

PERANCANGAN RUANG PENGUJIAN KEBOCORAN PESAWAT SINAR X RIGAKU 250 KV DI STTN BATAN YOGYAKARTA

TOTO TRIKASJONO, DJOKO MARJANTO, AGUNG NUGROHO

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN) - BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 1008

Sleman 55010, DI Yogyakarta Telp (0274) 489716

Abstrak

PERANCANGAN RUANG PENGUJIAN KEBOCORAN PESAWAT SINAR X 250 KV DI STTN BATAN YOGYAKARTA. Salah satu sumber radiasi adalah pesawat sinar X, yang pemanfaatannya harus memperhatikan aspek keselamatan. Desain ruangan merupakan langkah awal yang harus dilakukan sebelum dioperasikannya pesawat sinar X. STTN BATAN mempunyai pesawat sinar X 250 KV model No RF-250 EG-S3 dengan spesifikasi 250 kV-5 mA, yang perlu dilakukan pengujian kebocoran pesawat sinar X, minimal 1 kali dalam setahun. Tujuan dari perancangan ini adalah merancang tata ruang pengujian pesawat sinar X yang sesuai dengan kondisi dan lokasi di STTN dengan menghitung dan menentukan tebal dinding sekunder instalasi pesawat sinar X 250 KV, serta merancang batasan keselamatan. Berdasarkan rancangan ini didapatkan data ruang pengujian kebocoran pesawat sinar X 250 Kva dengan penahan beton didapatkan dinding menghadap ruang operator sebesar 23,12 cm, laju dosis 0.02127 mR/jam, dinding menghadap tempat parkir sebesar 25,66 cm, laju dosis 0.01134 mR/jam, dinding menghadap ruang limbah sebesar 23,12 cm, laju dosis 0.02127 mR/jam dan dinding menghadap rumah penduduk 30,74 cm, laju dosis 0.00323 MR/jam. Hasil rancangan ini telah memenuhi persyaratan keselamatan, karena untuk masyarakat umum yang diperbolehkan di bawah 0.25 mR/jm dan juga memperhatikan aspek ergonomis, yang terletak di sebelah barat ruang radiografi STTN BATAN, dengan ukuran 5 meter x 4 meter dan tinggi 4 meter.

Kata Kunci : perancangan ruang, pengujian kebocoran, pesawat sinar X

Abstract

ROOM DESIGN 250 KV X RAY GENERATOR LEAKAGE TEST IN POLYTECHNIC OF NUCLEAR TECHNOLOGY YOGYAKARTA. Such a kind of radiation source is x ray generator which the using of x ray should care about radiation protection aspect. The x ray generator by factory has been completed with radiation shielding with also function as tube house. But the possibility of radiation leakage need to be consider. Room design is first step which should be done before the operation of x ray generator. Polytechnic Of Nuclear Technology has 250 kV x ray generator type No RF-250 EG-S3 with the specification of 250 kV-5mA, need to be applying leakage test of x ray generator at least once a year. In fact it shows that x ray generator leakage test apparatus with stepper motor which is owned by Polytechnic Of Nuclear Technology couldn't be operated optimally yet. Therefore needed a room of 250 kV x ray generator leakage test. Result of room device test leakage of plane of X-ray 250 kV with concrete materials got to face operator room equal to 23,12 cm, 0.02127 mR/hour, facing place park equal to 25,66 cm, dose 0.01134 mR/hour, facing waste room equal to 23,12 cm, 0.02127 mR/hour and face resident house equal to 30,74 cm, 0.00323 mR/hour. Pursuant to this device is got room data examination of leakage of plane of X-ray 250 KV fulfilling conditions of safety of radiation because for society public under 0.25 mR/hour by paying attention aspect of ergonomis, which located in westside radiography room of STTN BATAN, of the size 5 m x 4 m and high 4m.

Keywords : room design, leakage test, x-ray generator.

PENDAHULUAN

Penggunaan sumber radiasi dalam berbagai jenis dan kegiatan, seperti bidang industri, bidang kedokteran, penelitian dan pelatihan telah meningkat dengan pesat. Pengabaian prosedur keselamatan pengendalian sumber radiasi dapat menyebabkan terjadinya pemaparan radiasi yang tidak direncanakan dapat berakibat sangat fatal.

Salah satu sumber radiasi adalah pesawat sinar X. Pesawat sinar X banyak digunakan di bidang kesehatan untuk keperluan diagnostik dan terapi; dan di bidang industri, antara lain untuk radiografi. Sinar X memiliki potensi bahaya radiasi, maka pemanfaatannya harus memperhatikan aspek proteksi radiasi. Selain itu, pesawat sinar X juga harus dalam kondisi yang baik dan dirawat sesuai dengan program jaminan kualitas.

Pesawat sinar X oleh pabrik sudah dilengkapi dengan penahan radiasi yang sekaligus berfungsi sebagai rumah tabung. Meskipun demikian, kemungkinan kebocoran radiasi tetap perlu diperhitungkan. Dalam keadaan penutup radiasi tunggal terpasang, kebocoran dapat terjadi melewati celah penutup tabung sinar X atau celah yang terjadi oleh perubahan bentuk penutup (*Rigaku Corporation, 2002*).

