



BRIN
BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

BerAKHLAK
Berorientasi Pelayanan Akuntabel Kompeten
Harmonis Loyal Adaptif Kolaboratif

SISTEM KESELAMATAN DAN KEAMANAN GEDUNG

**PELATIHAN PETUGAS KEAHLIAN PADA FASILITAS
PRODUKSI RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA
DARI REAKTOR ANGKATAN 2
17 – 30 Juni 2026**

Jakaria

jaka002@brin.go.id



BIODATA

Nama : Jakaria, S.ST

TTL : Jakarta, 25 Juni 1968

Pendidikan : D4 – Teknofisika Nuklir – STTN

Pelatihan tehnik Pendingin – Tahun 1995

Pelatihan Perawatan HVAC – Tahun 1996

Pelatihan Kualifikasi dan Validasi oleh BPOM- Tahun 2012

Tim Teknis Pembangunan Laboratorium PTRR - Tahun 2015

Pelatihan Pemrograman Building Automation System – Tahun 2015

Pelatihan K3 Listrik - Tahun 2019

Pelatihan Sistem manajemen Perawatan - Tahun 2019

Pelatihan Freeze Dryer Epsilon 2-6D/2-10D – Tahun 2019

Pelatihan Lead Course ISO 9001:2015 – Tahun 2020

Pelatihan CPOB – Tahun 2021



LATAR BELAKANG

Untuk Menghilangkan/mengurangi Potensi Bahaya Radiasi dan Kontaminasi (Aspek Keselamatan).

Perlindungan Terhadap Aset dan Pencegahan Sabotase (Aspek Keamanan).

Memenuhi Standardisasi Mutu Produk Medis Radiofarmaka.

Kepatuhan Regulasi Nasional dan Internasional

MANFAAT

Peserta mengetahui beberapa potensi bahaya yang ada di dalam laboratorium radioisotop dan radiofarmaka sehingga dapat menghindari atau dapat menggunakan APD yang sesuai dengan potensi bahaya yang ada.

Peserta mengetahui sistem keselamatan dan keamanan yang ada pada laboratorium radioisotop dan radiofarmaka.

TUJUAN PEMBELAJARAN

Peserta dapat memahami dan menjelaskan adanya beberapa sistem keselamatan dan keamanan yang ada pada laboratorium radioisotop dan radiofarmaka.

POKOK BAHASAN

1

**POTENSI BAHAYA YANG ADA PADA LABORATORIUM
RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA**

2

**SISTEM KESELAMATAN PADA LABORATORIUM RADIOISOTOP DAN
RADIOFARMAKA**

3

**SISTEM KEAMANAN PADA LABORATORIUM RADIOISOTOP DAN
RADIOFARMAKA**

1

POTENSI BAHAYA YANG ADA PADA LABORATORIUM RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA

A. Bahaya Radiasi

Radiasi Eksternal

Efek Deterministik: Paparan radiasi dosis tinggi dalam waktu singkat dapat menyebabkan kerusakan sel secara langsung, seperti luka bakar radiasi (*radiation burns*), sindrom radiasi akut, hingga penurunan jumlah sel darah.

Efek Stokastik: Paparan dosis rendah dalam jangka panjang yang dapat memicu mutasi genetik dan meningkatkan risiko kanker di masa depan

