BRIN
BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

BerAKHLAK
Berorientasi Pelayanan Akuntabel Kompeten
Harmonis Loyal Adaptif Kolaboratif

# PENGENALAN RADIOGRAFI

Selasa, 29 September 2026




## Pelatihan Teknologi Uji Tanpa Rusak Untuk Evaluasi Struktur Sipil

**Roziq Himawan**

# BIODATA

## Roziq Himawan



> Advancing Non-Destructive Testing for Quality, Safety, and Innovation in Nuclear and Industrial Applications

### EDUCATION

- 2001 Dr. Eng. in Production Science
  Saitama University, Japan
- 1997 M.Eng. in Mechanical Engineering
  Saitama University, Japan
- 1995 B.Eng. in Mechanical Engineering
  Saitama University, Japan

### PROFESSIONAL EXPERIENCE

- 20+ Years of experience in NDT and material evaluation in nuclear, industrial, and infrastructure sectors
- Extensive field experience in research reactors, oil refineries, and steam power plants
- Expertise in development, application, and innovation of advanced NDT techniques

### EXPERTISE & RESEARCH INTEREST

- **Radiography Testing (RT)**
  X-ray, Gamma, CT, Digital Radiography
- **Ultrasonic Testing (UT)**
  Conventional UT, Phased Array, TOFD, Robotic UT
- **Infrared Thermography (IRT)**
  Thermal inspection and analysis
- **Digital Imaging & AI**
  AI for NDT image evaluation, machine learning applications
- **Additive Manufacturing (AM)**
  NDT for AM, quality assurance, new method development
- **NDT for Civil Engineering**
  UPV, GPR, radiography, and structural health assessment

# LATAR BELAKANG

Radiografi merupakan salah satu metode Uji Tanpa Rusak (NDT) yang mampu memberikan informasi mengenai kondisi internal suatu objek tanpa merusaknya. Metode ini memanfaatkan radiasi sinar-X atau sinar gamma untuk mendeteksi ketidaksempurnaan dan perubahan struktur internal material. Pemahaman terhadap prinsip fisika radiasi, teknik pencitraan, dan parameter pemeriksaan sangat diperlukan untuk menghasilkan citra radiografi yang berkualitas. Oleh karena itu, pembelajaran radiografi menjadi dasar penting dalam mendukung penerapan NDT yang efektif dan andal.

# MANFAAT

Materi pengenalan radiografi memberikan pemahaman dasar mengenai prinsip, konsep, dan terminologi radiografi sebagai salah satu metode Uji Tanpa Rusak (NDT). Peserta dapat memahami dasar fisika radiasi, sumber sinar-X dan gamma, serta interaksi radiasi dengan material. Materi ini juga memberikan pengetahuan mengenai berbagai jenis dan perkembangan sistem radiografi, baik menggunakan film maupun teknologi tanpa film. Selain itu, peserta dapat memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas citra radiografi, seperti geometri, paparan, hamburan, dan indikator kualitas bayangan. Dengan pemahaman tersebut, peserta memiliki landasan dasar untuk menerapkan dan mengembangkan teknik radiografi dalam kegiatan pemeriksaan dan evaluasi material atau struktur.

# TUJUAN PEMBELAJARAN

**I Tujuan Pembelajaran Umum**

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta mampu memahami prinsip dasar, fisika, teknik, dan parameter pengujian radiografi untuk evaluasi material dan komponen.

# TUJUAN PEMBELAJARAN

## II. Rincian Kompetensi Dasar (KD) & Indikator Keberhasilan

**KD 1:** Memahami Prinsip Fisika Radiografi dan Interaksi Radiasi dengan material.

**Indikator Keberhasilan (IPK):** Peserta mampu menjelaskan mekanisme terjadinya Radiasi sinar-X dan sinar gamma, tiga jenis interaksi Radiasi dengan material, dan memahami hukum kuadrat terbalik mencakup konsep HVL dan TVL.

**KD 2:** Mengidentifikasi jenis-jenis Radiografi.

**Indikator Keberhasilan (IPK):** Peserta mampu menyebutkan mekanisme radiografi menggunakan film, fluoroskopi, radioskopi, dan xeroradiografi serta kelebihan dan kekurangannya.

# TUJUAN PEMBELAJARAN

**KD 3:** Memahami Parameter Kerja dan Kualitas Bayangan Radiografi.

**Indikator Keberhasilan (IPK):** Peserta mampu menjelaskan prinsip geometri untuk meminimalkan pembentukan penumbra dan distorsi citra serta jenis-jenis Indikator Kualitas Bayangan.

# POKOK BAHASAN

I. Definisi dan Pengertian
II. Fisika Radiografi
III. Jenis-Jenis Radiografi
IV. Parameter dan Kondisi Kerja
V. Rangkuman

# 1 Definisi dan Pengertian

## Definisi

ISO 5576:1997 – Non-destructive testing — Industrial X-ray and gamma-ray radiology — Vocabulary

**Radiografi** adalah metode pengujian tak merusak yang memanfaatkan sinar-X atau sinar gamma untuk menghasilkan citra radiografi dari bagian internal suatu objek, sehingga ketidaksempurnaan atau perubahan struktur internal dapat dideteksi tanpa merusak objek yang diuji.

## 1 Sumber Radiasi

Menghasilkan radiasi pengion berupa sinar-X atau sinar gamma dengan energi tertentu.

Contoh: tabung sinar-X, isotop radioaktif (Co-60, Ir-192, dll).

Radiasi pengion
(sinar-X / sinar gamma)

## 2 Objek

Benda yang diperiksa (material/ komponen) yang dilalui oleh radiasi. Perbedaan penyerapan radiasi akan menghasilkan kontras pada citra.

## 3 Detektor

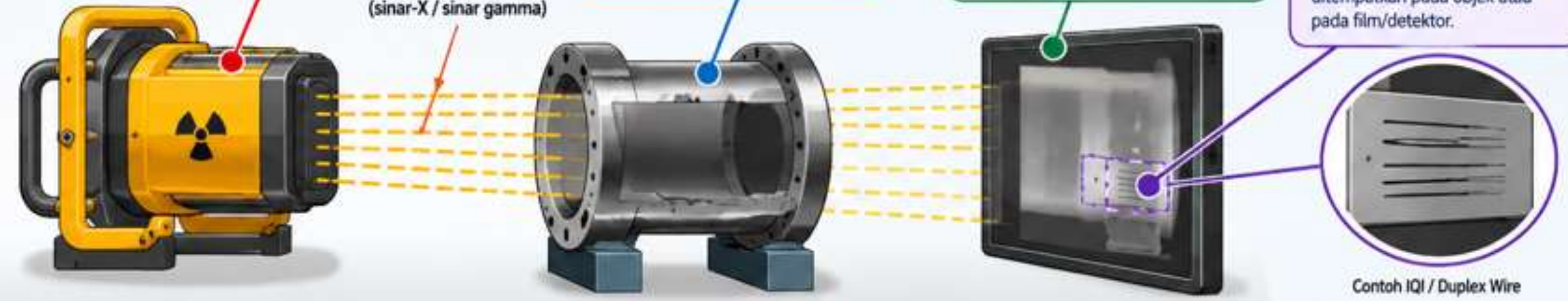
Merekam radiasi yang lolos dari objek dan mengubahnya menjadi sinyal listrik atau citra digital.

Contoh: film radiografi, flat panel detector (FPD), image plate (CR).

## 4 IQI / Duplex

Digunakan untuk memantau kualitas gambar dan memastikan sensitivitas pengujian.

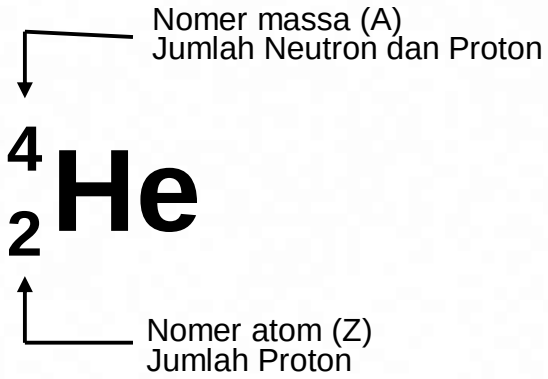
IQI (Image Quality Indicator) atau Duplex Wire (kawat ganda) ditempatkan pada objek atau pada film/detektor.