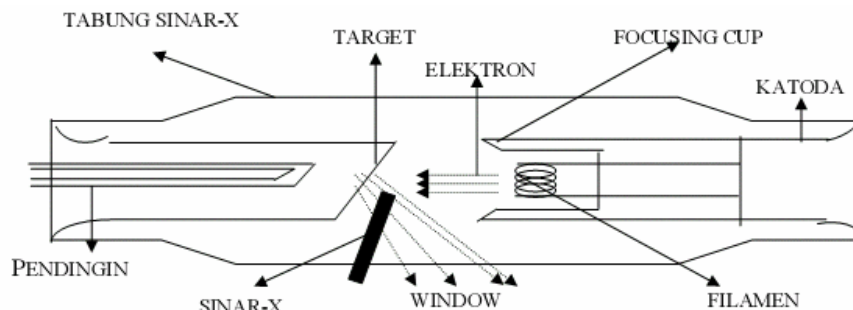
Dari hal tersebut di atas, desain ruangan instalasi yang memenuhi standar keselamatan merupakan langkah awal yang harus dipenuhi, sebelum dioperasikannya suatu pesawat sinar X. Tujuan desain ruangan instalasi adalah untuk menjamin bahwa pekerja atau masyarakat umum yang berada di sekitar instalasi

menerima paparan radiasi yang lebih kecil dari nilai batas dosis (NBD) yang berlaku.

STTN BATAN mempunyai pesawat sinar X 250 KV model No RF-250 EG-S3 dengan spesifikasi 250kV-5mA, yang digunakan dalam industri atau radiografi yang secara perundangan dilakukan pengujian kebocoran pesawat sinar X, minimal 1 kali dalam setahun. STTN BATAN sudah mempunyai alat uji kebocoran pesawat sinar X dengan penggerak motor stepper yang belum dapat dioperasikan karena ruang pengujian yang belum tersedia. Selama ini, pengujian kebocoran pesawat sinar X dilakukan di sebuah ruang radiografi yang tidak dirancang untuk pengujian kebocoran pesawat sinar X. Untuk itu, STTN BATAN perluk suatu ruang uji kebocoran pesawat sinar X dengan tegangan kerja 250 KV yang memenuhi persyaratan keselamatan radiasi dengan memperhatikan aspek ergonomis.

DASAR TEORI

Sinar X dihasilkan oleh suatu generator sinar X yang disebut tabung sinar X. Tabung sinar X adalah suatu alat untuk menghasilkan elektron bebas, mempercepat dan akhirnya menabrakkan pada suatu target. Pada proses perlambatan elektron berkecepatan tinggi oleh medan inti atom target akan menghasilkan sinar X kontinu dan sinar X karakteristik sesuai dengan target yang digunakan. Pada produksi sinar X diperlukan tiga syarat dasar yaitu sumber elektron, catu daya tegangan tinggi dan target. Pada Gambar 1. diperlihatkan model sebuah tabung sinar X dan bagian-bagiannya. (Bushong, 1997)



Gambar 1. Skema Tabung Sinar-X

Pada peristiwa tumbukan elektron dengan target, terjadi dua interaksi yang menghasilkan dua tipe sinar X yaitu :

- Sinar X yang dihasilkan akibat perlambatan berkas elektron cepat dalam medan magnet atom anoda yang disebut sinar X kontinu

atau sinar X *bremstrahlung* yang mempunyai spektrum kontinu. Sinar X kontinu pada umumnya digunakan untuk radiografi industri.

- b. Sinar X yang dihasilkan akibat transisi elektron dari orbit tinggi ke orbit rendah dari atom anoda. Transisi elektron ini terjadi adanya kekosongan elektron setelah ditumbuk oleh elektron berkecepatan tinggi. Sinar ini disebut dengan sinar X karakteristik. Sinar X jenis ini banyak digunakan pada pengujian analisa bahan.

INSTALASI PESAWAT SINAR X

Penahan radiasi pesawat sinar X dikategorikan menjadi 2 (dua) yaitu penahan radiasi terhadap sumber (rumah tabung) dan penahan radiasi yang berupa bangunan (dinding ruang pesawat sinar X). Penahan radiasi terhadap sumber dirancang dan dibuat oleh pabrik pembuat tabung yang biasanya terbuat dari bahan paduan baja dan timbal. Bahan ini berfungsi sebagai rumah atau wadah tabung sinar X dan harus memenuhi standar uji kebocoran yang ditentukan oleh BAPETEN. Penahan radiasi yang berupa bangunan dinding ruang pesawat sinar X ditentukan oleh pengguna dengan memperhatikan ketentuan yang ada. Ketentuan yang harus dipenuhi untuk merancang konstruksi rumah tabung pesawat sinar X untuk medis dan nonmedis (radiografi industri) berdasarkan NCRP (*National Committee on Radiation Protection*) sebagai berikut :

- a. Tipe Diagnostik
Penahan radiasi sumber untuk tabung diagnostik dibuat untuk mengurangi laju penyinaran pada jarak 1 meter dari fokus tidak melebihi dari 100 mR/jam apabila dioperasikan pada arus dan tegangan maksimum.
- b. Tipe Terapi
Penahan radiasi sumber untuk tabung terapi dibuat untuk mengurangi laju penyinaran pada jarak 1 meter dari fokus tidak melebihi dari 1000 mR/jam dan tidak lebih dari 30.000 mR/jam pada jarak 5 cm dari permukaan tabung apabila tabung tersebut dioperasikan pada arus dan tegangan maksimum
- c. Non Medis (Radiografi Industri)

Untuk pesawat sinar X industri, penahan radiasi sumber dibuat untuk mengurangi laju dosis bocor pada jarak 1 meter tidak melebihi 1000 mR/jam apabila tabung dioperasikan pada kondisi arus dan tegangan maksimum. Penahan radiasi berupa bangunan dirancang untuk memberikan perlindungan terhadap berkas sinar guna, berkas radiasi bocor dan berkas radiasi hambur (Yoedotmojo dkk, 1999).

