

UJI VISUAL DAN KETAHANAN PROYEKSI  
PADA PERALATAN RADIOGRAFI  
GAMMA INDUSTRI JENIS PORTABEL

B. Y. Eko Budi Jumpeno

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN

Email: [ekojumpeno@yahoo.com](mailto:ekojumpeno@yahoo.com)

ABSTRAK

UJI VISUAL DAN KETAHANAN PROYEKSI PADA PERALATAN RADIOGRAFI GAMMA INDUSTRI JENIS PORTABEL. Uji visual dan ketahanan proyeksi pada kamera gamma industri portabel jenis Tech Ops 660 AI2190, Delta 880 LD5549, Amertes 660BIB1822, dan Sentinel 660 AIA 1357 serta 4 perangkat kendali sumber telah dilakukan. Metode pengujian yang diterapkan mengacu pada SNI ISO 3999:2008. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan dan menjamin bahwa peralatan radiografi yang digunakan memenuhi persyaratan keselamatan berkaitan dengan kondisi visual dan mekanik sehingga layak dioperasikan dengan aman. Pelaksanaan uji visual dilakukan dengan pemeriksaan visual pada kamera gamma dan perangkat kendali sumber. Sedangkan pelaksanaan uji ketahanan proyeksi dilakukan dengan memasang perangkat radiografi gamma dan alat pelengkung  $90^\circ$  pada selongsong kabel kendali dan pelengkung  $45^\circ$  pada selongsong proyeksi. Hasil uji menunjukkan bahwa kamera gamma tipe Tech Ops 660 A dan Delta 880 lolos uji, sedangkan tipe Amertes 660 B dan Sentinel 660 A tidak lolos uji. Sedangkan pada uji visual dan ketahanan proyeksi 4 perangkat kendali sumber menunjukkan bahwa hanya 2 yaitu perangkat kendali sumber (Tech Ops 660 A) dan perangkat kendali sumber (Sentinel 660 A) yang lolos uji.

Kata kunci: uji, visual, proyeksi, ketahanan, radiografi gamma, industri, portabel

ABSTRACT

VISUAL AND PROJECTION OF ENDURANCE TESTS ON PORTABLE GAMMA INDUSTRIAL RADIOGRAPHY. Visual and projection endurance tests on portable industrial gamma cameras type AI2190 Tech Ops 660, Delta 880 LD5549, Amertes 660BIB1822, and Sentinel 660 A IA 1357 as well as 4 source control devices has been done. Testing methods are applied refer to SNI ISO 3999:2008. The test is performed to ensure and guarantee that the use of portable radiography equipments meet the safety requirements relating to visual and mechanical condition so it is worth operated safely. Implementation of visual tests was performed by visual examination of the

*gamma cameras and the source control devices. Meanwhile, projection endurance tes is done by installing gamma radiography devices and 90° and 45° bending equipment to cable housing and source guide tube respectively. The result of the tes shows that the gamma cameras type A Tech Ops 660 and Delta 880 pass the tes, whereas type Amertes 660 B and Sentinel 660 A not pass the tes. While, the tes of 4 projection control devices indicate that only two control device s, namely the source control device (Tech Ops 660A) and the source control device (Sentinel 660A) thatpass the tes.*

*Keyword: tes, visual, projection, endurance, gamma radiography, industry, portable*

## PENDAHULUAN

Dalam industri radiografi, kontainer paparan atau dikenal dengan nama kamera radiografi gamma atau kamera gamma adalah perisai dalam bentuk kontainer yang didesain untuk memungkinkan penggunaan radiasi gamma dan rakitan sumber (*pigtail*) secara terkendali. Terdapat 3 kategori kamera gamma apabila ditinjau dari lokasi rakitan sumber dalam kondisi operasi yaitu kategori 1, kategori 2, dan kategori X. Saat ini kamera gamma yang banyak digunakan dalam industri radiografi ialah kamera gamma kategori 2 yaitu kamera gamma dengan rakitan sumber yang diproyeksikan melalui selongsong proyeksi (*guide tube*) ke kepala paparan (*snout*) ketika kamera gamma sedang dioperasikan. Ditinjau dari segi mobilitas, dikenal 3 jenis kamera gamma yaitu jenis portabel, mobile, dan *fixed* (tetap). Kamera gamma yang banyak digunakan adalah jenis portabel.