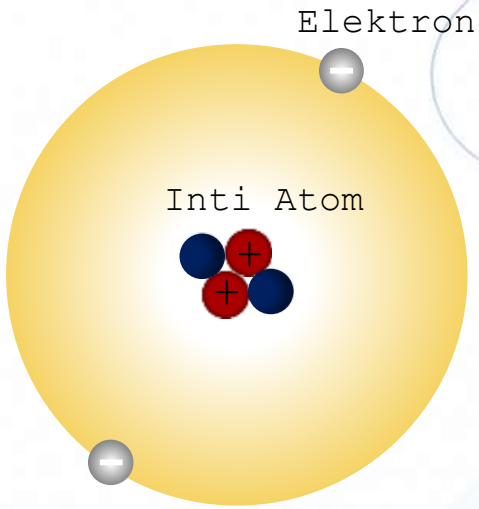


Contoh IQI / Duplex Wire

# 2 Fisika Radiografi

- Elektron: muatan listrik (-) sebesar 1,602 x $10^{-19}$ C
  massa 9,109 x $10^{-31}$ kg.
- Proton: muatan listrik (+) sebesar 1,602 x $10^{-19}$ C massa 1,673 x $10^{-27}$ kg
- Netron: tidak bermuatan listrik dan memiliki masa 1,675 x $10^{-27}$ kg



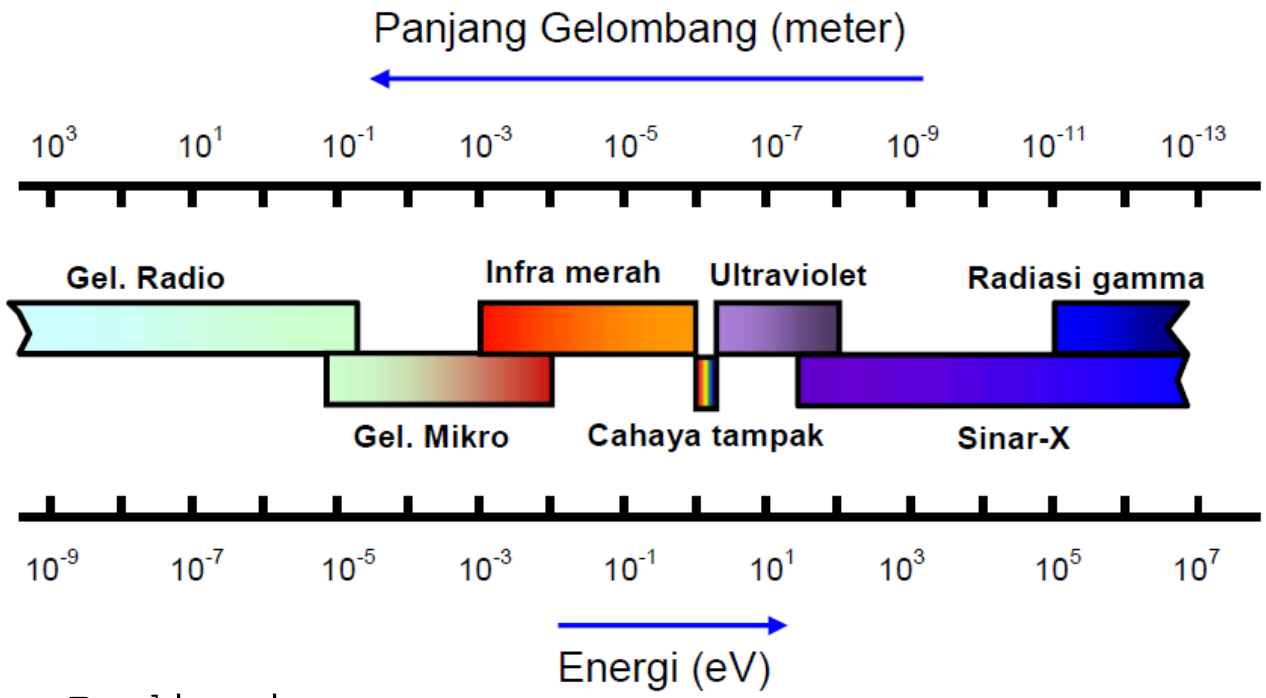

Struktur Atom Helium

- Isotop adalah nuklida yang memiliki nomor atom sama dan nomor masa berbeda. Contoh, Co-59 ($^{59}_{27}Co$ ) dan Co-60 ($^{60}_{27}Co$)

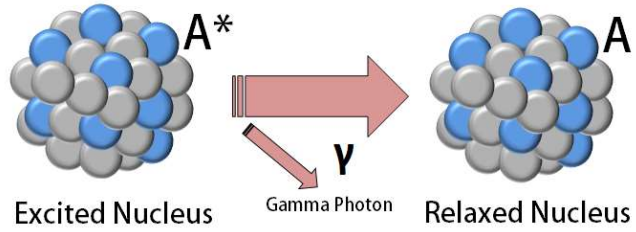
- Isobar adalah nuklida dengan nomor masa sama tetapi berbeda nomor atomnya. Contoh, $^{31}_{14}Si$, $^{31}_{15}P$, $^{31}_{16}S$

- Isoton adalah nuklida dengan jumlah neutron yang sama tetapi berbeda nomor atomnya. Contoh, $^{26}_{12}Mg$, $^{27}_{13}Al$, $^{28}_{14}Si$

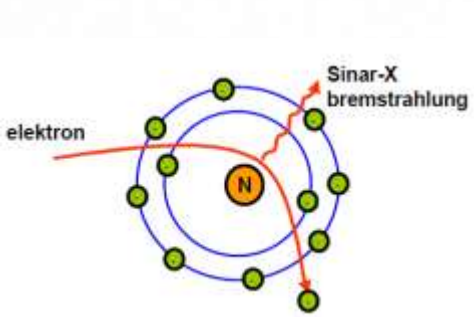
- Isomer adalah nuklida yang memiliki nomor atom maupun nomor masa sama, tetapi memiliki tingkat energi berbeda. Contoh, $^{60}_{28}Ni$dan $^{60}_{28}Ni^{*}$ (tanda * menunjukkan energi tereksitasi)