Radiasi Internal

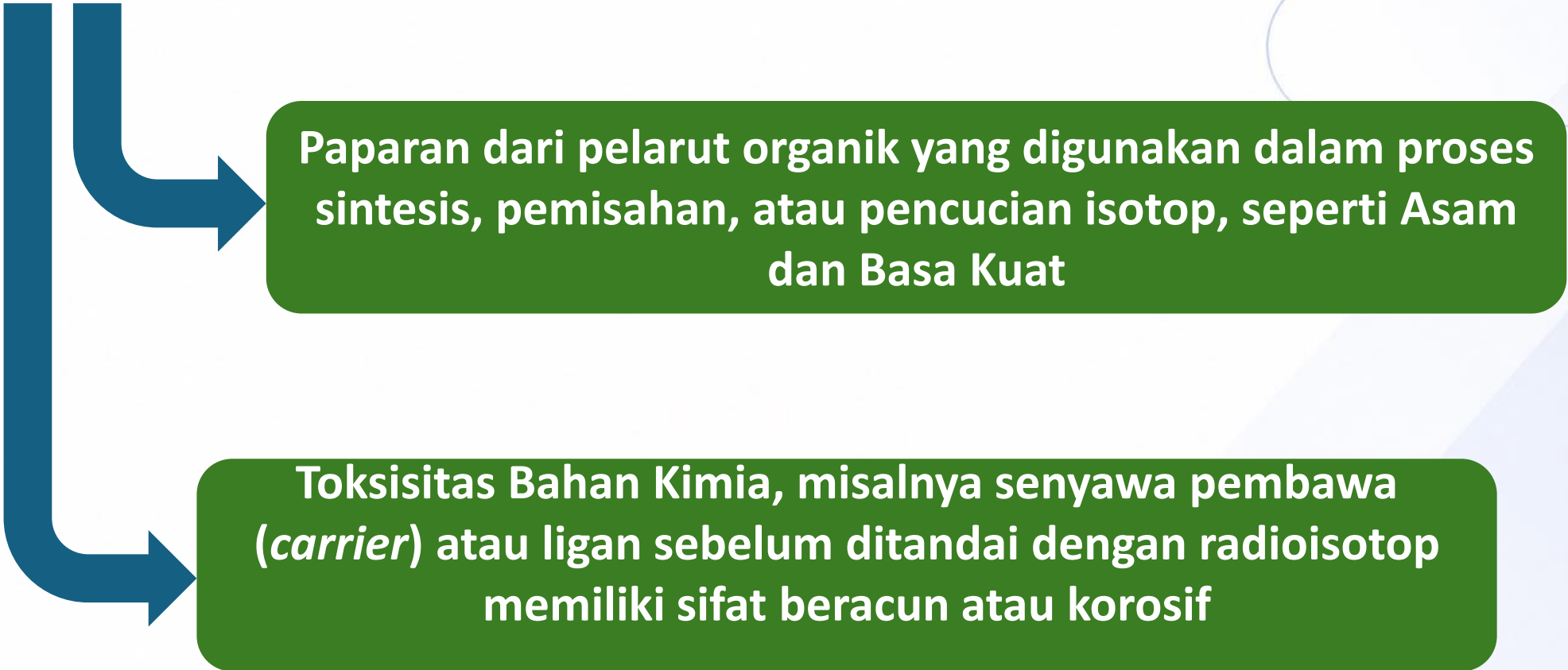
```
graph LR; A[Radiasi Internal] --> B[Inhalasi: Menghirup gas, uap, atau aerosol radioaktif (misalnya, aerosol Iodine-131 atau Technecium-99m).]; A --> C[Tertelan secara tidak sengaja akibat tangan yang terkontaminasi menyentuh makanan atau mulut.]; A --> D[Penyerapan Kulit: Masuk melalui luka terbuka atau pori-pori kulit akibat tumpahan cairan radioaktif.];
```

Inhalasi: Menghirup gas, uap, atau aerosol radioaktif (misalnya, aerosol Iodine-131 atau Technecium-99m).

Tertelan secara tidak sengaja akibat tangan yang terkontaminasi menyentuh makanan atau mulut.

Penyerapan Kulit: Masuk melalui luka terbuka atau pori-pori kulit akibat tumpahan cairan radioaktif.

B. Bahaya Zat Kimia dan Farmasi

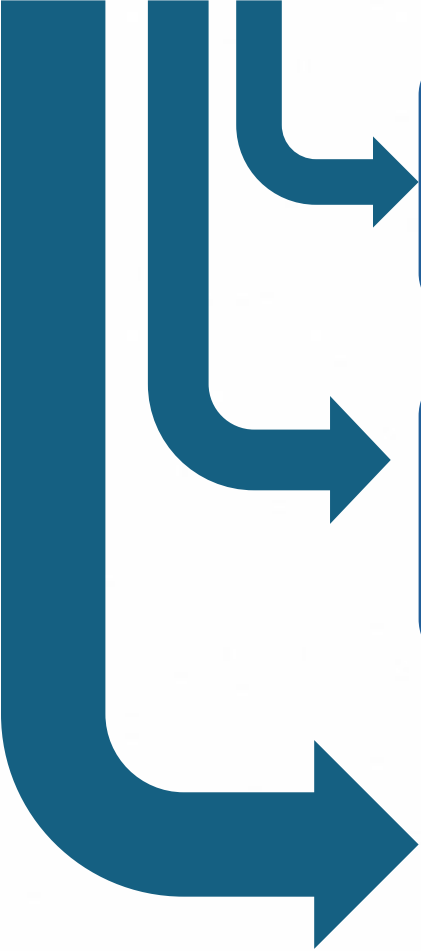


```
graph TD; A[B. Bahaya Zat Kimia dan Farmasi] --> B[Paparan dari pelarut organik yang digunakan dalam proses sintesis, pemisahan, atau pencucian isotop, seperti Asam dan Basa Kuat]; A --> C[Toksisitas Bahan Kimia, misalnya senyawa pembawa (carrier) atau ligan sebelum ditandai dengan radioisotop memiliki sifat beracun atau korosif];
```