Dalam hal penggunaan di lapangan, kuantitas kejadian kecelakaan pada radiografi industri (radiografi gamma) relatif tinggi. Keadaan itu disebabkan oleh beberapa hal; yaitu mobilitas yang tinggi pada pekerjaan; ketidakpatuhan para pekerja (operator) terhadap prosedur operasi (SOP), prosedur pengangkutan maupun prosedur

penyimpanan; ketidaktahuan operator mengenai potensi bahaya pada pemakaian peralatan radiografi gamma; dan tidak berfungsinya peralatan radiografi gamma akibat kurangnya perawatan atau rusak. Menurut Publikasi IAEA (*International Atomic Energy Agency*) yang berjudul *Lesson Learned from Accidents in Industrial Radiograph (Safety Report Series No. 7)*, industri radiografi menyumbang hampir separo kecelakaan radiasi yang terjadi dalam industri nuklir baik di negara maju maupun negara berkembang [1].

Aquino,JO dkk (Brazil) melakukan pengujian terhadap 239 kamera gamma jenis portabel yang memanfaatkan sumber Ir-192. Pengujian kamera gamma dilakukan untuk mengevaluasi apakah kamera gamma tersebut memenuhi persyaratan keselamatan sebagaimana disebutkan dalam ISO 3999:1977, ISO 3999:1997, dan ISO 3999:2000. Parameter keselamatan yang harus dipenuhi berdasarkan standar ISO 3999:1997 dan ISO 3999:2000 meliputi : (a) kondisi keberadaan tutup kamera gamma, (b) sistem kunci yang tidak bisa dilepas ketika dalam kondisi operasi, (c) indikator posisi sumber yang dapat dilihat pada jarak 5 meter, (d) mekanisme keamanan otomatis dimana kamera gamma tidak dapat terkunci apabila

sumber tidak berada dalam posisi aman, dan (e) tiga sambungan yang harus dilepaskan pada posisi sumber yang aman yaitu antara kabel kendali dan *pigtail*, antara rumah kabel kendali dan kamera gamma, serta antara kamera gamma dan *guide tube*. Sedangkan persyaratan keselamatan yang harus dipenuhi menurut standar ISO 3999:1977 adalah butir (a), butir (b), dan butir (c) tanpa menyebutkan jarak indikator posisi sumber dapat dilihat pada jarak 5 meter. Dari 239 kamera gamma yang diuji, ternyata tidak ada satu pun yang memenuhi standar pengujian dalam ISO 3999:1977 dan ISO 3999:2000[2]. Namun pada pengujian menggunakan standar ISO 3999:1977, ada 70% kamera gamma yang memenuhi persyaratan [2].

*Bhabha Atomic Research Centre, India* (2003) menerbitkan prosedur jaminan mutu pada unjuk kerja fungsi peralatan radiografi gamma industri. Peralatan radiografi gamma wajib diuji unjuk kerja dan fungsinya. Apabila lolos uji kamera gamma radiografi diizinkan untuk diisi ulang dengan sumber radioaktif baru[3]. Daftar pemeriksaan terkait dengan uji visual dan ketahanan proyeksi yang tercantum dalam prosedur tersebut meliputi: pemeriksaan kondisi fisik, fungsi sistem kunci, fungsi penutup sumber radioaktif, mekanisme kabel kendali, hubungan kabel kendali dan *pigtail*, serta pemeriksaan indikator posisi sumber..