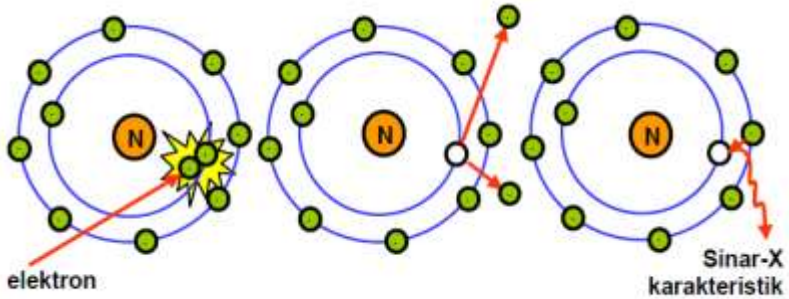



## Terjadinya Radiasi gamma

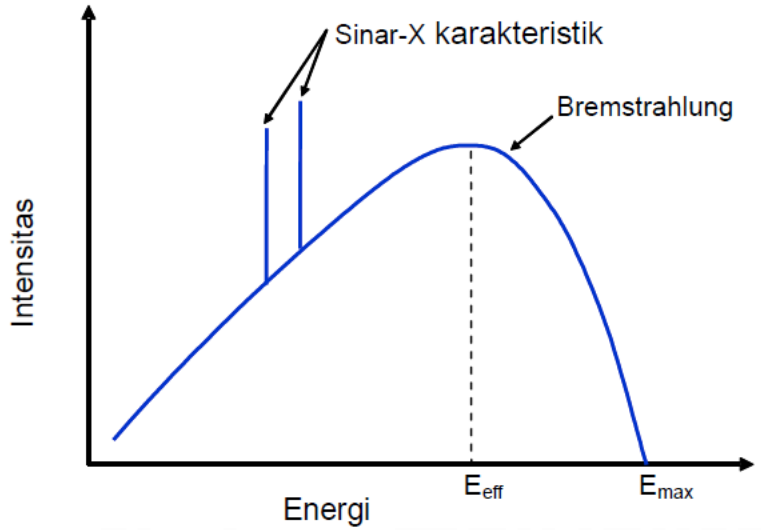



## Terjadinya Radiasi sinar-X

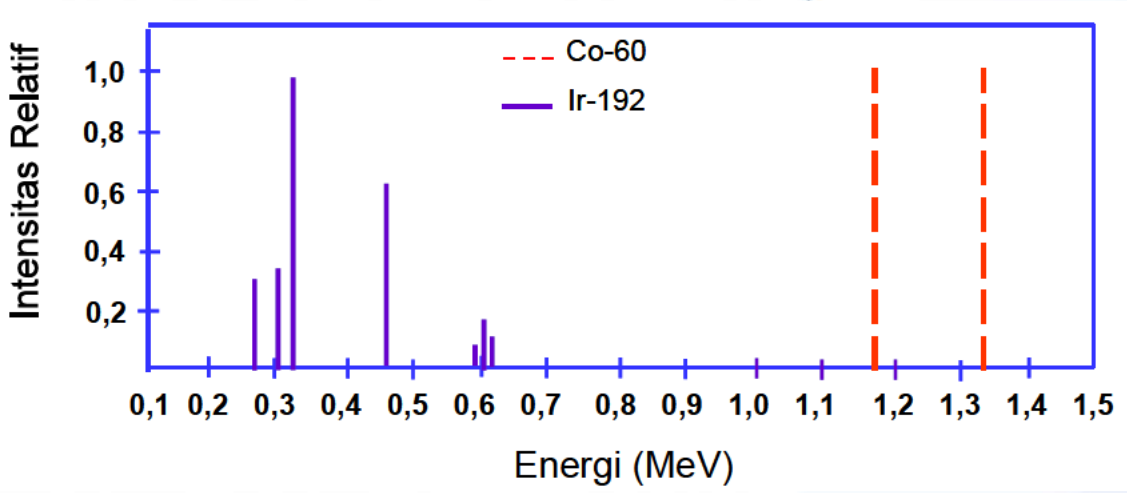



Inti atom yang stabil memiliki jumlah proton dan neutron terte
komposisi jumlah proton dan neutron yang berubah menyebabkan inti atom tidak stabil, yang dalam menuju kestabilannya dapat memancarkan radiasi gamma.
Material yang inti atomnya tidak stabil disebut material radioaktif atau sering disebut radioisotop.



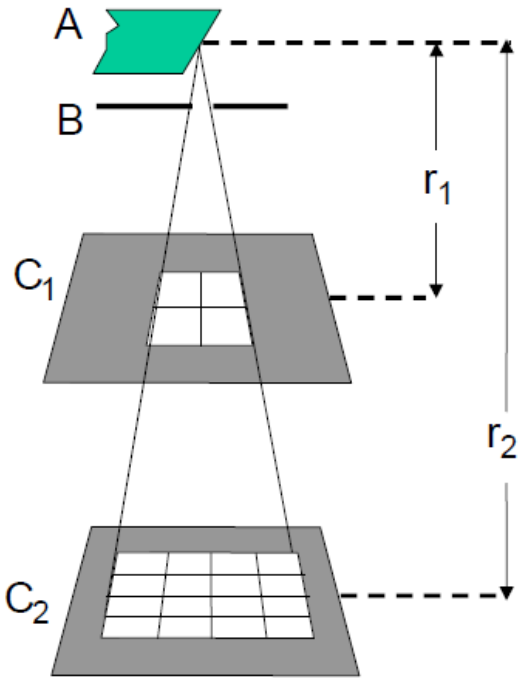

Spektrum energi sinar-X yang terdiri dari sinar-X kontinyu (Bremstahlung) dan sinar-X karakteristik




Spektrum energi sumber radiasi gamma Co-60 dan Ir-192

# Intensitas Radiasi dan Hukum Kuadrat Terbalik

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$




Skema diagram hukum kuadrat terbalik

# INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERIAL

Penyerapan Radiasi karena mekanisme:

## A Efek Fotolistrik

*Photoelectric Effect*



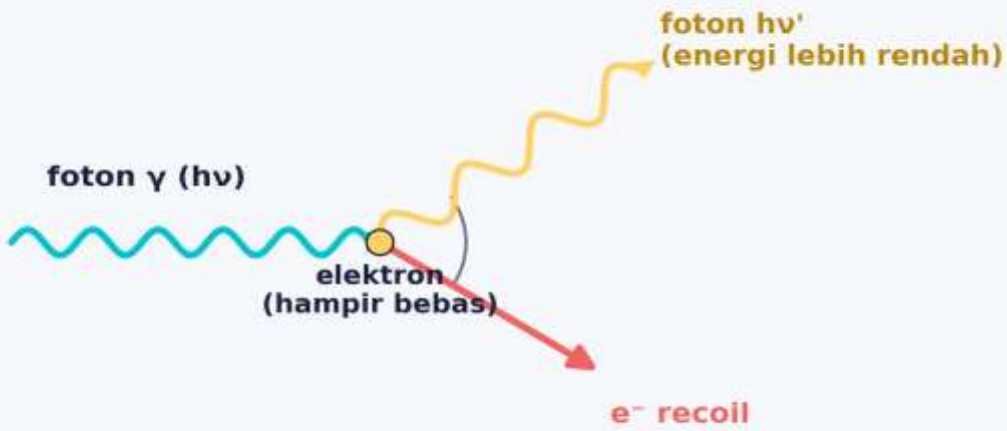

- Foton menyerahkan hampir seluruh energinya kepada elektron terikat
- Elektron terlepas dari atom sebagai photoelectron
- Probabilitas interaksi sangat bergantung pada nomor atom (Z) material dan energi foton
- Dominan pada energi gamma relatif rendah dan material dengan Z tinggi

**Kunci:** seluruh energi foton diserap — foton hilang, elektron terpancar.

# B Hamburan Compton

*Compton Scattering*

- Foton bertumbukan dengan elektron (biasanya elektron kulit terluar)
- Sebagian energi foton diberikan kepada elektron recoil
- Foton keluar dengan energi lebih rendah dan arah lintasan yang berbeda
- Sangat penting perannya pada rentang energi gamma menengah



Sebagian energi foton berpindah ke elektron recoil

**Kunci:** foton tidak lenyap, hanya kehilangan sebagian energi dan berbelok arah.



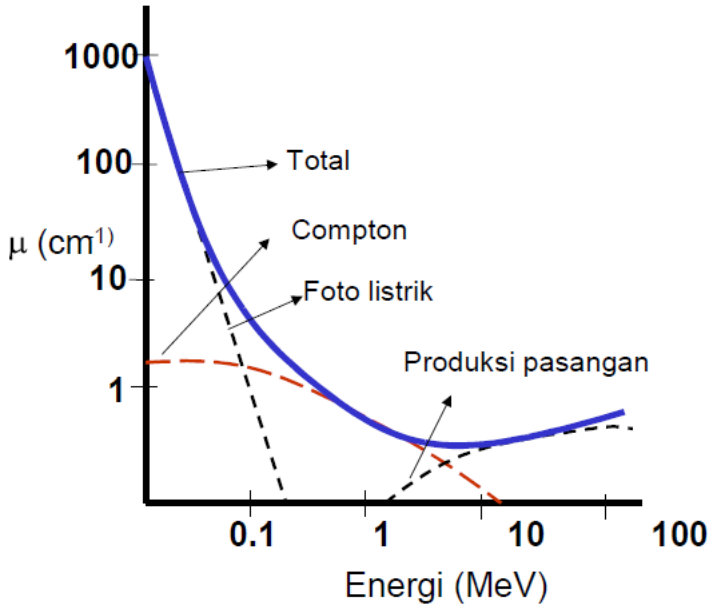
Foton berubah menjadi pasangan elektron-positron

## C Produksi Pasangan (Pair Production)

- Terjadi jika energi foton > 1,022 MeV
- Foton berubah menjadi pasangan elektron–positron di dekat medan inti atom
- Probabilitasnya meningkat seiring energi foton dan nomor atom (Z)