KESELAMATAN DAN PEMELIHARAAN PESAWAT SINAR X

Secara umum mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomer 63 tahun 2000 tentang penerapan proteksi radiasi di Instalasi yang mengoperasikan alat/ sumber radiasi, maka pemegang izin mengoperasikan alat/suber radiasi tersebut harus membuat catatan/ dokumen sebagai berikut :

1. Hasil pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi, sebelum bekerja (*pre-employment*), selama masa bekerja (*during employment*) dan sesudah bekerja (*post-employment*) sebagai pekerja radiasi.
2. Dosis radiasi personil tiap pekerja radiasi dari hasil monitoring alat
3. Pelatihan berjenjang/pembekalan khusus sebagai pekerja radiasi yang berfungsi sebagai pengawas proteksi radiasi (PPR).
4. Laju dosis di daerah kerja, yang dapat digunakan sebagai petunjuk awal jika telah terjadi keadaan tidak normal.

Di daerah kerja radiasi harus ada prosedur tertulis untuk kondisi operasi normal dan kondisi bila sedang terjadi kecelakaan. Instalasi nuklir yang dapat dikategorikan sebagai *Fasilitas Radiasi yang mempunyai potensi paparan radiasi*, selain seperti hal di atas, maka minimal harus dapat dilakukan hal sebagai berikut :

1. Memasang stiker bahaya radiasi pada alat atau di dekat alat, mencantumkan nama dan aktivitasnya.
2. Memiliki catatan inventaris dan lokasi semua sumber radiasi yang tercantum dalam izin pemakaian.
3. Mempunyai catatan test hasil pengukuran dan kebocoran pada alat :
 - a. Tes kebocoran dilakukan pada sumber dengan aktifitas >50 MBq

- b. Nilai batas ada tidaknya kebocoran adalah 0,2 kBq
- c. Alat harus dioperasikan sesuai prosedur oleh orang yang telah memperoleh pelatihan khusus.

Standar pengoperasian instalasi pesawat sinar X juga dilihat dari aspek prospektif fungsional, yaitu dikaitkan dengan mempertimbangkan K3 Radiasi untuk pekerja/operator, masyarakat dan lingkungannya. Untuk mendapatkan tingkat keselamatan radiasi yang optimal, maka penanggung jawab instalasi atau manajemen peralatan harus : 1) Mendapatkan izin dari badan yang berwenang, yaitu Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten). 2). Memiliki sertifikat hasil pengujian *Acceptance Test* yang dihasilkan pabrikan alat untuk menjamin bahwa alat ukur radiasi masih dalam batas spesifikasi yang telah ditetapkan. 3). Memiliki catatan tentang kondisi peralatan untuk menjamin keselamatan pemakaian. 4). Merawat dan melakukan pengujian/kalibrasi secara berkala untuk memastikan alat masih sesuai dengan spesifikasinya. (Isaris, 2006).

Upaya keselamatan radiasi untuk membatasi penyinaran yang berhubungan dengan pemantauan pada pekerja radiasi di daerah radiasi dapat dilakukan melalui 3 (tiga) cara yaitu pembagian daerah kerja, klasifikasi pekerja radiasi dan pengujian perlengkapan proteksi radiasi serta alat ukur radiasi. Menurut SK Kepala Bapeten No.01/Ka Bapeten/V/99 tentang ketentuan keselamatan dan kesehatan kerja terhadap radiasi, seorang pengusaha instalasi atom harus melaksanakan pembagian daerah kerja yang dinyatakan dengan pemasangan tanda-tanda yang jelas. Pembagian daerah kerja tersebut didasarkan atas kemungkinan besarnya dosis radiasi yang boleh diterima oleh pekerja radiasi yang bekerja di daerah radiasi selama waktu satu tahun. (Bushong, 1993). Pembagian daerah kerja berdasarkan ketentuan dibagi menjadi dua bagian yaitu :

KETENTUAN PERHITUNGAN KETEBALAN DINDING PENAHAN STRUKTURAL.

Untuk menghitung ketebalan dinding penahan struktural dari ruangan (dinding dan

pintu), faktor-faktor yang mempengaruhi harus diketahui terlebih dahulu. Faktor-faktor tersebut meliputi :

- a. Kemampuan tabung, yaitu tegangan dan arus operasi maksimum.

Ketebalan dinding ruangan diperhitungkan agar dapat menahan radiasi dengan energi yang paling kuat (yaitu pada tegangan operasi maksimum) dan intensitas yang paling besar (yaitu pada arus operasi maksimum).

- b. Jarak sumber radiasi terhadap titik pengamatan.

Radiasi bocor yang keluar dari tabung pesawat sinar X merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam desain penahan karena intensitas paparan sangat bergantung dari jarak, untuk itu jarak pesawat sinar X dari dinding harus diketahui agar dapat dilakukan perhitungan ketebalan dinding penahan.

- c. Jarak sumber radiasi terhadap bidang penghambur.

Apabila radiasi mengenai suatu materi, maka besarnya radiasi yang dihamburkan tergantung dari jarak sumber ke bidang penghambur.

- d. Daerah terkontrol atau daerah tidak terkontrol

Daerah terkontrol adalah daerah yang penghuninya hanya personil yang pekerjaannya terkena radiasi, sedangkan daerah tidak terkontrol adalah daerah yang penghuninya bisa siapa saja. Klasifikasi daerah ini menentukan laju paparan radiasi desain mingguan (weekly design exposure rate, P), dimana

- 1. 0,1 R/minggu untuk daerah pengawasan (R=100 mR/minggu)
- 2. 0,01 R/minggu untuk daerah bukan pengawasan (R=10 mR/minggu)

- e. Faktor guna (use factor, U)

Faktor guna adalah merupakan faktor yang ditentukan oleh prosentase suatu dinding terkena berkas radiasi selama pemanfaatan pesawat sinar X.