Dalam tulisan ini akan diuraikan metode pengujian visual dan ketahanan proyeksi pada peralatan radiografi gamma industri jenis portabel.. Pengujian didasarkan pada standar SNI ISO 3999:2008 tentang *Proteksi radiasi-Peralatan untuk radiografi gamma industri-Spesifikasi untuk kinerja, desain, dan uji* [4]. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan dan menjamin bahwa peralatan radiografi portabel yang digunakan memenuhi persyaratan keselamatan berkaitan dengan kondisi visual dan mekanik sehingga layak dioperasikan dengan aman.

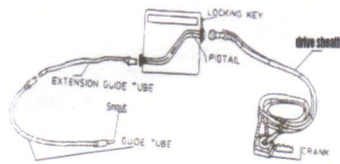
#### TINJAUAN PUSTAKA

##### Peralatan Radiografi Gamma Industri

Kamera gamma yang banyak digunakan untuk keperluan pengujian tak rusak (*non destructive testing*) di Indonesia pada umumnya masuk kelas P (*portable*). Sebagian besar kamera gamma ini diklasifikasikan dalam *projection exposure container* yaitu kamera gamma yang mana sumber radioaktif yang dipakai diproyeksikan ke luar kamera menggunakan suatu pengarah (*guide tube*) pada suatu kolimator oleh operator yang beradajauh dari kolimator tersebut..

Peralatan radiografi gamma industri pada dasarnya terdiri dari rakitan sumber (*pigtail*), kamera gamma, unit pemutar (*crank*), kabel pengendali dan rumah kabel, selongsong proyeksi (*guide tube/extension guide tube*), dan

kolimator. Gambar 1: menunjukkan suatu peralatan radiografi gamma industri.



Gambar 1. Peralatan radiografi gamma industri.

Apabila pekerjaan radiografi memerlukan area objek yang kecil, ukuran berkas radiasi dapat dikurangi dengan menggunakan kolimator sebagai pengarah radiasi. Salah satu jenis kamera gamma yaitu *shutter exposure container* telah menggabungkan sistem kolimasi sebagai bagian dari perisai radiasi. Gambar 2 melukiskan berbagai bentuk kolimator.



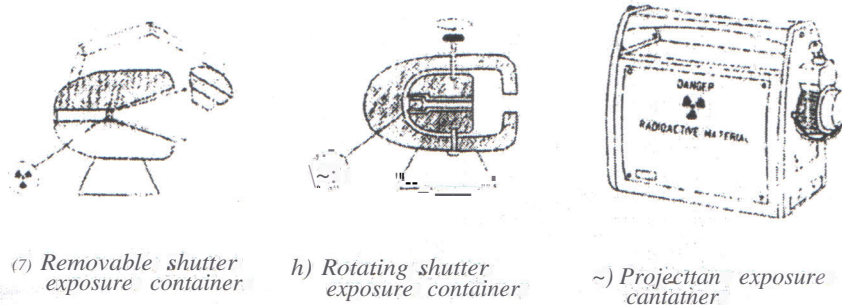
Gambar 2. Berbagai bentuk kolimator pada peralatan radiografi gamma

### kamera Gamma

Untuk memastikan operator radiografi atau orang lain di sekitarnya tidak menerima paparan yang tidak diperlukan, sumber radioaktif ditempatkan di dalam wadah berperisai pada saat tidak digunakan atau pada saat diangkat. Wadah berperisai ini dikenal dengan nama kamera gamma. Kamera gamma terbuat dari timballuranium susut kadar (*depleted uranium*) yang dikombinasikan dengan selimut baja tahan karat (*stainless steel*) untuk memberikan perlindungan mekanis dan kekuatan. Berdasarkan lokasi sumber radioaktif ketika dalam posisi kerja, kamera gamma radiografi dibedakan menjadi 3 yaitu:

1. *Removable shutter exposure container*
2. *Rotating shutter exposure container*
3. *Projection exposure container*

Gambar 3 melukiskan berbagai jenis kamera gamma yang digunakan dalam radiografi industri.