## Koefisien Absorbsi Linier

$$\mu = k\,\lambda^3\,z^3$$




Koefisien absorbsi linier besi

## Half Value Layer dan Tenth Value Layer

$$I_2 = I_1 e^{-\mu x}$$

$$\mathrm{HVL} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

$$\mathrm{HVL} = \frac{0{,}693}{\mu}$$

$$\mathrm{TVL} = \frac{\ln 10}{\mu}$$

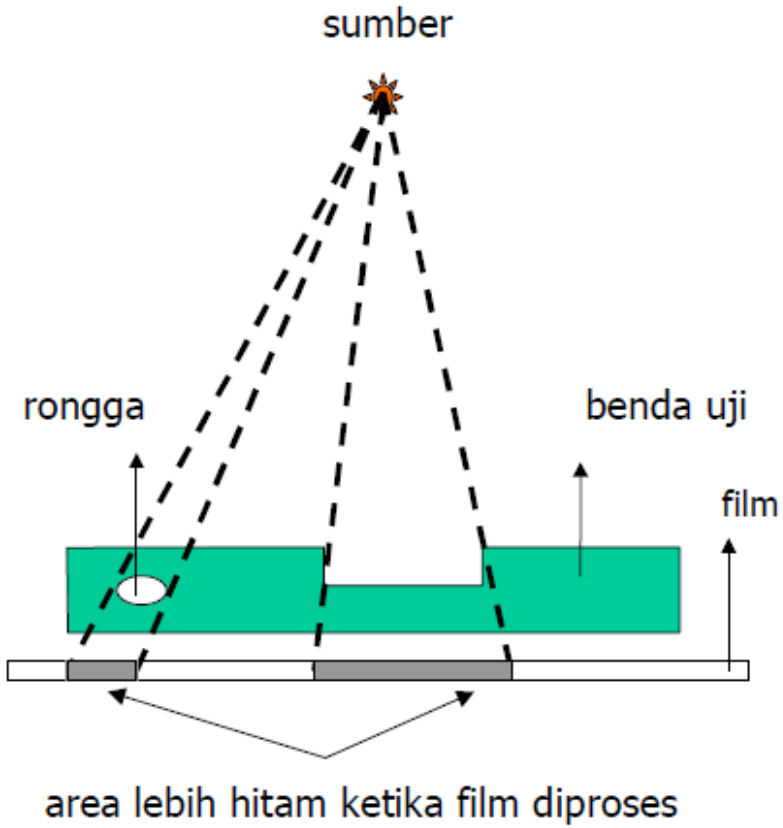
$$\mathrm{TVL} = \frac{2{,}303}{\mu}$$

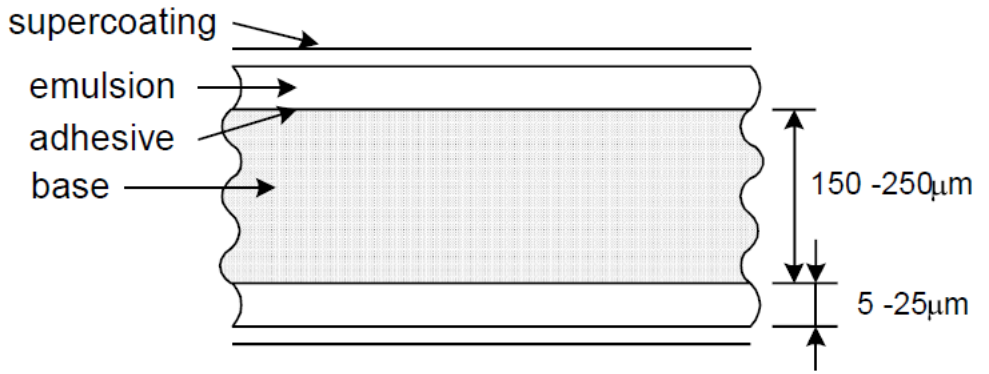
Tabel IV.1 Nilai HVL dan TVL beberapa material

| KVp Sinar-X (Radioisotop) | Timbal | | Beton | | Besi (steel) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | HVL (mm) | TVL (mm) | HVL (mm) | TVL (mm) | HVL (mm) | TVL (mm) |
| 100 | 0,27 | 0,88 | 16 | 53 | - | |
| 120 | - | - | - | - | 2,5 | |
| 125 | 0,28 | 0,93 | 20 | 66 | - | |
| 150 | 0,30 | 0,99 | 22,4 | 74 | 3,6 | |
| 200 | 0,52 | 1,7 | 25 | 84 | 5,1 | |
| 250 | 0,88 | 2,9 | 28 | 94 | 6,4 | |
| Se-75 | 1 | 3,3 | 30 | 99,6 | 8 | 26,6 |
| Ir-192 | 5 | 16,6 | 43,2 | 143,5 | 13 | 43,2 |
| Cs-137 | 6,5 | 21,6 | 48 | 157 | 16 | 53 |
| Co-60 | 12,7 | 40 | 62 | 206 | 21 | 69 |