Paparan dari pelarut organik yang digunakan dalam proses sintesis, pemisahan, atau pencucian isotop, seperti Asam dan Basa Kuat

Toksisitas Bahan Kimia, misalnya senyawa pembawa (*carrier*) atau ligan sebelum ditandai dengan radioisotop memiliki sifat beracun atau korosif

C. Bahaya Fisik dan Kegagalan Peralatan



Ledakan/Kebakaran karena penggunaan generator gas, sistem vakum tinggi, atau reaksi kimia eksotermik di dalam *Hot Cell*

Kegagalan Sistem Ventilasi bisa terjadi jika sistem *exhaust* atau filter HEPA/Arang aktif rusak akan menyebabkan radioaktif berbahaya bisa menyebar ke area kerja atau lingkungan sekitar

Luka akibat benda tajam biasanya karena penggunaan jarum suntik dan vial kaca, hal ini dapat menimbulkan resiko kontaminasi ke dalam darah

D. Bahaya Limbah Radioaktif

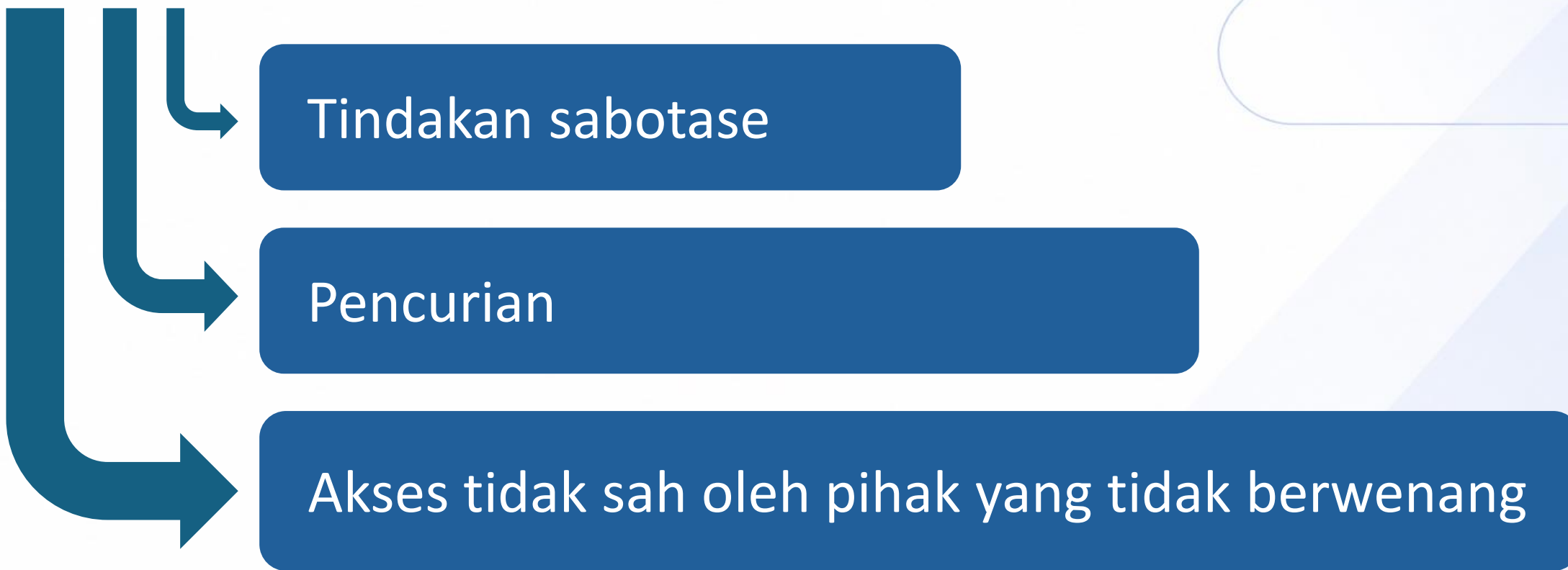


Limbah radioaktif Cair biasanya berasal dari Proses *Sintesis* dan Pembuatan Radiofarmaka, Kegiatan Penelitian dan Pengujian (*Quality Control*), Pembersihan Fasilitas, Eksperimen *In-Vivo* (Uji Coba pada Hewan di Lab Riset)

