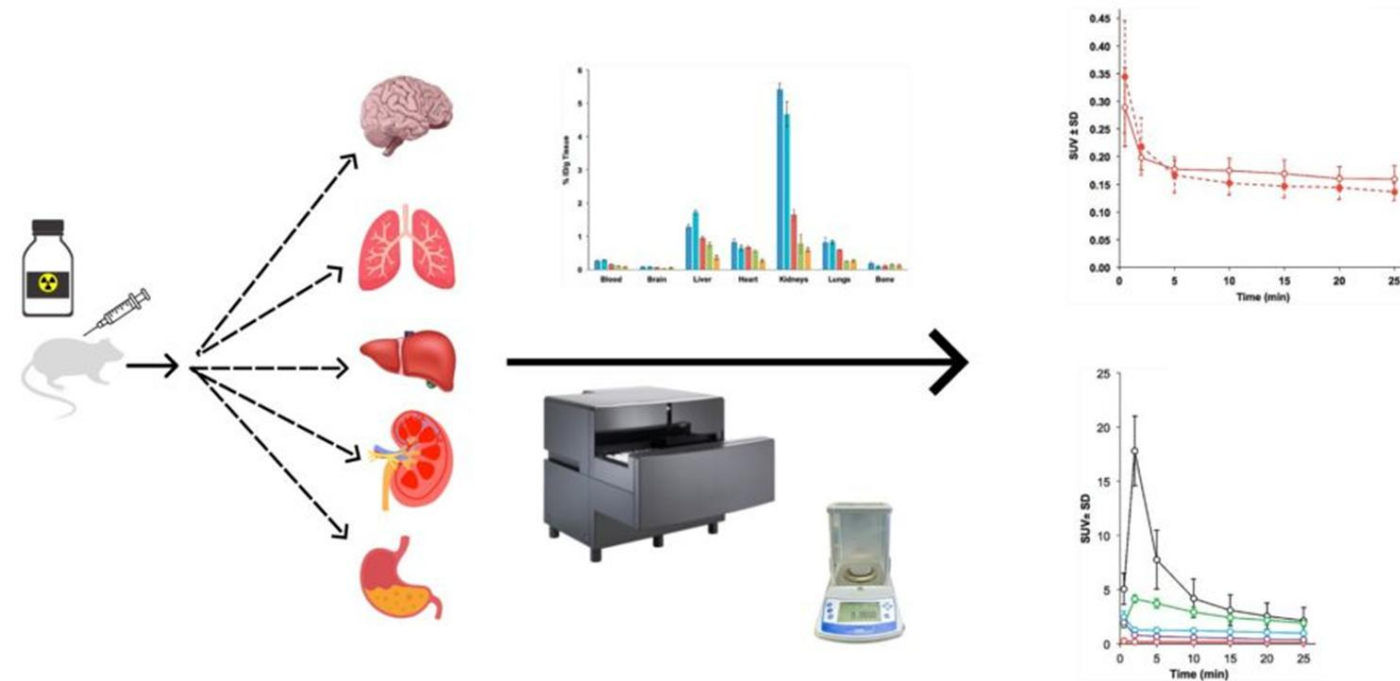
Detektor Bismuth germanate (BGO)

Satuan Menit (*retention time/ rt*)

Radio HPLC



Gamma Counter



Kemurnian Radiokimia/
Biodistribusi

Detektor NaI (TI) Sodium
Iodide Scintillation

Satuan counts

Gamma Ionization Chamber/ Dose Calibrator



Capintec CRC 55Tr

Menentukan Dosis/ Uji
Biodistribusi

NaI (Tl) Sodium Iodide
Scintillation Detectors

Satuan Currie (Ci)/Becquerel (Bq)

SERTIFIKAT KALIBRASI ALAT UKUR AKTIVITAS NOMOR : 045 / S / KN 04 01 / KMR 5.2 / 09 / 2020

ALAT UKUR AKTIVITAS (DOSE CALIBRATOR) YANG DIKALIBRASI :

Nama / Jenis Alat : Capintec CRC-55tR
Tipe / No. Seri Alat : 551752
No. Tanda Terima : 16 / KN 04 01 / KMR 5. 2 / 09 / 2020
Tanggal Tanda Terima : 1 September 2020
Tanggal Kalibrasi : 1 September 2020
Nama Pemilik : Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka - BATAN
Alamat Pemilik : Kawasan PUSPIPTEK, Setu - Tangerang

KONDISI KALIBRASI :

Suhu °C / Kelembaban(%) : 22 / 62
Lokasi Pelaksanaan : PTKMR – BATAN

ALAT UKUR AKTIVITAS STANDAR :

Nama /Jenis Alat : Radioisotope Calibrator - CAPINTEC CRC-7BT
Tipe/ No.Seri Alat : Kamar Pengion / 71742
Buatan Pabrik : New Jersey, USA
Kertelusuran : Laboratoire de Metrologie des Rayonnements Ionisants (LMRI)
Metode Kalibrasi : Relatif
Membandingkan bacaan alat ukur aktivitas (Dose Calibrator)
yang dikalibrasi dengan alat ukur aktivitas standar.