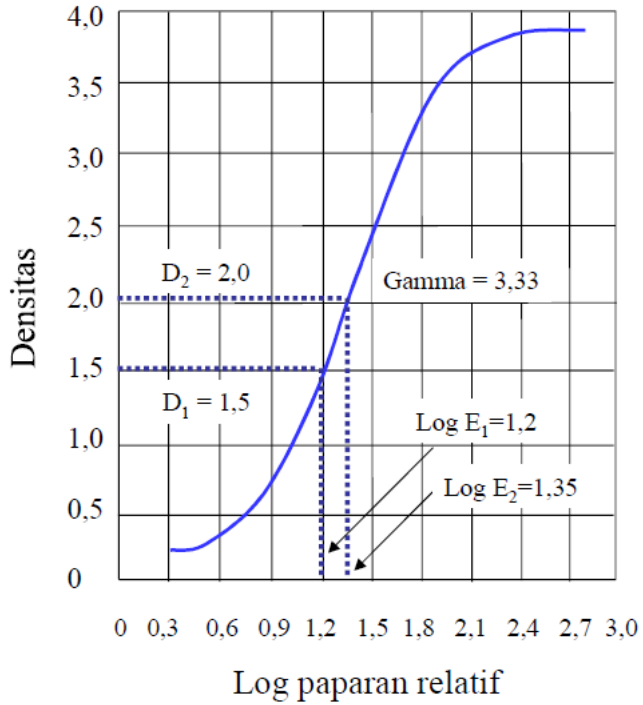
# 3 Jenis-Jenis Radiografi

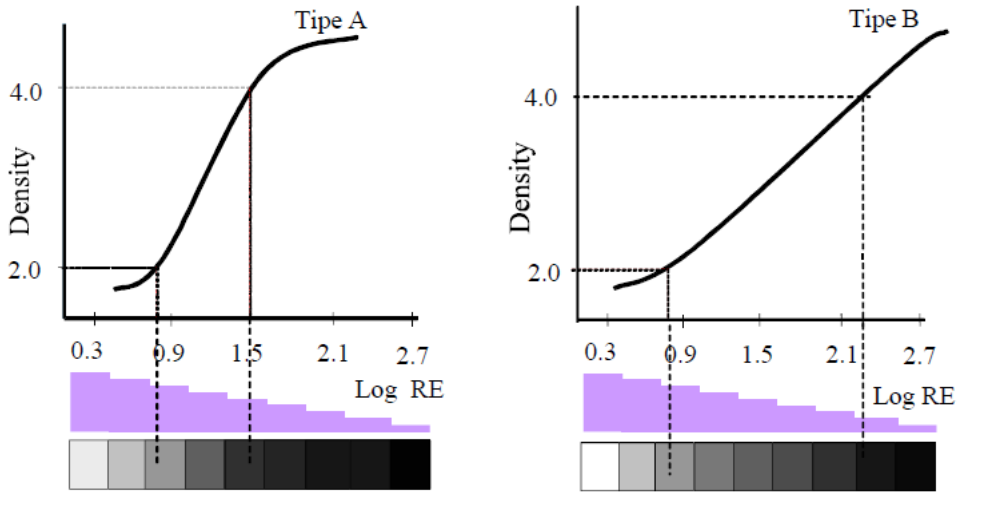
# RADIOGRAFI DENGAN FILM




Penampang lintang film radiografi

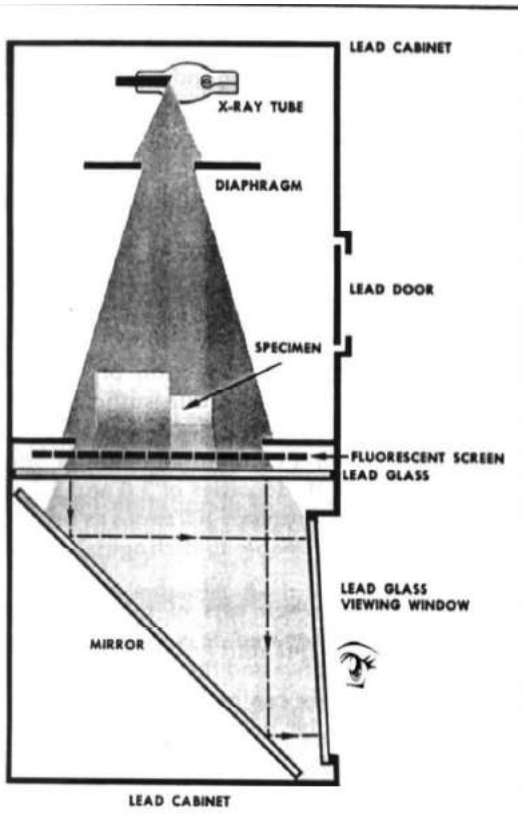



Film A memiliki latitude rendah, film B memiliki latitude lebar

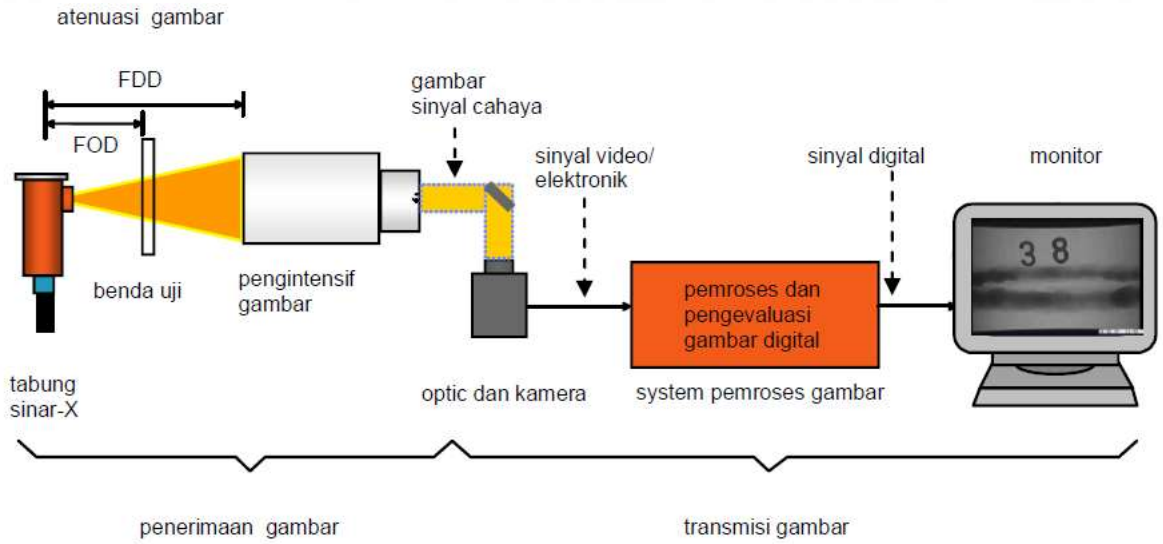
# RADIOGRAFI TANPA FILM

## A. Fluoroskopi




Fluoroskopi adalah pengamatan secara visual pada skrin fluoresen dari gambar suatu obyek yang dipapari dengan radiasi pengion. Metode ini telah digunakan sejak Wilhelm Conrad Roentgen menggunakan skrin phosphor untuk memeriksa bagasi di stasiun Brussels pada tahun 1897.

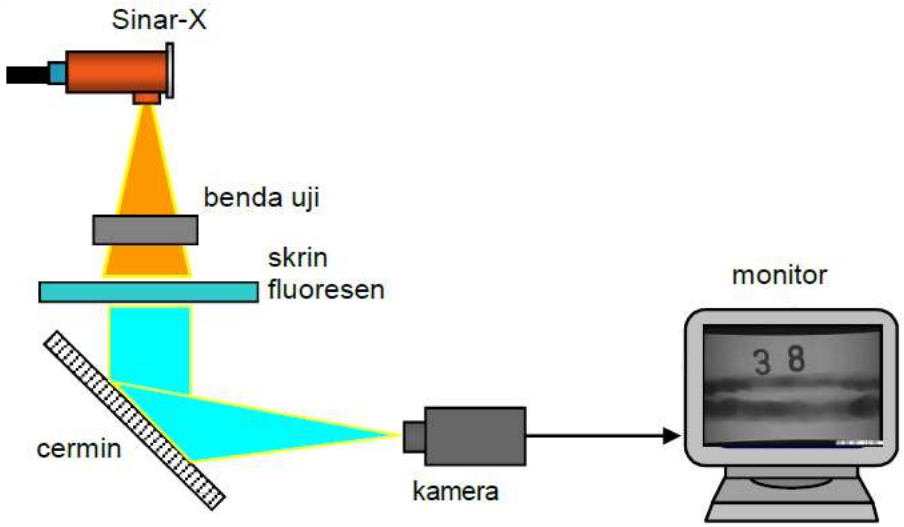
# B. Radioskopi



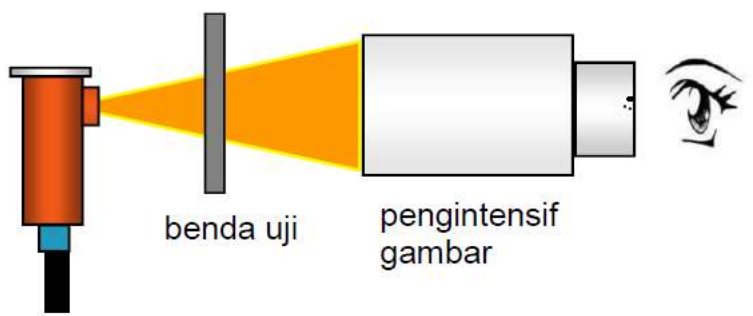

*sumber: http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn284/idn284.htm*

Radioskopi adalah produksi elektronik dari gambar radiologi yang mengikuti perubahan terhadap waktu dari obyek yang digambar. Metode ini merupakan pengembangan lebih lanjut dari fluoroskopi yang memungkinkan gambar dapat diamati dari jarak jauh ketika benda uji sedang diiradiasi dengan kecerahan yang memadai. Metode ini disebut juga dengan fluoroskopi elektronik.

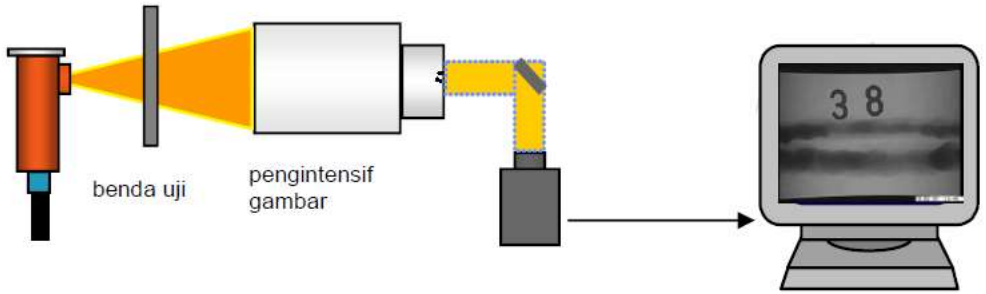
# Jenis Sistem Pencitraan



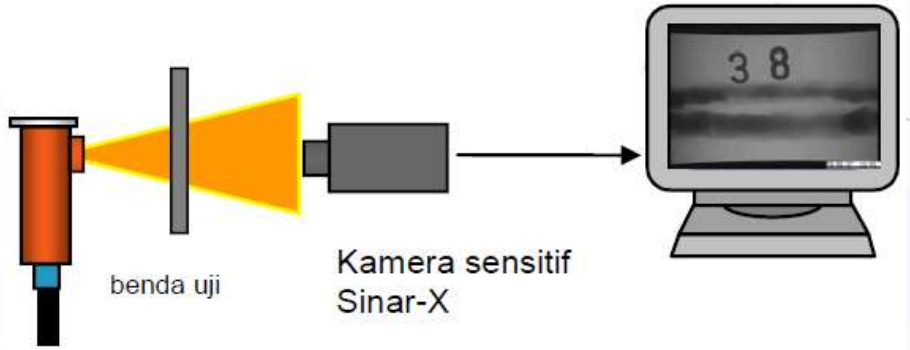

Transmisi gambar skrin fluoresen dengan kamera televisi




Intensifikasi sinyal dengan pengintensif gambar elektronik




Intensifikasi dan transmisi gambar pada pengintensif gambar dengan bantuan kamera televisi