Limbah radioaktif Padat bisa berasal dari Vial dan Ampul Kosong, Jarum Suntik dan Syringe, Alat Pelindung Diri (APD) dan Bahan Habis Pakai Lab, Material Pembersih dan Penunjang Kerja, Bangkai dan Peralatan Uji Hewan Coba

Limbah radioaktif dalam Udara bisa berasal dari Proses Penguapan dan Pemanasan, Gas Radioaktif yang menguap, Aktivitas pemipetan, pengocokan (*vortexing*), sentrifugasi, atau penyemprotan cairan dapat menciptakan droplet mikro (aerosol) radioaktif yang melayang di udara. Gas Mulia Radioaktif yang terlepas ke udara

E. Bahaya Dari Luar



Tindakan sabotase

Pencurian

Akses tidak sah oleh pihak yang tidak berwenang

2

SISTEM KESELAMATAN PADA LABORATORIUM RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA

Sistem keselamatan gedung (*building safety system*) dirancang khusus dengan prinsip **Pertahanan Berlapis** (*Defense-in-Depth*).



Tujuannya adalah untuk melindungi pekerja, masyarakat, dan lingkungan dari paparan radiasi serta mencegah penyebaran kontaminasi zat radioaktif

Berikut adalah beberapa sistem keselamatan Gedung yang ada di ITRR

A. Sistem *Hot Cells*

**F
U
N
G
S
I**

➔ Perisai Radiasi (*Radiation Shielding*), melindungi pekerja dari paparan radiasi eksternal makanya dinding *hot cell* terbuat dari timbal (*lead*), baja padat, atau beton berat dengan ketebalan tertentu. Selain itu jendela pengamatan pada *hot cell* terbuat dari kaca Timbal (*Lead Glass*) yang tebal.

➔ Pengurung Kontaminasi (*Containment*)
Hot cell berfungsi sebagai pembatas fisik agar kontaminasi radioaktif tetap terkurung di dalam kotak tersebut dan tidak mencemari ruangan laboratorium

➔ Menjaga Sterilitas Produk Radiofarmaka, memenuhi standar *Clean Room* (biasanya Kelas A).

➔ Tempat Sintesis dan Pemrosesan seperti Elusi Generator, Pencampuran (*Labeling*, Alokasi Dosis (*Dispensing*))

➔ Pengendalian Lingkungan Udara dengan Sistem Tekanan Negatif dan Filtrasi Udara

B. Sistem *HVAC* (Heating, Ventilation, and Air Conditioning)

FUNGSI

Mencegah Kebocoran Radiasi Melalui Tekanan Udara Negatif

HVAC menciptakan **gradien tekanan udara terutama mengatur laboratorium agar memiliki tekanan udara negative.**

Melindungi Lingkungan Melalui Filtrasi Udara Berlapis

Udara dalam laboratorium dibuang ke alam melalui cerobong (*stack*), setelah melewati **Filter HEPA** dan **Filter Arang Aktif (*Charcoal Filter*)**

Menjaga Sterilitas Produk Radiofarmaka (Standar CPOB)

Sistem HVAC berfungsi memasok udara bersih dan menjaga jumlah partikel di udara tetap berada di bawah ambang batas (misalnya ruang Kelas A, B, C) sehingga produk tetap steril

Mengencerkan Konsentrasi Udara Kontaminan (*Air Change Rate*)

HVAC dirancang untuk melakukan pergantian udara per jam (*Air Changes per Hour / ACH*) dengan frekuensi tinggi yang berfungsi untuk segera membuang gas radioaktif

Mengatur Kenyamanan dan Stabilitas Peralatan (Suhu & Kelembapan)