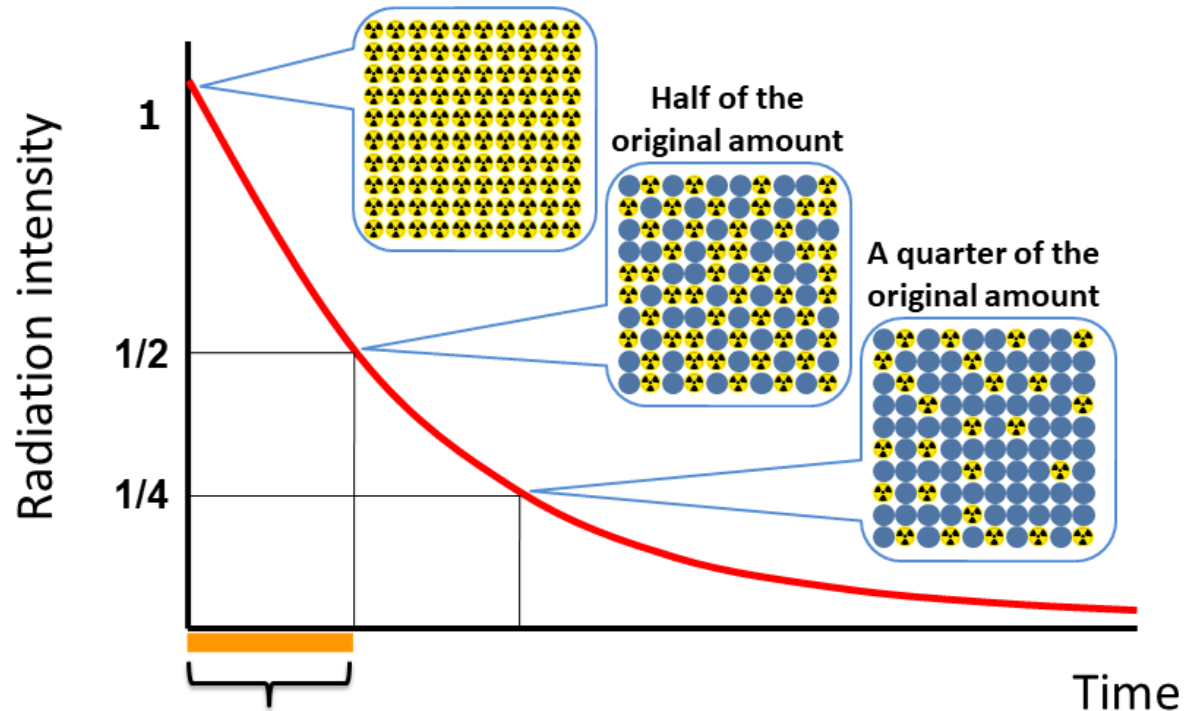
TOMBOL YANG DIKALIBRASI	FAKTOR KALIBRASI	KETIDAKPASTIAN (%)
¹⁵³ Sm	1,00	5,00

Faktor cakupan k = 2, untuk tingkat kepercayaan 95 %

Waktu Paruh

Radioactive
Materials

Half-lives and Radioactive Decay



Time required for the amount of the radionuclides to reduce to half = (physical) half-life

$$T_{1/2} = \frac{-0,693 \times \Delta t}{\ln \left(\frac{A_f}{A_0} \right)}$$

Keterangan:

- $T_{1/2}$ = Waktu paruh (*half-life*)
- Δt = Selang waktu pengukuran
- A_0 = Aktivitas awal (*activity at start*)
- A_f = Aktivitas akhir (*activity at end*)
- $-0,693$ = Konstanta yang merupakan nilai dari $\ln(2)$

Perbedaan rentang waktu paruh yang diidentifikasi umumnya 10 %

Penentuan Kontaminasi ^{13}N dalam $[^{18}\text{F}]\text{NaF}$

Langkah 1: Koreksi aktivitas untuk ^{13}N

$$AC_1 = \frac{A_{t2} - (A_{t1} \times e^{-\lambda_{R1} \times t})}{-e^{-\lambda_{R2} \times t} + e^{-\lambda_{R1} \times t}}$$