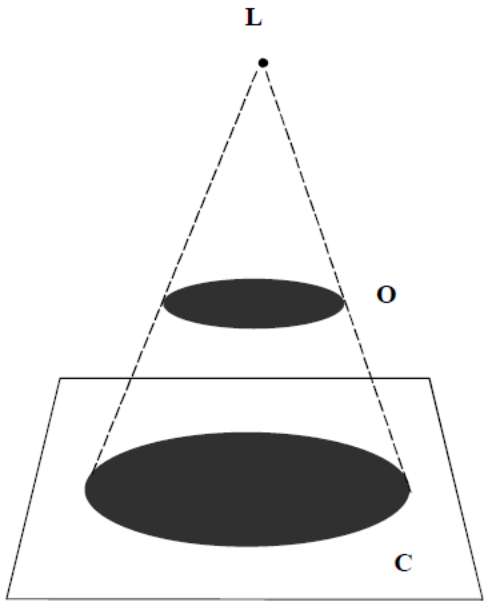

Intensifikasi dan transmisi sinyal radiasi sinar-X dengan kamera televisi sensitif sinar-X

# C. Xeroradiografi

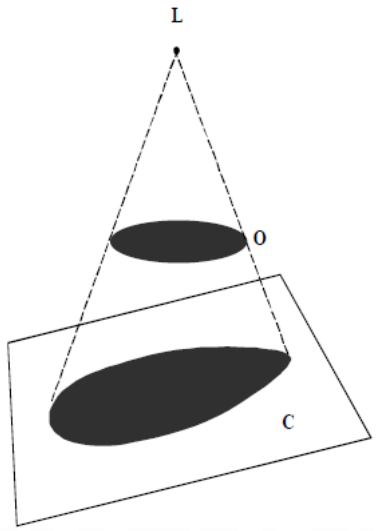
Xeroradiografi merupakan proses radiografi kering yang menggunakan pelat xeroradiografi sebagai media perekam. Pelat xeroradiografi terdiri dari lembaran tipis aluminium yang dilapisi dengan bubuk selenium secara merata. Diantara selenium dengan pelat aluminium dilapisi dengan aluminium oksida sangat tipis yang berfungsi sebagai insulator listrik.

# 4 Parameter dan Kondisi Kerja

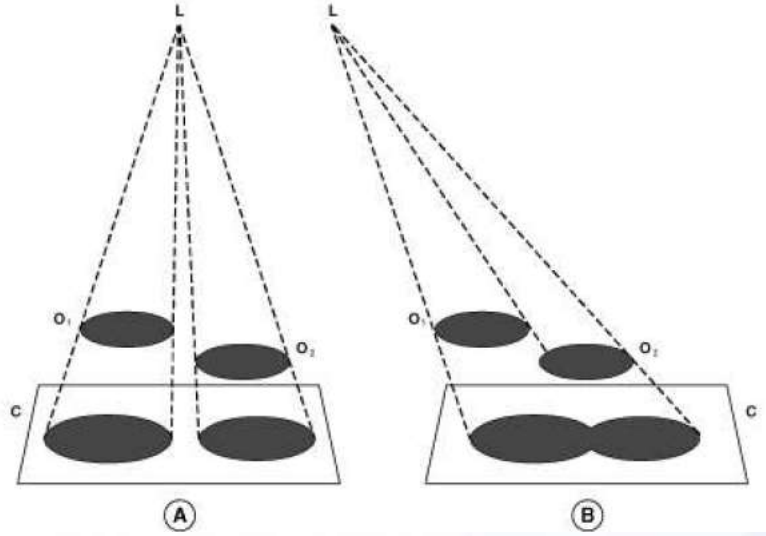
# Prinsip Geometri



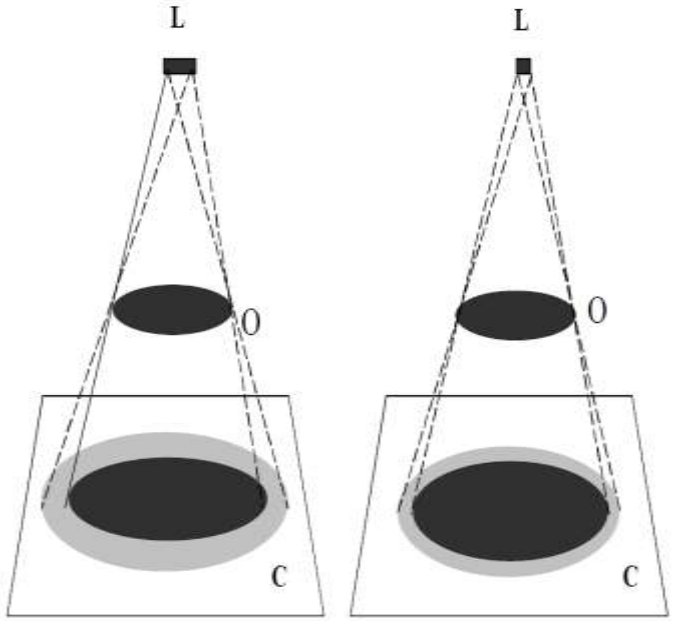

Bayangan obyek oleh sumber titik



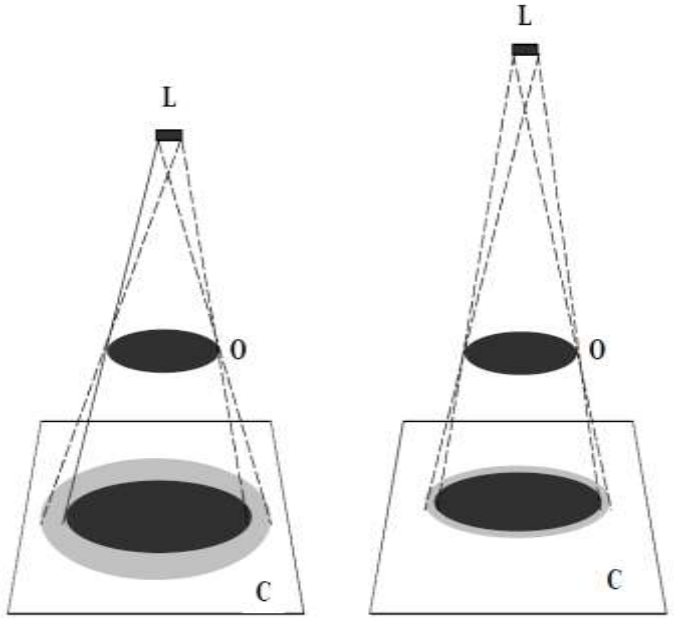

Bayangan obyek yang mengalami distorsi



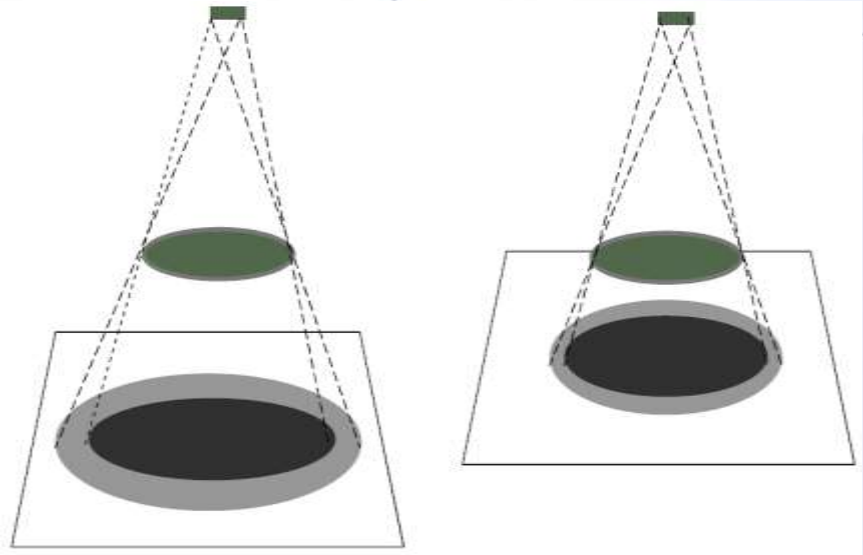

A. Posisi sumber tegak lurus menghasilkan gambar diskontinyuitas terpisah
B. Posisi sumber tidak tegak lurus menghasilkan gambar terdistorsi