Gambar 3. Berbagai jenis kamera gamma yang digunakan dalam radiografi industri

Kamera gamma jenis *shutter exposure container* (Nomor 1 dan 2) adalah jenis kamera gamma yang lokasi sumber tetap berada di dalam kamera gamma ketika dalam kondisi kerja. Pada jenis *removable shutter exposure container* dan dalam kondisi kerja, sumber radioaktif tidak berubah posisi hanya penutup (*shutter*) yang berubah. Pada jenis *rotating shutter exposure container*, *shutter* yang berisi sumber radioaktif diputar pada posisi kerja sehingga mengarah pada kolimator dan memancarkan radiasi melalui kolimator tersebut. Keduanya mengkolimasi dan membatasi ukuran berkas radiasi yang dilepaskan. Pada kamera gamma jenis ini ada yang memiliki mekanisme manual ada pula yang

otomatis. Apabila objek atau ukuran film melebihi berkas radiasi, sumber radioaktif dapat dipasang pada kolimator yang sesuai untuk melakukan kegiatan radiografi panoramik. Dalam kegiatan ini, operator radiografi biasanya menerima paparan dosis radiasi yang lebih tinggi dibandingkan pada radiografi non panoramik.

Pada kamera gamma jenis *projection exposure container*, sumber diproyeksikan di luar kamera gamma menggunakan peralatan kendali jarak jauh ketika dioperasikan. Saat ini, kamera gamma jenis *projection exposure container* paling banyak dipakai di lapangan dan jenisnya sangat banyak misalnya Tech Ops 660, Gammavid-192, dan Spec 2T.



Model 660

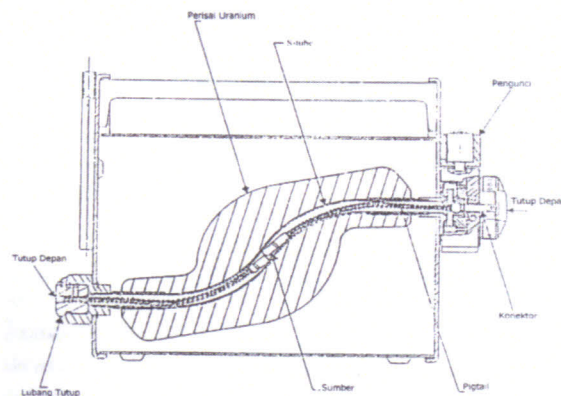
Model 880

Model 680

Gambar 4. Kamera gamma jenis Tech Ops/Sentinel/ Amertes

Di dalam industri radiografi, jenis kamera gamma yang banyak digunakan adalah *projection exposure container* atau *crank out camera*. Sumber radioaktif terpasang pada ujung rakitan

sumber (*pigtail*). Bagian non-aktif rakitan sumber menonjol keluar kamera gamma dan ditahan oleh cincin pengunci yang menjaga rakitan sumber tetap pada *center*.



Gambar 5. Bagian-bagian kamera gamma jenis *projection exposure container*

*S-shape tube* (leher bebek) pada penahan radiasi mencegah radiasi tidak memancar keluar. Pada kamera gamma terdapat mekanisme pengaman berupa sistem pengunci. Kamera gamma tidak boleh disimpan atau diangkat dalam kondisi tidak terkunci dan anak kunci masih tertinggal dalam lubang kunci. Pada saat tidak digunakan, anak kunci tidak boleh ditinggal. Gambar 5 memperlihatkan bagian-bagian kamera gamma jenis *projection exposure container*.

#### Standar SNI ISO 3999:2008

SNI ISO 3999:2008 adalah standar nasional Indonesia yang menetapkan persyaratan mengenai kinerja, desain dan uji dari peralatan radiografi gamma dengan kontainer paparan tetap, mobile, dan portabel. Standar nasional ini diadopsi dari standar internasional ISO 3999:2004 tentang *Radiation protection - Apparatus for Industrial gamma radiography - Specifications for performance, design, and test*. Standar ISO 3999 ditetapkan sebagai SNI pada tanggal 13 Maret 2009 melalui Keputusan Kepala BSN No. 181KEP/BSN/312009.