Bagi Petugas: HVAC menjaga suhu ruangan dalam rentang 18°C - 22°C dan kelembapan relatif sekitar 45% - 55% sehingga pekerja radiasi nyaman dan **Peralatan aman.**

C. Sistem Pemantauan Radiasi

F U N G S I

Aspek Keselamatan Pekerja (Proteksi Personel)

Mencegah Efek Deterministik dan Meminimalkan Efek Stokastik dengan memastikan dosis radiasi yang diterima pekerja sebesar 20 mSv per tahun, deteksi kontaminasi dini pada tubuh dengan cara pekerja wajib memonitor diri menggunakan *Hand and Foot Monitor* sebelum meninggalkan area laboratorium serta pencatatan dosis akumulatif penggunaan dan pembacaan TLD (*Thermoluminescent Dosimeter*)

Aspek Keselamatan Lingkungan dan Publik (Efluen) dengan menjamin keamanan udara yang dibuang, menjamin keamanan limbah cair dan padat

Untuk menjalankan prinsip **ALARA** (*As Low As Reasonably Achievable*)—yaitu menjaga paparan radiasi serendah mungkin

D. Zonasi dan Tata Ruang Gedung

F U N G S I

➔ Mencegah Penyebaran Kontaminasi dengan membagi menjadi 3 zona yaitu Zona Merah/radiasi Tinggi (Area Kerja Aktif), Zona Kuning/radiasi Sedang (Area Penunjang) Zona Hijau (Area Bersih) dengan pembatasan ini material radioaktif diharapkan selalu berada pada tempatnya

➔ Pengendalian Paparan Personel dengan membatasi akses personel dan pemasangan alat pemantauan seperti Hand and Foot Monitor

➔ Sinkronisasi dengan Sistem HVAC yang mengatur Gradien Tekanan Udara dimana zona merah memiliki tekanan udara paling negative, zona kuning memiliki tekanan udara agak negative dan zona hijau memiliki tekanan udara normal. Dengan demikian udara terkontaminasi di Zona Merah tidak akan pernah bisa meluncur balik ke area bersih

➔ Memenuhi Standar CPOB

Pada laboratorium radiofarmaka, zonasi memiliki fungsi ganda yaitu melindungi pekerja dari radiasi (keselamatan nuklir) sekaligus melindungi produk obat dari kuman/partikel (keselamatan pasien/CPOB).

E. Sistem Manajemen Limbah Radioaktif

FUNGSI

- ➔ Mencegah Akumulasi Radiasi di Ruang Kerja (*Minimizing Workplace Hazard*) dengan cara (pemisahan) langsung di sumbernya dan pengosongan wadah limbah harian sehingga melindungi pekerja dari paparan eksternal yang tidak perlu.
- ➔ Memanfaatkan Waktu untuk Meluruhkan Bahaya (*Delay and Decay*) dengan menyediakan fasilitas Tangki Peluruhan (*Decay Tank*) untuk limbah cair dan Gudang Retensi untuk limbah padat sehingga zat radioaktif di dalamnya meluruh secara alami hingga mencapai tingkat yang tidak berbahaya (*Clearance Level*).
- ➔ Mereduksi Volume dan Mengubah Bentuk Limbah (*Volume Reduction & Conditioning*) dengan cara limbah padat (seperti APD, kertas, plastik) akan dikompaksi dan untuk limbah cair dilakukan proses penguapan atau imobilisasi (seperti dimasukkan ke dalam semen atau kaca/vitrifikasi).
- ➔ Mencegah Kontaminasi Silang Lingkungan Publik (*Environmental Protection*) dengan cara memastikan bahwa limbah padat, cair atau gas yang dibuang ke lingkungan benar-benar memiliki tingkat radioaktivitas di bawah ambang batas yang diizinkan oleh regulasi
- ➔ Penjaminan Ketertelusuran Silsilah Limbah (*Cradle-to-Grave Tracking*) hal ini untuk mencegah terjadinya kasus "Limbah Hilang" (*Orphan Source*) yang sangat berbahaya jika sampai jatuh ke tangan masyarakat umum

F. Desain Struktural dan Dekontaminasi Permukaan

F U N G S I

➔ Penahan Radiasi Eksternal (*Shielding Function*), area dengan radiasi tinggi dibangun menggunakan beton padat (*heavy concrete*) atau dilapisi lempengan timbal untuk memastikan radiasi terkungkung di dalamnya.