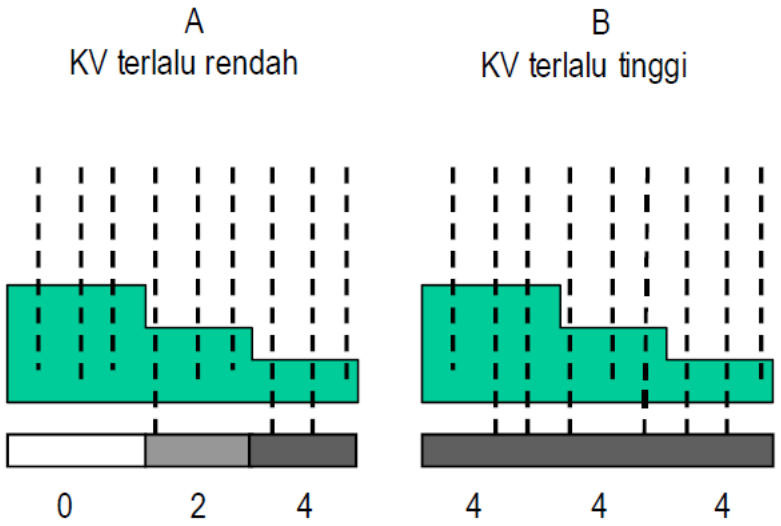

Pengaruh ukuran sumber cahaya terhadap penumbra



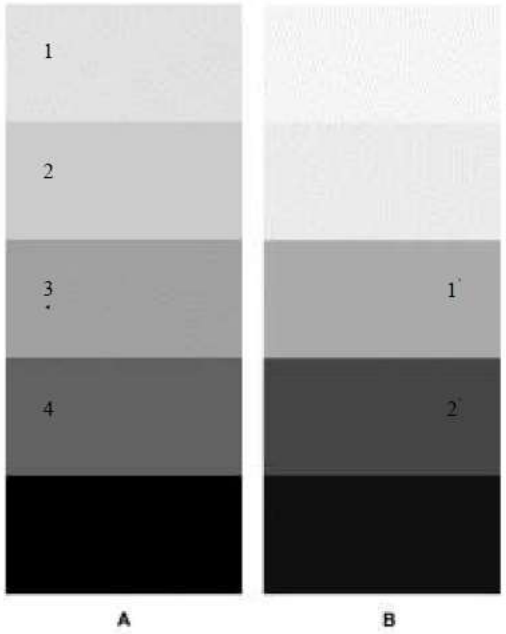

Pengaruh jarak sumber cahaya ke obyek terhadap penumbra



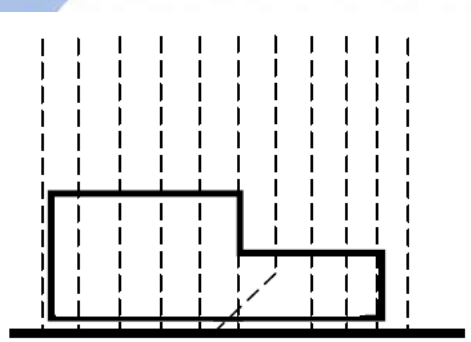
Pengaruh jarak layar ke obyek terhadap penumbra



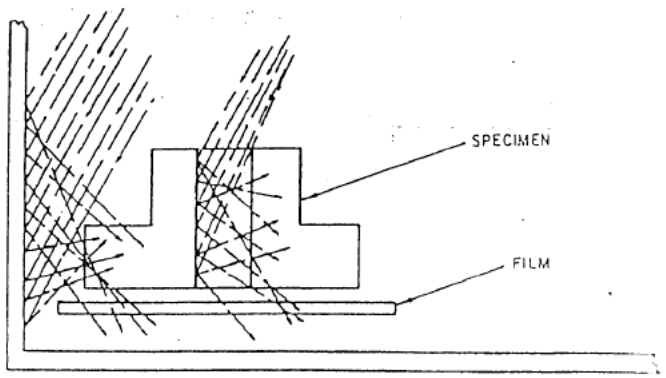

Pengaruh KV terhadap Kontras



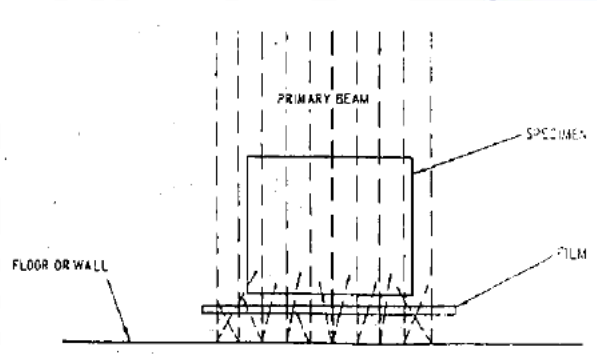

Pengaruh KV terhadap latitude



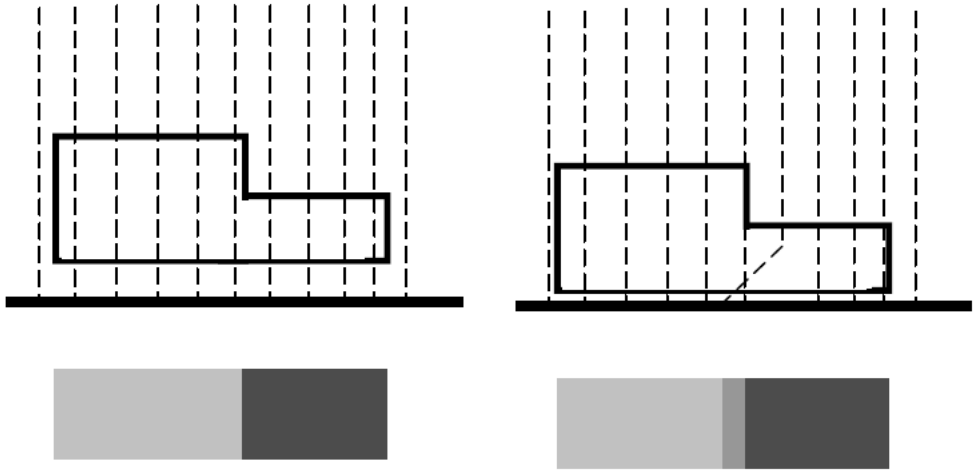
Hamburan internal




Hamburan dari benda di sekitar benda uji

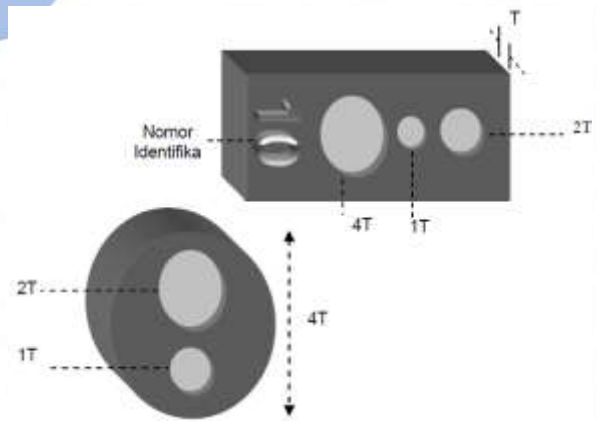



Hamburan balik dari lantai atau dinding



Penurunan kontras karena efek edge undercuting

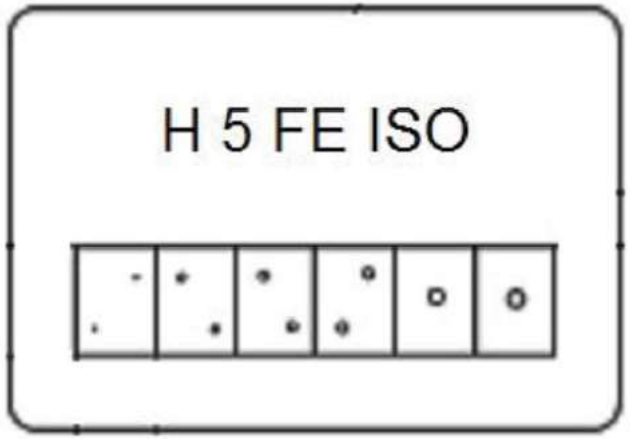
# Indikator Kualitas Bayangan (IKB)



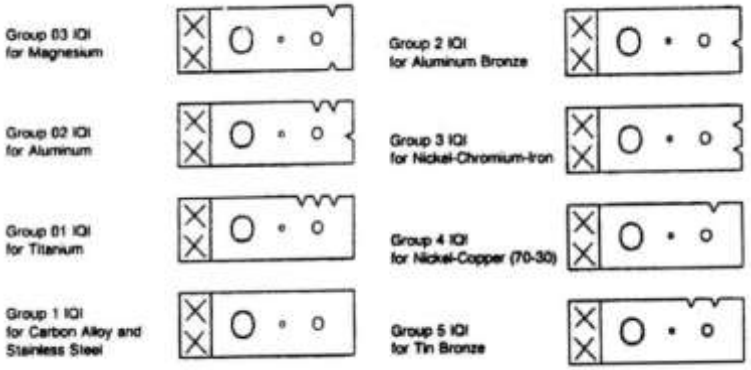

IKB tipe plaque ASTM




IKB tipe kawat ASTM set B




IKB step/hole standar EN/ISO (SNI)