Besarnya nilai U adalah

- 1. $U = 1$ apabila dalam perencanaan pemanfaatannya pesawat sinar X diarahkan terus menerus ke suatu dinding (tidak berubah arah berkas utamanya)

2. $U = \frac{1}{4}$ apabila arahnya direncanakan berubah secara periodik untuk semua dinding atau tidak ada informasi mengenai arah.
3. Apabila tidak ada informasi, maka faktor guna untuk dinding nilainya $\frac{1}{4}$ dan untuk lantai nilainya 1.

f. Faktor penghunian (occupancy factor, T)

Faktor penghunian ditentukan oleh seberapa sering seseorang berada di balik dinding ruang pesawat sinar X. Penentuan besarnya nilai T berdasarkan informasi atau pengamatan langsung dari keberadaan orang dibalik dinding dan besarnya adalah

1. $T = 1$ jika terdapat seseorang yang terus menerus berada di balik dinding,
2. $T = \frac{1}{4}$ jika keberadaan seseorang tidak terus menerus, tetapi relatif sering,
3. $T = 1/16$ jika keberadaan seseorang hanya sesekali berada di balik dinding,
4. Apabila diketahui bahwa yang berada di balik dinding tersebut adalah pekerja radiasi, maka nilai T dianggap 1, tidak tergantung tingkat keberadaannya.

g. Beban kerja mingguan (*weekly workload*, W)

Beban kerja menyatakan tingkat pemakaian pesawat sinar X dalam 1 minggu dan biasanya dinyatakan dalam mA menit/minggu. Nilai W ditentukan berdasarkan informasi sebagai berikut

1. waktu pengoperasian pesawat sinar X dalam 1 minggu (menit/minggu)
2. arus tabung pada saat pesawat sinar X dioperasikan (mA)

Dalam perhitungan perancangan penahan, penahan dibedakan menjadi dua kategori, yaitu penahan primer dan penahan sekunder. Penahan primer memberikan perlindungan terhadap sinar guna yaitu berkas sinar yang langsung berasal dari 'focal spot', sedangkan penahan sekunder memberikan perlindungan terhadap radiasi bocor dan radiasi hambur.

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan ketebalan penahan dan harga yang diperoleh dari perhitungan tersebut menganggap bahwa hanya terdapat satu sumber radiasi yang beroperasi pada suatu waktu. Jika terdapat lebih dari satu sumber radiasi, maka

ketebalan penahan yang diperlukan harus ditambah.

Hasil perhitungan ketebalan penahan radiasi biasanya dinyatakan dalam cm beton. Walaupun begitu, bahan lain seperti dinding bata berplaster atau lembaran timbal (pb), dapat digunakan asalkan mempunyai faktor atenuasi yang sama dengan nilai atenuasi beton. Untuk mencari tebal setara suatu material dengan material yang lain maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

dengan :

$$\frac{X_a}{X_b} = \frac{HVL_a}{HVL_b} \quad (1)$$

x_a = tebal material a

x_b = tebal material b

HVL_a = tebal paro material a

HVL_b = tebal paro material b

Apabila unsur penyusun kedua material tersebut mempunyai nomor atom yang kurang lebih sama, maka selain menggunakan Persamaan (1). Juga dapat menggunakan Persamaan (2) di bawah ini,

$$\Sigma (\rho \cdot x)_a = (\rho \cdot x)_b \quad (2)$$

dengan :

ρ_a = densitas material a

ρ_b = densitas material b

x_a = tebal material a

x_b = tebal material b

Untuk tujuan perancangan ruang pengoperasian pesawat sinar X, dikategorikan dinding yang terdiri atas 2 jenis :

1. dinding primer, yaitu dinding ruang yang berhadapan langsung dengan berkas sinar guna ("useful beam").
2. dinding sekunder, yang berfungsi sebagai penahan radiasi bocor yang berasal dari rumah tabung pesawat sinar X dan radiasi hambur yang berasal dari bidang penghambur.

Dinding Penahan Radiasi Primer Atau Dinding Primer

Ketebalan dinding primer K dapat ditentukan dengan cara menghitung faktor atenuasi atau Rontgen per mili Ampere-menit selama satu minggu pada jarak satu meter, dan

mencari korelasi harga K tersebut terhadap tebal dinding sesuai tegangan pesawat sinar X yang digunakan

$$K = \frac{P \times d_{pri}^2}{W.U.T} \quad (3)$$

Keterangan

- P = Nilai batas dosis yang diizinkan selama 1 minggu berdasarkan ICRP.
1. 0,1 R/minggu untuk pekerja radiasi (controlled areas)
 2. 0,01 R/minggu untuk masyarakat umum (uncontrolled areas)
- d_{pri} = Jarak fokus ke dinding primer bagian luar (meter)
- W = Beban kerja pesawat sinar X (mA-menit/minggu)
- U = Faktor guna
- T = Faktor penghunian

Dinding Penahan Radiasi Sekunder Atau Dinding Sekunder

Dinding penahan radiasi hambur

Tebal dinding penahan radiasi hambur ditentukan dengan cara yang sama seperti pada penentuan tebal dinding primer dengan rumus K (untuk tegangan kurang dari 500 kV) sebagai berikut :

$$K = \frac{P \times (d_{sca})^2 \times (d_{sec})^2 \times 400}{a \times W \times T \times F \times f} \quad (4)$$

dengan :

- d_{sec} = Jarak fokus ke dinding sekunder bagian luar (meter)
- d_{sca} = Jarak fokus ke bidang penghambur (meter)
- a = Perbandingan intensitas radiasi terhambur terhadap intensitas radiasi yang datang pada jarak 1 meter dari bidang penghambur, harga a tergantung besarnya tegangan yang digunakan dan besarnya sudut hambur (α)
- F = Luas bidang penghambur (cm^2)

Dengan menganggap bahwa energi radiasi terhambur yang dibangkitkan oleh pesawat sinar X dengan tegangan < 500 kV sama dengan energi radiasi primer, maka tebal dinding sekunder (penahan radiasi hambur) dapat ditentukan dengan cara memberi korelasi

harga K_{ux} terhadap tebal dinding sesuai dengan tegangan yang digunakan.