SNI ISO 3999:2008 menjadi acuan dalam melakukan pengujian pada peralatan radiografi gamma di bidang industri. Dalam SNI ISO 3999:2008 diuraikan beberapa topik yang terkait dengan pengujian peralatan radiografi gamma industri yang meliputi klasifikasi kamera gamma

(*exposure container*) berdasarkan posisi *pigtail* ketika sedang dioperasikan dan berdasarkan mobilitas (klausul 4), spesifikasi peralatan radiografi gamma industri yang menguraikan tentang persyaratan umum maupun persyaratan khusus menyangkut masalah radiasi dan mekanik (klausul 5), jenis pengujian yang diterapkan pada peralatan radiografi gamma industri (klausul 6), penandaan pada kamera gamma dan *pigtail* (klausul 7), dan identifikasi sumber terbungkus yang digunakan (klausul 8).

#### Uji Visual dan Ketahanan Proyeksi

Uji visual dan ketahanan proyeksi yang dilakukan terhadap peralatan radiografi gamma industri meliputi :

1. pemeriksaan tutup depan kamera gamma (*plug nut*) (klausul 5.6.3)
2. pemeriksaan tutup belakang kamera gamma (*lock cover*) (klausul 5.6.3)
3. pemeriksaan sistem kunci (klausul 5.4.1.1)
4. pemeriksaan mekanisme pengaman otomatis (klausul 5.4.1.2)
5. pemeriksaan indikator posisi aman atau tidak aman (klausul 5.4.2)
6. pemeriksaan simbol radioaktif pada kamera (klausul 7.1.2)
7. pemeriksaan tanda-tanda yang meliputi tipe, nomor seri kamera, dan aktivitas



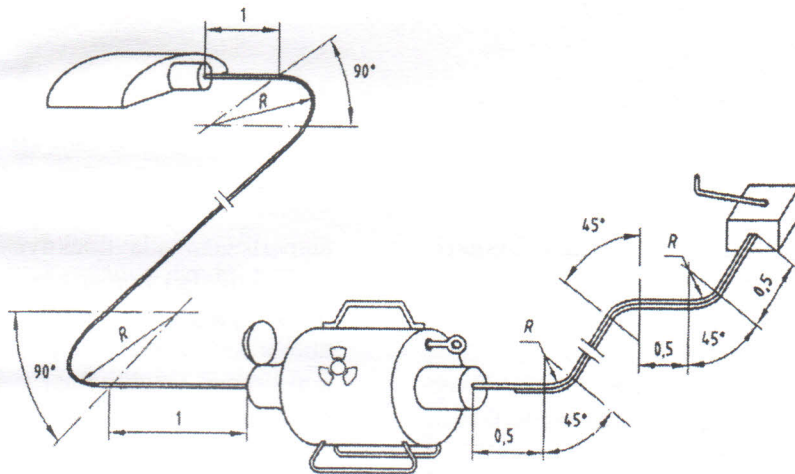
maksimum (klausul 7.1.3 dan 7.1.5)

8. pemeriksaan kondisi fisik dari kabel kendali, rumah kabel, pemutar (*crank*), dan kabel proyeksi (*guide tube*) serta tanda arah gerakan mengeluarkan (*expose*) dan memasukkan (*retract*) sumber (klausul 5.7.2).
9. uji ketahanan proyeksi (klausul 6.3.3.).

Semua pemeriksaan di atas merupakan pemeriksaan tidak merusak yang mengacu pada SNI ISO 3999:2008. Uji visual dan ketahanan proyeksi dilakukan

untuk memastikan bahwa peralatan radiografi gamma industri dalam kondisi baik dan ketika dioperasikan tidak mengalami malfungsi sehingga menyebabkan terlepasnya sumber radioaktif dari kamera gamma (kecelakaan radiasi).

Pada uji ketahanan proyeksi, dilakukan pengujian ketahanan sambungan *pigtail* dan kabel kendali, sambungan rumah kabel kendali dan kamera gamma, serta sambungan *guide tube* dan kamera gamma. Di samping itu kondisi aus tidaknya pemutar (*crank*) diuji dalam uji ketahanan proyeksi ini.