➔ Menahan Beban Peralatan Proteksi yang Sangat Berat sehingga perlu desain struktural fondasi dan pelat lantai (*floor loading capacity*) laboratorium harus diperkuat secara khusus terutama untuk menahan hot cell.

➔ Mencegah akumulasi debu dan udara terjebak dengan cara membuat pertemuan antara dinding dengan lantai, serta dinding dengan langit-langit didesain melengkung (*coving*) bukan sudut 90°

➔ Mencegah Penyerapan Zat Radioaktif (*Non-Porous Surface*) dengan cara Lantai lab wajib dicat *epoxy* khusus sehingga jika terjadi tumpahan zat radioaktif bisa diserap dan dibersihkan secara total

➔ Meminimalkan Risiko Kontaminasi Internal (*Internal Hazard*), dekontaminasi permukaan secara berkala memastikan tidak ada partikel radioaktif yang melayang di udara yang berisiko terhirup atau tertelan oleh pekerja radiasi

G. Sistem Darurat Gedung (*Emergency System*)

T
E
R
D
I
R
I

D
A
R
U
R

- ➔ **Sistem Catu Daya Darurat (Genset & UPS)** untuk menjaga *Kontinuitas Proteksi* terutama memastikan agar sistem HVAC untuk menjaga gradien tekanan dalam ruangan dan memastikan alat pemantau radiasi tetap menyala.
- ➔ **Sistem Isolasi Ventilasi Otomatis (*Dampers Interlock*)** berfungsi untuk mengisolasi udara terkontaminasi agar tetap terkurung di dalam ruangan laboratorium dan tidak terbang keluar menuju cerobong
- ➔ **Sistem Proteksi Kebakaran (*Fire Suppression System*)**, alat pemadam api yang digunakan tidak boleh menggunakan bahan cair karena dapat membawa zat radioaktif mengalir ke saluran drainase umum dan mencemari air tanah
- ➔ **Sistem Tangki Penampung Darurat (*Emergency Holding Tank*)**, Air yang terkontaminasi radiasi akan dikunci di tangki ini agar tidak keluar ke ekosistem, untuk kemudian diproses secara khusus oleh pihak manajemen limbah setelah situasi kondusif
- ➔ **Ketersediaan APD seperti Sarung Tangan, Jas Lab, Baju Ruang Bersih, Apron, Masker, Kacamata Timbal, *Face Shield*, *Shoe Covers*, Sepatu Boot, TLD Badge (*Thermoluminescent Dosimeter*) dan EPD (*Electronic Personal Dosimeter*)**
- ➔ **Pintu Darurat** yang digunakan untuk evakuasi pekerja bila terjadi bencana

3

SISTEM KEAMANAN PADA LABORATORIUM RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA

Sistem keamanan dirancang berdasarkan prinsip **Pertahanan Berlapis (*Defense-in-Depth*)** dengan menerapkan metodologi **Detect (Deteksi), Delay (Penundaan), dan Response (Respon)** sesuai dengan standar BAPETEN dan IAEA



Tujuannya adalah untuk melindungi fasilitas, bahan nuklir, dan zat radioaktif dari tindakan sabotase, pencurian, atau akses tidak sah oleh pihak yang tidak berwenang

Berikut adalah beberapa sistem keamanan Gedung yang diperlukan pada fasilitas laboratorium radioisotop dan radiofarmaka

A. Sistem Deteksi Intrusi Fisik (*Physical Intrusion Detection System / PIDS*)

Sistem ini berfungsi untuk menemukan atau mengidentifikasi adanya penyusupan, ancaman, atau pelanggaran keamanan secepat mungkin



Pemasangan Kamera Pengawas (CCTV) yang selalu terhubung ke ruang kontrol keamanan, ditempatkan di perimeter luar, pintu masuk utama, koridor antar-zona, hingga area sensitif seperti ruang penyimpanan zat radioaktif dan ruang *hot cells*

B. Sistem Kontrol Akses Personel (*Access Control System*)

Kartu pintar (*Smart Card / RFID Badge*) khusus yang terenkripsi dan diprogram secara personal untuk setiap karyawan

Sistem Audit Trail dan Registrasi Pengunjung, Tamu eksternal harus didaftarkan dan diberikan kartu akses sementara dengan hak terbatas, serta wajib didampingi oleh personel internal

C. Ruang Kontrol Keamanan Pusat (*Central Alarm Station - CAS*)

Ruang kontrol harus memiliki monitor yang menampilkan siaran langsung dari kamera-kamera CCTV di seluruh fasilitas

Bank Baterai (UPS) yang mampu menyuplai daya ke seluruh komputer kontrol, layar CCTV, dan sensor keamanan selama minimal 30 menit sampai genset darurat gedung menyala stabil.