Dinding penahan radiasi bocor

Tebal dinding radiasi bocor ditentukan dengan menghitung terlebih dahulu faktor transmisi atau daya serap dinding, B_{lx} menggunakan rumus :

$$K = \frac{P \times d_{sec}^2 \times 600 \times I}{W.T} \quad (5)$$

dengan :

- I = Arus tabung pesawat sinar X (mA)
- B_{lx} = $(1/2)^n$
- n = x/HVL
- x = Tebal dinding penahan radiasi bocor
- HVL = Half Value Layer (tebal paro bahan)

Tebal dinding radiasi sekunder ditentukan berdasarkan tebal dinding penahan radiasi hambur (x_h) dan tebal dinding penahan radiasi bocor (x_b) dengan mengikuti aturan sebagai berikut :

1. jika $[x_h - x_b] < 1 TVL$, maka tebal dinding sekunder diambil harga yang terbesar antara x_h dan x_b kemudian ditambahkan faktor keselamatan sebesar 1 HVL.
2. jika $[x_h - x_b] > 1 TVL$, maka tebal dinding sekunder cukup diambil dengan harga yang terbesar antara x_h dan x_b

TATA KERJA DAN PERCOBAAN

Alat dan Bahan

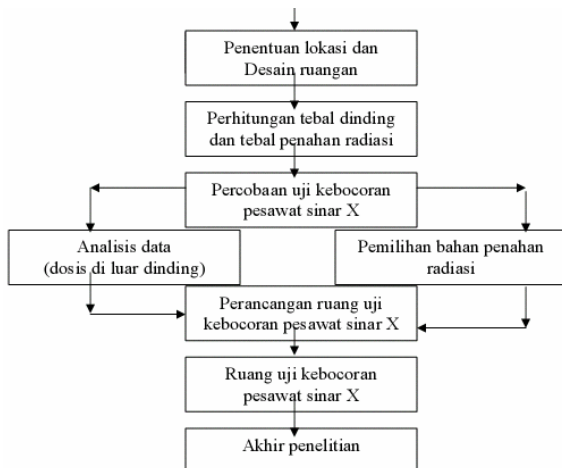
1. Tabung pesawat sinar X
2. Panel pengontrol radiasi
3. Ruangan pesawat sinar X radiasi
4. Kabel – kabel penghubung pesawat sinar X
5. Film badge dan dosimeter saku
6. Surveimeter
7. Lampu Tanda bahaya
8. Tanda-tanda
9. Meteran
10. Data lapangan

Spesifikasi Pesawat Sinar X Yang Dimiliki STTN BATAN

- A. Merk = Rigaku
- B. Model = Radioflex-250EGS3 cat. No 6028S3

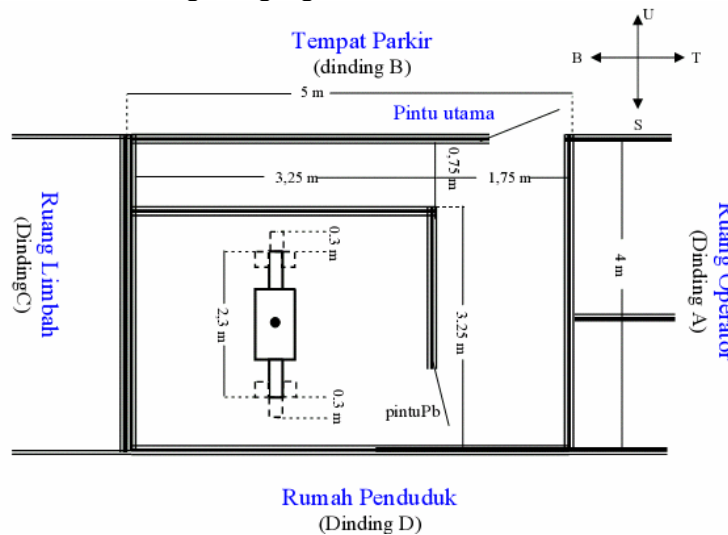
- C. Sumber tegangan = 190 ~ 240 V AC, single phase, 50/60 Hz
- D. Tegangan = 3,4 kVA with input voltage 240 VAC
- E. Jangkauan maksimal = 250 kV-5mA
- F. Ukuran fokus = 2mm x 2mm

Skema Penelitian



HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN

Pada perancangan dan perhitungan ruang uji kebocoran pesawat sinar X dengan tegangan



Gambar. 2. Rancangan Ruang Uji

Kebocoran Pesawat SinarX

Penentuan lama operasi pesawat sinar X 250 KV dengan arus 5 mA dalam satu minggu menggunakan asumsi sebagai berikut:

- A. Dalam 1 hari 8 orang mengoperasikan pesawat sinar X.

kerja 250 KV di STTN-BATAN dimaksudkan untuk memperoleh ruang uji kebocoran yang memenuhi syarat keselamatan dan kesehatan kerja terhadap radiasi.

Rancangan penahan radiasi bangunan sinar X ditentukan oleh :

1. Tegangan tabung maksimum pesawat sinar X atau energi radiasi (KV).
2. Arus tabung maksimum atau intensitas radiasi (mA).
3. Beban pesawat (W) dinyatakan dalam mA-menit/minggu.
4. Faktor manfaat (U) yang merupakan fraksi beban kerja kearah mana sinar guna ditujukan.
5. Faktor penghunian ruang (T) di sekitar ruang penyinaran, merupakan factor untuk mengkoreksi dengan mengalikan harga W.