Gambar 6. Konfigurasi peralatan radiografi gamma pada uji ketahanan proyeksi

#### BAHAN DAN PERALATAN

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam uji visual dan ketahanan proyeksi adalah sebagai berikut:

1. Empat buah kamera gamma jenis portabel meliputi Tech

Ops 660 N2190, Delta 880 1D5549, Amertes 660BIB 1822, dan Sentinel 660 NA 1357.

2. Empat buah perangkat kendali sumber yang masing-masing perangkat meliputi kabel kendali, rumah kabel, pemutar dan *guide tube*.

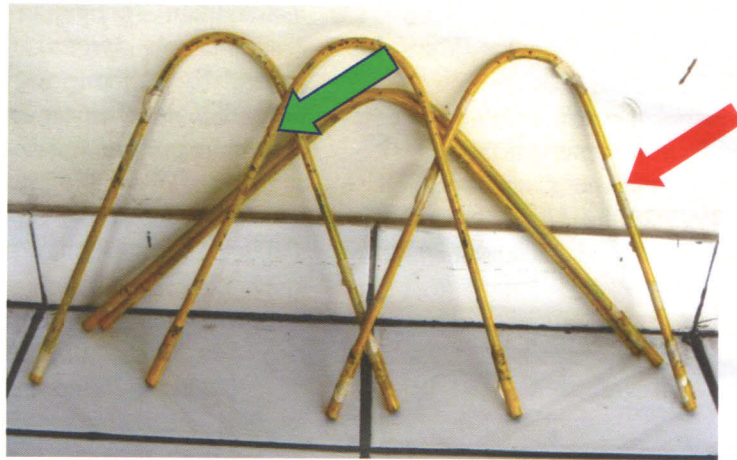
3. Alat pelengkuag untuk uji ketahanan proyeksi yang meliputi sudut  $45^\circ$  dan  $90^\circ$ .
4. Lakban kertas.
5. Dummy

### METODE UJI

#### Persiapan

Peralatan radiografi gamma industri jenis portabel yang

meliputi 4 (empat) kamera gamma, 4(empat) perangkat kendali sumber yaitu kabel kendali beserta rumah kabel dan pemutar (*crank*), dan *guide tube* dipastikan tidak terkontaminasi. Pada kamera gamma terpasang dummy dan tidak berisi sumber radioaktif.



Gambar 7. Alat pelengkuag uji sudut  $90^\circ$  (merah) dan  $45^\circ$  (hijau).

#### Pelaksanaan Uji Visual Kamera Gamma

Lakukan pemeriksaan visual (fisik) pada kamera gamma yang meliputi: (a) pemeriksaan tutup depan (*plug nut*), (b) pemeriksaan tutup belakang (*lock cover*), (c) pemeriksaan sistem kunci, (d) pemeriksaan pengaman otomatis, (e) pemeriksaan indikator posisi aman atau tidak aman, (t)

pemeriksaan ada tidaknya simbol radioaktif, (g) pemeriksaan tanda-tanda yang meliputi tipe dan nomor seri kamera serta kapasitas maksimum (aktivitas) kamera gamma. Pemeriksaan meliputi ada atau tidak adanya dan berfungsi atau tidaknya kelengkapan atau tanda-tanda tersebut. Hasil pemeriksaan visual kamera gamma kemudian dicatat.



Gambar 8. Salah satu kamera gamma yang diuji secara visual

#### **Pelaksanaan Uji Visual Perangkat Kendali dan Guide Tube**

Lakukan pemeriksaan visual (fisik) pada kabel kendali (termasuk bagian sambungan), rumah kabel, dan *guide tube*. Lakukan juga pemeriksaan fisik pada pemutar (*crank*), ada atau tidak adanya tanda *expose* (mengeluarkan sumber radioaktif) dan *retract* (memasukkan sumber radioaktif). Hasil pemeriksaan visual kabel kendali dan *guide tube* dicatat..