Langkah 2: Koreksi aktivitas AC_1 ke waktu kedua 2 menit

$$AC_2 = AC_1 \times e^{-\lambda_{R2} \times t}$$

Langkah 3: Hitung persentase aktivitas radionuklida utama

$$\%AR_2 = \left(\frac{AC_2}{AC_1} \right) \times 100$$

Simbol	Keterangan
t	Selang waktu (dalam menit atau detik) antara pengukuran pertama dan kedua
$R1$	Radionuklida kontaminan (contoh: ^{13}N)
$R2$	Radionuklida utama (contoh: ^{18}F)
A_{t1}	Aktivitas total yang diukur pada waktu pertama
A_{t2}	Aktivitas total yang diukur pada waktu kedua
λ_{R1}	Konstanta peluruhan radionuklida kontaminan $\left(\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \right)$
λ_{R2}	Konstanta peluruhan radionuklida utama
AC_1	Aktivitas radionuklida utama (^{18}F) yang dikoreksi pada waktu pengukuran pertama
AC_2	Aktivitas radionuklida utama (^{18}F) yang dikoreksi pada waktu pengukuran kedua
$\%AR_2$	Persentase aktivitas radionuklida utama (^{18}F)

! Batas Kontaminasi yang Diperbolehkan

Untuk radiopharmaceutical $[^{18}\text{F}]\text{NaF}$, kontaminasi ^{13}N sampai **maksimal 5%** masih dapat diterima (berdasarkan spesifikasi).

Satuan Radioaktif

Becquerel (Bq) = Satuan SI aktivitas radioaktif.

Curie (Ci) = Unit lama non-SI, berasal dari aktivitas 1 g radium.

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

Aplikasi satuan radioaktif:

1. **Aktivitas spesifik** = Aktivitas dalam tiap gram bahan (Bq/g)
2. **Konsentrasi radioaktif** = Aktivitas dalam tiap mililiter larutan (Bq/mL)
3. **Kontaminasi permukaan** = menggunakan satuan Aktivitas per luas area (Bq/cm²)



¹⁵³Sm-EDTMP Labeled compound parenteral solution
(Samarium-Ethylene Diamine Tetra Methylene Phosphonic Acid)

Activity : _____ mCi Reg. No. : _____
Date : _____ Batch No., Exp. Date : _____
Volume : _____ ml

Store at 2 - 8°C **HARUS DENGAN RESEP DOKTER**

Produced by Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka,
Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong - Indonesia
For PT. Kimia Farma, Jakarta - Indonesia

ACC

Etiket Timbal



¹⁵³Sm-EDTMP Labeled compound parenteral solution
(Samarium-Ethylene Diamine Tetra Methylene Phosphonic Acid)

Activity : _____ mCi Reg. No. : _____
Date : _____ Batch No., Exp. Date : _____
Volume : _____ ml

Store at 2 - 8°C **HARUS DENGAN RESEP DOKTER**

Produced by Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka,
Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong - Indonesia
For PT. Kimia Farma, Jakarta - Indonesia

kimia farma

LATIHAN SOAL

Satuan SI untuk aktivitas radioaktif adalah ...

- A. Bq
- B. Sv
- C. Ci
- D. rad
- E. Gy

Kalibrasi alat ukur radioaktivitas penting karena ...

- A. Hasil lebih cepat
- B. Meningkatkan sensitivitas kimia
- C. Menjamin akurasi & keterelusuran
- D. Menghindari reaksi silang
- E. Memperpanjang waktu paruh

Jika aktivitas awal 100 MBq dan waktu paruh 6 jam, maka setelah 12 jam tersisa ... MBq

- A. 100
- B. 75
- C. 50
- D. 25
- E. 12.5

Mengapa geometri pengukuran penting ...

- A. Berpengaruh kemurnian radiokimia
- B. Menentukan senyawa pembawa
- C. Mempengaruhi efisiensi deteksi
- D. Meningkatkan dosis
- E. Mengurangi waktu paruh efektif

Berapa persen toleransi umum untuk nilai waktu paruh hasil pengukuran dibandingkan dengan nilai referensi ...

- A. 5 %
- B. 10 %
- C. 15 %
- D. 20 %
- E. 1 %

Untuk mengevaluasi keberadaan ^{13}N dalam $[^{18}\text{F}]\text{NaF}$, waktu pengukuran antara dua titik waktu sebaiknya ...

- A. 30 menit
- B. 10 menit
- C. 2 menit
- D. 1 jam
- E. 5 menit

RANGKUMAN

- ❑ **Pengukuran radioaktivitas** adalah proses penting dalam menjamin identitas dan kemurnian radionuklida dalam produk radiofarmasi.
- ❑ Metode seperti **penentuan waktu paruh, spektrometri gamma, dan dose calibrator** digunakan sesuai jenis radionuklida dan tujuannya.
- ❑ Setiap metode memiliki **spesifikasi teknis dan batas toleransi** yang harus diperhatikan demi akurasi dan keamanan.

Referensi



Terima

Atas Perhatian Anda



B.J. Habibie Building
Jl. M.H. Thamrin 8, Jakarta 10340, Indonesia



www.brin.go.id



Brin Indonesia



@brin_indonesia



@brin.indonesia



Bridging Sciences
Empowering Talents

@dpk brin