Hasil rancangan ruang uji kebocoran seperti pada Gambar 2. Fokus pesawat sinar X pada rancangan akan dioperasikan menghadap lantai, sehingga lantai adalah dinding primer sedangkan dinding A, B, C, D, dan langit langit adalah dinding sekunder.

- B. Tiap orang 2 kali shoot.
- C. Tiap shoot 5 menit.
- D. 1 minggu 5 hari kerja.
- E. Tiap shoot arusnya 5 mA.

Sehingga diperoleh beban kerja pesawat (W)

$$W = 8 \frac{\text{orang}}{\text{hari}} \times 2 \frac{\text{shoot}}{\text{orang}} \times 5 \frac{\text{menit}}{\text{shoot}} \times 5 \frac{\text{hari}}{\text{minggu}} \times 5 \text{ mA} : 2000 \frac{\text{mA}}{\text{menit}} \frac{\text{menit}}{\text{minggu}}$$

Perhitungan Tebal Dinding Penahan

Perhitungan penahan sekunder

Pesawat sinar X yang digunakan mempunyai sudut berkas guna 20°, sehingga luas bidang penghambur adalah:

$$\begin{aligned} F : \pi \cdot r^2 &= \pi \cdot (d_{\text{sca}} \cdot \text{tg } 20^\circ)^2 \\ &= \pi \cdot (100 \cdot 0,364)^2 \\ &:= 4162,48 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Besar sudut hambur untuk pesawat sinar X adalah 90°, sehingga untuk tegangan 250 KV, diperoleh nilai a : 0,0019

Perhitungan Pada Dinding A (Menghadap Ruang Operator).

Untuk menahan radiasi hambur, dibalik dinding A adalah ruang operator, dimana pada saat pesawat sinar X dioperasikan di ruang tersebut terdapat pekerja radiasi bekerja, sehingga,

- P : 0,1 R/minggu (untuk pekerja radiasi)
- d_{sca} : 1 meter
- D_{sec} : 1,65 meteran : 0,0019 (sudut hambur pada dinding A adalah 90°)
- W : 2000 mA menit/minggu
- T : 1 (untuk daerah dengan penghuni pekerja radiasi)
- F : 4162,84 cm²
- f : 1 (untuk tegangan di bawah 500 KV)

$$K = \frac{P \times (d_{\text{sca}})^2 \times (d_{\text{sec}})^2 \times 400}{a \times W \times T \times F \times f}$$

$$K = \frac{(0,1) \times (1)^2 \times (1,65)^2 \times 400}{(0,0019) \times 2000 \times 1 \times (4162,84) \times 1}$$

$$K = 6,88 \times 10^{-3}$$

Dari grafik diperoleh tebal beton sebesar 8 inchi : 20,32 cm (beton)

Untuk menahan radiasi bocor:

$$\begin{aligned} B_{\text{lx}} &= \frac{P \times d_{\text{sec}}^2 \times 600 \times I}{W \cdot T} \\ &= \frac{0,1 \times (1,65)^2 \times 60 \times 5}{2000 \times 1} \\ &= \frac{81,675}{2000} \end{aligned}$$

$$B = \frac{1}{2} \frac{X_{\text{bt}}}{\text{HVL}}$$

$$X_{\text{bt}} = \text{HVL} \left(\frac{\log B_{\text{lx}}}{\log \frac{1}{2}} \right)$$

$$= 2,8 \left(\frac{\log 0,04083}{\log 0,5} \right) = 2,8 (4,61) = 12,91 \text{ cm}$$

Dari kedua hasil perhitungan tersebut, maka untuk menentukan ketebalan dinding penahan sekunder yang dipakai, dicari harga mutlak selisih ketebalan dinding antara radiasi bocor dan dinding radiasi hambur dan kemudian dibandingkan dengan TVL beton pada KV 250 (9,4 cm)

$$I X_h - X_b I : I 20,32 \text{ cm} - 12,91 \text{ cm} I : 7,41 \text{ cm}$$

Karena nilai ini lebih kecil dari 1 TVL, maka tebal penahan sekunder dipilih dari nilai yang terbesar ditambah 1 HVL, yaitu :

$$X_s : 20,32 \text{ cm} + 2,8 \text{ cm} : 23,12 \text{ cm beton}$$

Bila diganti lembaran timbal

$$X_s : \left[\frac{23,12 \text{ cm}}{2,8 \text{ cm}} \right] \times 0,88 \text{ mm} = 7,26 \text{ mm timbal}$$

Bila diasumsikan dinding yang ada setebal ½ bata (11 cm) dan plesteran setebal 4 cm, maka tebal dinding yang ada perlu disetarakan dengan beton dan di ketahui bahwa: Densitas plester adalah 1,54 g/cm³ dan, Densitas bata adalah 1,9 g/cm³
E (ρ . x) dinding : (ρ . x) beton
(1,54 . 4) plester + (1,9 . 11) bata : (2,35 x) beton 27,06 : 2,35 x : 11,51 cm (beton)

Karena tebal setara beton yang tersedia pada dinding A adalah 11,51 cm beton maka tebal beton yang harus ditambahkan adalah 23,12 cm – 11,51 cm : 11,61 cm. Bila dinding beton diganti dengan lembaran timbal (pb), maka tebal pb yang ditambahkan adalah:

$$X_S (\text{Pb}) : \left[\frac{11,61 \text{ cm}}{2,8 \text{ cm}} \right] \times 0,88 \text{ mm} : 3,64 \text{ mm (Pb)}$$