#### **Pelaksanaan Uji Ketahanan Proyeksi**

Lakukan pemasangan kabel kendali dan rumah kabel dengan kamera gamma serta kamera gamma dengan *guide tube*. Kemudian pasang alat pelengkung 90° dan 45° pada *guide tube* dan rumah kabel

sehingga terbentuk konfigurasi sebagaimana terlihat pada Gambar 6. Kemudian lakukan gerakan *expose* dan *retract* masing-masing 10 kali. Gerakan *expose* dan *retract* adalah gerakan *dummy (pigtail)* dari posisi aman ke posisi kerja (operasi) dan kembali ke posisi aman. Lakukan pengamatan pada setiap gerakan *expose* dan *retract*. Hasil pengamatan selanjutnya dicatat..

#### **Evaluasi Uji Visual dan Ketahanan Proyeksi**

Hasil pemeriksaan visual pada kamera gamma, perangkat kendali, dan *guide tube* serta uji ketahanan proyeksi selanjutnya dievaluasi untuk menetapkan layak dan tidaknya peralatan radiografi gamma industri dioperasikan..

**PEMBAHASAN**

Pada uji visual dan ketahanan proyeksi terhadap 4 (empat) kamera gamma dan 4 (empat) perangkat kendali

sumber diperoleh hasil pengamatan sebagaimana terlihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Hasil ujipengamatan visual pada berbagai jenis kamera gamma portabel radiografi industri

No.	Jenis Kamera Gamma Nomor: Sen	Ketersediaan							Kondisi						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1.	Tech Ops 660 A/2190	√	√	√	-	-	√	√	√	√	√	-	-	√	√
2.	Delta 880ID5549	~	~	~	~	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3.	Amertes660BIB 1822	~	-	-	-	-	√	√	-	-	-	-	-	-	√
4.	Sentinel 660 AiA 1357	~	~	~	-	-	-	√	√	√	√	-	-	-	√

Keterangan:  
 1=Tutup depan (plug nut)  
 2=Tutup belakang (lock cover)  
 3=Sistem kunci  
 4=Indikator posisi sumber  
 5=Pengaman otomatis  
 6=Simbol radiasi  
 7=Tipe dan nomor seri kamera  
 ~ = tersedia/kondisi baik

Tabel 2. Hasil ujipengamatan visual pada berbagai perangkat kendali sumber gamma

No.	Perangkat Kendali Sumber/Kamera Gamma (fy)	Kondisi					
		1	2	3	4	5	6
1.	Perangkat kendali Sumber (Tech Ops 660 A)	√	√	√	√	√	√
2.	Perangkat kendali Sumber (Delta 880)	√	-	√	√	-	√
3.	Perangkat kendali Sumber (Amertes 660B)	√	√	√	-	-	√
4.	Perangkat kendali Sumber (Sentinel 660 A)	√	√	√	√	√	√

Keterangan:  
 1=Kabel kendali dan rumah kabel  
 2=Indikator expose dan retract  
 3=Guide tube  
 ~ = tersedia/kondisi baik

Tabel 3. Hasil uji konfigurasi perangkat kendali sumber

No.	Perangkat Kendali Sumber IKamera Gamma	Berhasil	Gagal
1.	Perangkat kendali Sumber (Tech Ops 660 A)	√	-
2.	Perangkat kendali Sumber (Delta 880)	-	√
3.	Perangkat kendali Sumber (Amertes 660B)	-	√
4.	Perangkat kendali Sumber (Sentinel 660 A)	√	-

Dari 4 kamera gamma portabel yang diuji ternyata hanya 1 kamera yaitu Delta 880 yang memenuhi semua persyaratan, diikuti Tech Ops 660 tidak memenuhi 2 persyaratan, Sentinel 660 A tidak memenuhi 3 persyaratan, dan Amertes 660 B tidak memenuhi 4 persyaratan. Namun dari 3 kamera gamma yaitu Tech Ops 660 A, Amertes 660 B dan Sentinel 660 A, hanya kamera Tech Ops 660 A yang lolos uji visual meskipun kamera gamma ini tidak memenuhi persyaratan terkait ketersediaan indikator posisi sumber dan pengaman otomatis. Meskipun pengujian untuk kedua parameter tersebut tidak lolos, namun karena indikator posisi sumber dan pengaman otomatis merupakan spesifikasi kamera gamma tipe ini, maka kamera gamma dinyatakan lolos uji.