Alat Komunikasi darurat dengan pihak luar (Polisi/BAPETEN) untuk Respon cepat jika terjadi krisis.

D. Sistem Respon (*Response System*)

Garda Pengamanan Siaga: Adanya personel satuan pengamanan yang terlatih

Integrasi dengan Aparat Penegak Hukum: Fasilitas produksi radioisotop dikategorikan sebagai Objek Vital Nasional. Oleh karena itu, sistem keamanan gedung terhubung langsung dengan aparat setempat

Protokol Koordinasi Dengan Instansi Luar

E. Sistem Kelistrikan dan Pendukung Cadangan untuk Keamanan

Uninterruptible Power Supply (UPS) wajib ada dan terhubung secara khusus ke semua perangkat elektronik keamanan

Generator Set (Genset) berfungsi mengambil alih suplai daya berskala besar setelah UPS bekerja

Sistem Pencahayaan Darurat

LATIHAN SOAL

- 1. Yang tidak termasuk potensi bahaya yang ada dalam Gedung laboratorium radioisotop dan radiofarmaka yaitu :**
 - a. Radiasi Internal dan external**
 - b. Limbah radioaktif cair dan padat**
 - c. Kegagalan sistem ventilasi**
 - d. Limbah domestik**

2. Sistem keselamatan yang dindingnya terbuat dari timbal atau beton densitas tinggi yang dilengkapi dengan fasilitas lengan robotik (*manipulator*) dan merupakan tempat proses produksi radioisotop sering disebut :

2. *decay storage*

3. Hot Cells

4. Stack Monitor

5. Semua benar

- 3. Dalam hal keselamatan sistem HVAC digunakan untuk :**
- a. Mengatur suhu dan RH di dalam Gedung agar memenuhi persyaratan**
 - b. Mengalirkan udara ke cerobong pembuangan**
 - c. Untuk membuat tekanan udara di dalam ruang produksi selalu lebih rendah (negatif) dibandingkan tekanan udara luar agar zat radioaktif tidak keluar dari gedung jika terjadi kebocoran.**
 - d. Semua salah**

- 4. Yang termasuk dalam Sistem Keamanan Gedung Adalah :**
- a. Filtrasi Bertingkat**
 - b. Gradien Tekanan Udara Negatif**
 - c. Stack Monitor**
 - d. Sistem Kamera Pengawas**

- 5. *Epoxy Coating* pada dinding dan lantai gedung dengan menggunakan bahan epoxy khusus yang tidak berpori dan mulus termasuk dalam :**
- a. Sistem keselamatan**
 - b. Sistem keamanan**
 - c. Desain Struktural Gedung**
 - d. a dan c benar**

RANGKUMAN

POTENSI BAHAYA YANG ADA

- A. Bahaya Radiasi
- B. Bahaya Zat Kimia dan Farmasi
- C. Bahaya Fisik dan Kegagalan Peralatan
- D. Bahaya Limbah Radioaktif
- E. Bahaya Dari Luar

SISTEM KESELAMATAN YANG HARUS ADA

- A. Sistem *Hot Cells*
- B. Sistem *HVAC* (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*)
- C. Sistem Pemantauan Radiasi
- D. Zonasi dan Tata Ruang Gedung
- E. Sistem Manajemen Limbah Radioaktif
- F. Desain Struktural dan Dekontaminasi Permukaan
- G. Sistem Darurat Gedung (*Emergency System*)

SISTEM KEAMANAN YANG HARUS ADA

- A. Sistem Deteksi Intrusi Fisik (*Physical Intrusion Detection System / PIDS*)
- B. Sistem Kontrol Akses Personel (*Access Control System*)
- C. Ruang Kontrol Keamanan Pusat (*Central Alarm Station - CAS*)
- D. Sistem Respon (*Response System*)
- E. Sistem Kelistrikan dan Pendukung Cadangan untuk Keamanan

Terima Kasih

Atas Perhatian
Anda



Bridging Sciences
Empowering Talents

@dpk brin