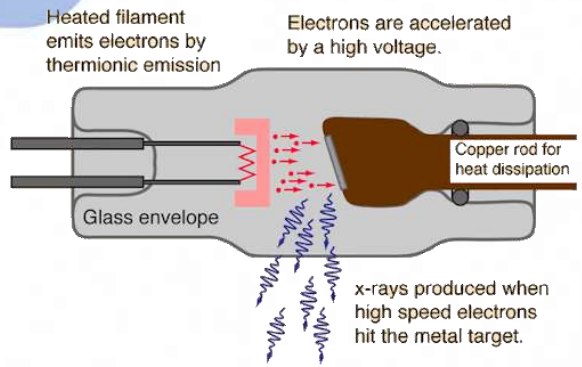



Identifikasi takikan IKB Plaque ASTM

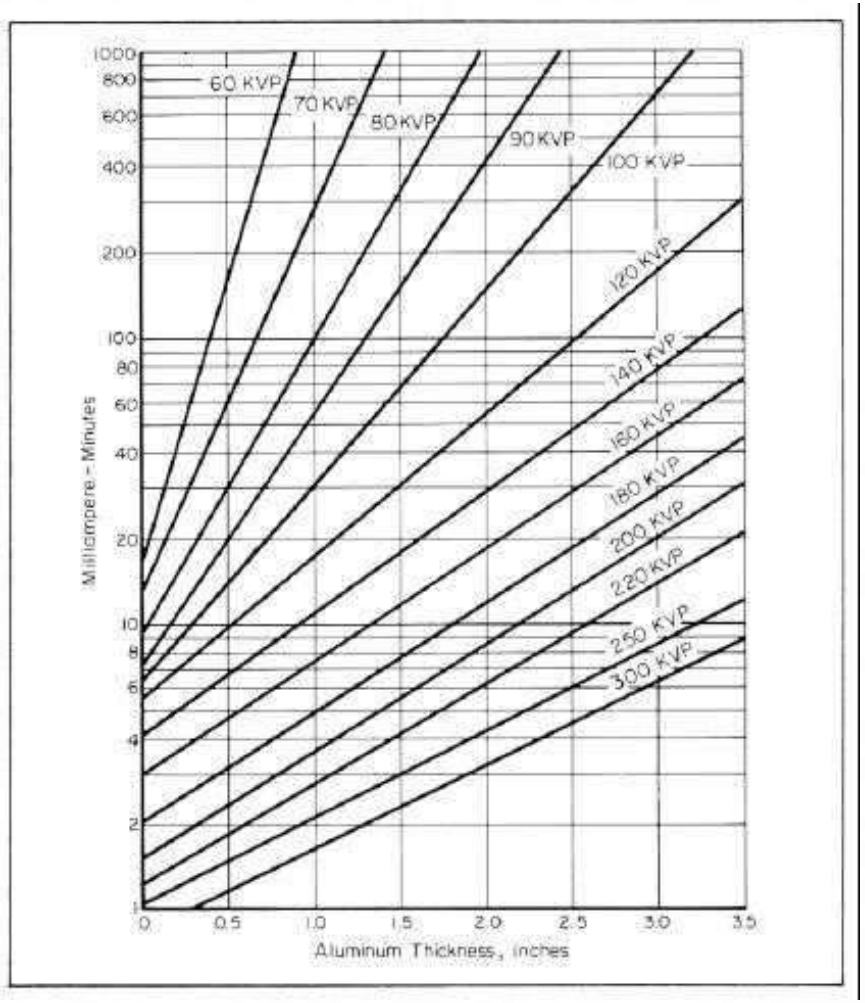


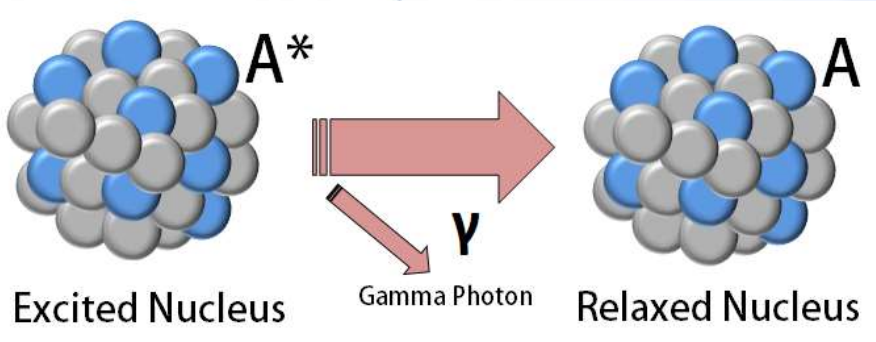

IKB kawat duplex standar EN/ISO (SNI)

# PAPARAN RADIOGRAFI




$E = i \cdot t$




$E = A \cdot t$

# RANGKUMAN

1.Radiografi adalah metode pengujian tanpa rusak (*Non-Destructive Testing*) menggunakan sinar-X atau sinar gamma untuk mendeteksi struktur internal dan cacat pada material.

2.Sistem pengujian ini membutuhkan empat komponen utama, yaitu sumber radiasi, objek uji, detektor, dan Indikator Kualitas Bayangan (*Image Quality Indicator*).

3.Pembentukan radiasi berasal dari transmisi elektron pada sinar-X dan proses peluruhan inti atom radioaktif pada sinar gamma.

4.Intensitas radiasi akan melemah seiring bertambahnya jarak dari sumber radiasi berdasarkan Hukum Kuadrat Terbalik.

5.Saat menembus material, radiasi mengalami penyerapan dan hamburan melalui tiga mekanisme utama: Efek Fotolistrik, Hamburan Compton, dan Produksi Pasangan.

# RANGKUMAN

6.Kemampuan penyerapan radiasi oleh suatu bahan diukur menggunakan parameter *Half Value Layer* dan *Tenth Value Layer*.

7.Pengujian radiografi dikelompokkan menjadi dua teknik utama, yaitu teknik berbasis film emulsi dan teknik digital tanpa film.

8.Metode tanpa film meliputi Fluoroskopi, Radioskopi *real-time*, dan Xeroradiografi berbasis proses elektrostatik kering.

9.Kualitas citra dipengaruhi oleh posisi geometri penembusan guna meminimalkan ketidakjelasan tepi bayangan atau penumbra.

10.Pemilihan tegangan listrik (kV), waktu paparan, dan penanganan hamburan radiasi sangat menentukan tingkat kontras serta kerapatan citra akhir.

# LATIHAN SOAL

**1.** Radiografi dalam pengujian tak merusak pada dasarnya digunakan untuk:

A. Mengukur kekerasan permukaan material secara langsung

B. Menghasilkan citra bagian internal objek menggunakan radiasi pengion

**Jawaban: B**

C. Menentukan komposisi kimia material melalui reaksi termal

D. Mengukur deformasi material dengan pembebanan mekanik

# LATIHAN SOAL

**2.** Dua nuklida disebut sebagai isotop apabila memiliki:

A. Nomor massa sama tetapi nomor atom berbeda

B. Jumlah neutron sama tetapi nomor atom berbeda

C. Nomor atom sama tetapi nomor massa berbeda

D. Nomor atom dan nomor massa yang sama dengan energi berbeda

**Jawaban: C**

# LATIHAN SOAL

**3.** Produksi pasangan (*pair production*) dapat terjadi apabila energi foton lebih besar dari:

A. 0,511 MeV

B. 1,022 MeV

C. 2,303 MeV

D. 10 MeV

**Jawaban: B**

# LATIHAN SOAL

**4. F**ungsi utama Indikator Kualitas Bayangan (IKB) dalam pemeriksaan radiografi adalah:

A. Menentukan jenis sumber radiasi yang digunakan

B. Mengukur aktivitas radioisotop secara langsung

C. Mengevaluasi kualitas dan sensitivitas hasil radiografi

D. Menghitung waktu paruh sumber radioaktif

**Jawaban: C**

# Terima Kasih

## Atas Perhatian Anda

Bridging Sciences
Empowering Talents
@dpk brin