Sementara itu untuk kamera gamma Amertes 660 B dan Sentinel 660 A tidak lolos uji karena ada persyaratan keselamatan selain ketersediaan indikator posisi sumber dan pengaman otomatis yang tidak terpenuhi.

Dari 4 perangkat kendali sumber yang diuji ternyata hanya 2 yaitu perangkat kendali sumber (Tech Ops 660 A) dan perangkat kendali sumber (Sentinel 660 A) yang lolos uji visual dan uji ketahanan proyeksi.

Kamera gamma dan perangkat kendali sumber yang lolos uji visual dan uji ketahanan proyeksi dapat dioperasikan dengan aman dan kecelakaan radiasi yang disebabkan oleh terjadinya malfungsi peralatan radiografi dapat dicegah.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

- [1]. Uji visual pada 4 kamera gamma radiografi industri yang meliputi tipe Tech Ops 660 A, Delta 880, Amertes 660 B, dan Sentinel 660 A mengacu pada SNI ISO 3999:2008. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kamera gamma tipe Tech Ops 660 A dan Delta 880 lolos uji, sedangkan tipe Amertes 660 B dan Sentinel 660 A tidak lolos uji.
- [2]. Pada uji visual dan ketahanan proyeksi 4 perangkat kendali sumber menunjukkan bahwa hanya 2 yaitu perangkat kendali sumber (Tech Ops 660 A) dan perangkat kendali sumber (Sentinel 660 A) yang lolos uji.
- [3]. Berdasarkan hasil uji visual dan ketahanan proyeksi peralatan radiografi gamma jenis portabel, dapat disusun prosedur baku uji visual dan ketahanan proyeksi peralatan radiografi gamma jenis portabel.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Lesson Learned from Accidents in Industrial Radiography*, Safety Series No.7, Vienna, (2003).
- [2]. AQUINO, JO, et al, *Evaluation of the Radiological Safety of <sup>192</sup>Ir Apparatus for Industrial Gamma Radiography*, IRD/CNEN, Rio de Janeiro, Brazil, (2003).
- [3]. KANNAN, R., et al, *Quality Assurance Procedure for Functional Performance of Industrial Gamma Radiography Exposure Devices*, BARC Report, Mumbai (2003).
- [4]. BADAN STANDARDISASI NASIONAL, *Proteksi radiasi-Peralatan untuk radiografi gamma industri-Spesifikasi untuk kinerja, desain dan uji*. SNI ISO 3999:2008, Jakarta (2008).
- [5]. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION, *International Standar ISO 3999, Rev. 1st edition. Apparatus for Industrial gamma radiography - Design and test criteria*, ISO, Switzerland, 47 p, (1997).
- [6]. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION, *International Standar ISO 3999-1, Apparatus for Industrial gamma radiography, part 1: Specifications for performance, design and test*, ISO, Switzerland, 31 p, (2000).
- [7]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography*. Safety Series No. 13, Vienna (1996).

- [8]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Manual on Gamma Radiography Incorporating Application Guide, Pro-cedure Guide and Basic Guide Useful*. Revision 1, Vienna (1996).
- [9]. JUMPENO, B.Y.E.B, Uji Kepatuhan Peralatan Radiografi Gamma Industri Berbasis ISO 3999:2004, Buletin ALARA Vol.. 10 No.3, ISSN 1410-4652, Jakarta (2009).
- [10]. JUMPENO, B.Y.E.B, WAHYUDI, dan WIJONO, M, Pengujian Peralatan Radiografi Gamma Industri Dalam Rangka Memenuhi Persyaratan Keselamatan, Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir, 2009, ISSN 1412-3258, Jakarta (2009).