Dari hasil perhitungan seperti pada dinding A, maka dengan cara yang sama untuk dinding B, C dan D didapat hasil perhitungan seperti pada tabel 1 sebagai berikut :

Tabel. 1. Hasil perhitungan tebal dinding

dinding	Tebal dinding yang ada		Tebal perhitungan		Tebal penambahan	
	bata dan plester (cm)	setara beton (cm)	beton (cm)	Pb (mm)	beton (cm)	Pb (mm)
A	15	11,51	23,12	7,26	11,61	3,64
B	15	11,51	25,66	8,06	14,15	4,44
C	15	11,51	23,12	7,26	11,61	3,64
D	15	11,51	30,74	9,66	19,23	6,043

Perhitungan Laju Dosis Di Luar Dinding

Dari percobaan didapatkan laju dosis pada jarak 1 meter sebesar 6,5 mR/jam, sedangkan HVL beton = 2,8 cm

Hubungan antara μ dan HVL ditunjukkan oleh persamaan

$$HVL = 0,893 / \mu$$

dengan :

HVL = half value layer

μ = koefisien atenuasi linier

Dari persamaan di atas didapatkan besar μ beton sebesar

$$\mu = 0,693 / HVL = 0,693 / 2,8 = 0,2475 \text{ cm}^{-1}$$

untuk menghitung laju dosis diluar dinding digunakan persamaan

$$D_x = D_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (3)$$

dengan :

D_0 = Laju dosis sebelum mengenai penahan (mR/jam)

D_x = Laju dosis setelah mengenai penahan (mR/jam)

μ = Koefisien serap linier bahan pada energi tertentu (mm⁻¹)

x = Tebal bahan (mm)

Dari persamaan di atas, dapat dihitung besar laju dosis dari masing-masing dinding yaitu: dinding A, terdapat penahan beton setebal : 23,12 cm, besar laju dosis di luar dinding A adalah sebesar

$$\begin{aligned} D_x &= D_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \\ &= 6,5 \cdot e^{-0,2475 \cdot 23,12} \\ &= 6,5 \cdot e^{-5,7222} \\ &= 0,02127 \text{ mR/jam} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapatkan hasil seperti tabel 2. sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Perhitungan Laju Dosis

Dinding	Tebal penahan (cm)	Laju dosis (mR/jam)
A	23,12	0,02127
B	25,66	0,01134
C	23,12	0,02127
D	30,74	0,003226

Perhitungan Kapasitas Ruang Secara Ergonomi

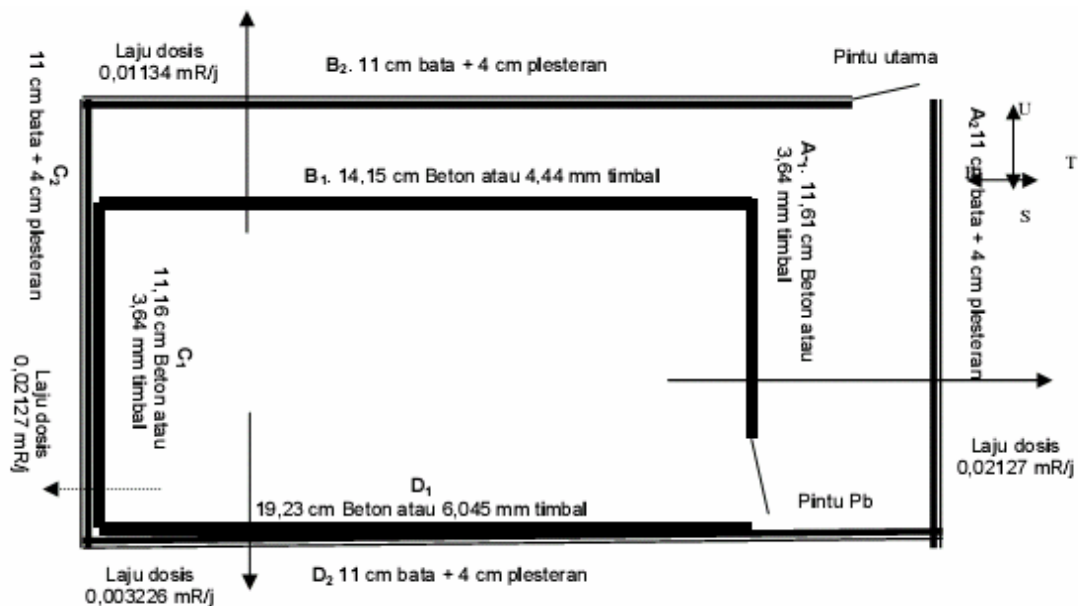
Secara ergonomi, manusia dalam bekerja memerlukan luas ruangan sebesar 2 m². Hal ini diperlukan untuk kenyamanan manusia dalam bekerja. Dari rancangan ruang uji ini, didapatkan luas ruangan sebesar 5m x 4m = 20 m², sehingga dapat diketahui bahwa rancangan ruang uji kebocoran pesawat sinar X 250 kV ini, secara ergonomi dapat digunakan oleh manusia (personil) sebanyak 20 m² / 2 m² = 10 manusia (personil)

Persyaratan tebal dinding penahan radiasi pesawat sinar X untuk keperluan ruang uji kebocoran dapat ditentukan apabila kondisi-kondisi umum dari pesawat sinar X dan kondisi ruangan di sekitarnya tersebut diketahui. Bahan penahan radiasi bangunan yang baik adalah bahan yang mampu menyerap intensitas radiasi pada ketebalan tertentu hingga mencapai tingkat radiasi yang di ijinakan. Bahan penahan radiasi tersebut biasanya mempunyai kerapatan yang tinggi, misalkan bahan beton atau timbal (Pb). Selama ini, bahan penahan radiasi bangunan lebih banyak digunakan dari beton, walaupun Pb merupakan bahan penahan radiasi yang lebih baik. Hal ini di sebabkan karena Pb bukan merupakan bahan struktur bangunan dan

apabila bahan Pb tersebut digunakan sebagai penahan radiasi maka diperlukan suatu bahan penunjang yang kuat, selain itu biaya untuk timbal lebih mahal dibandingkan dengan beton. Bahan struktur bangunan ruang uji kebocoran pesawat sinar X menggunakan dinding yang terdiri dari lapisan plesteran dan bata. Untuk menyesuaikan dinding tersebut dengan hasil perhitungan menggunakan beton maka tebal lapisan plesteran dan bata harus disetarakan dengan beton, yakni dengan cara menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E(\rho \cdot x)_{\text{dinding}} : (\rho \cdot x)_{\text{beton}}$$

Dengan demikian tebal dinding yang telah ada tidak perlu diganti, tetapi hanya perlu dilakukan penambahan ketebalan sesuai dengan hasil perhitungan. Berdasarkan hasil rancangan dan perhitungan ruang uji kebocoran pesawat sinar X dengan tegangan kerja 250 KV di STTN-BATAN dapat dilihat seperti pada Gambar 3 sebagai berikut :



Gambar. 3 : Denah Tebal Penahan Radiasi Dan Laju Dosis

KESIMPULAN

1. Dari perancangan ini, diperoleh suatu rancangan ruang uji kebocoran pesawat sinar X 250 kV yang sesuai dengan kondisi dan lokasi di STTN BATAN yang terletak di sebelah ruang radiografi dengan ukuran 5m x 4m dan tinggi 4m.
2. Tebal dinding sekunder untuk rancangan ruang uji kebocoran pesawat sinar X 250 kV adalah sebagai berikut : dinding A (menghadap ruang operator) sebesar 23,12 cm beton atau 7,26 mm Pb dan dosis paparan 0,02127 mR/jam, dinding B (menghadap tempat parkir) sebesar 25,66 cm beton atau 8,06 mm Pb dan dosis paparnya 0,02127 mR/jam, dinding C (menghadap ruang limbah) sebesar 23,12

cm beton atau 7,26 mm Pb dan dosis paparnya 0,02127 mR/jam, dinding D (menghadap rumah penduduk) sebesar 30,74 cm beton atau 9,66 mm Pb dan dosis paparnya 0,00323 mR/jam

3. Rancangan ini telah memenuhi persyaratan keselamatan, karena untuk masyarakat umum yang diperbolehkan di bawah 0,25 mR/jm dan juga memperhatikan aspek ergonomis, yang terletak di sebelah barat ruang radiografi STTN BATAN, dengan ukuran 5 meter x 4 meter dan tinggi 4 meter.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM, 2007, "Desain Penahan Ruang Sinar X", Pelatihan Petugas Proteksi Radiasi, Pusat Pendidikan dan Pelatihan, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.

2. ANONIM, 2003, "Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi Di Fasilitas Radiodiagnostik, Pendidikan dan Pelatihan Petugas Proteksi Radiasi Bidang Radiodiagnostik", Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta
3. BUSHONG C STEWART, 1993, "Radiologic Science for Technologists", Departement of Radiology Baylor College of Medicine Honston Texas, USA.
4. BAPETEN, 2003, "Himpunan Peraturan Perundang-undangan Ketenaganukliran", Penerbit Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta
5. BATAN, 1997, "Diktat Proteksi radiasi, Pendidikan dan Pelatihan Proteksi Radiasi", Pusat Pendidikan dan Pelatihan, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta
6. CEMBER HERMAN., 1992, "Introduction to Health Physics", Second Edition, Revised and Enlarged, Mc Graw-Hill, Inc., New York, USA
7. HANURAJIE BASKAN, 2006, "Manfaat Radiografi dalam Industri ditinjau dari aspek Keselamatan, Workshop Radiografi", Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta.
8. ISARIS RILL, 2006, "Standar Manajemen Pelayanan, Pemilihan Peralatan, Perancangan Fasilitas dan Perekrutan Staf untuk Instalasi Radiologi", Pelatihan Standar Pelayanan Minimal Instalasi Radiologi Rumah Sakit, Yogyakarta.
9. KNOLL GF, 1979, *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley dan Sons Inc, New York, USA.
10. JOEDOATMODJO SOEKOTJO DKK, 2004, Diktat Teknik Radiografi Tingkat II, Pusat Pendidikan dan Pelatihan, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.

3. Apakah rancangan ini bila diaplikasikan bisa menjamin keselamatan para pekerja dan masyarakat? (Supriyono)

Jawaban

1. Kriteria yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - a. ergonomic : sirkulasi udara dan tingkat penerangan.
 - b. Hunian: untuk pendidikan dan untuk lalu lintas masyarakat hunian (mahasiswa)
 - c. tempat radiasi di STTN terletak dalam suatu lokasi (di luar gedung)
2. perhitungan dalam rancangan di dasarkan pada beton dengan densitas 2,35 g/ml seperti persyaratan dalam literature untuk density yang lain atau jenis dinding yang lain dapat dikonversikan.
3. Ya! Dinding rancangan di dasarkan pada nilai batas dosis untuk masyarakat awam yaitu sebesar 0,25 mR/jam. Sehingga bila instalasi ruangan dengan spesifikasi bahan bangunan yang di persyaratkan pasti aman untuk masyarakat maupun pekerja radiasi.

TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Kriteria apa yang digunakan dalam menentukan lokasi rancangan ruang uji sinar x? (Jumari)
2. Apakah bahan dari dinding yang dipakai? (Adhi Prihastomo)

