

APLIKASI RADIASI SINAR-X DI BIDANG KEDOKTERAN UNTUK MENUNJANG KESEHATAN MASYARAKAT

FERRY SUYATNO

*Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir-BATAN
Kawasan Puspitek Serpong, Tangerang 15310, Banten
Telp. 021.7560896, Faks 7560921*

Abstrak

APLIKASI RADIASI SINAR-X DI BIDANG KEDOKTERAN UNTUK MENUNJANG KESEHATAN MASYARAKAT. Radiasi sinar-X merupakan suatu gelombang elektromagnetik dengan gelombang pendek. Gelombang elektromagnetik banyak jenisnya antara lain sinar lampu, ultra violet, infra merah, gelombang radio, dan TV. Sinar-X mempunyai daya tembus yang cukup tinggi terhadap bahan yang dilaluinya. Dengan demikian sinar-X dapat dimanfaatkan sebagai alat diagnosis dan terapi di bidang kedokteran nuklir. Perangkat sinar-X untuk diagnosis disebut dengan photo Rontgen sedangkan yang untuk terapi disebut Linac (Linier Accelerator). Dengan perkembangan teknologi dewasa ini maka photo Rontgen dapat di tingkatkan fungsinya lebih luas yaitu melalui alat baru yang disebut dengan CT. Scan (Computed Tomography Scan). Adanya peralatan-peralatan yang menggunakan sinar-X maka akan membantu dalam mendiagnosis dan pengobatan (terapi) suatu penyakit, sehingga dapat meningkatkan kesehatan masyarakat. Untuk di tingkat daerah peralatan yang menggunakan sinar-X masih terbatas hanya pada pesawat Rontgen. Karena pesawat radioterapi membutuhkan catu daya listrik yang cukup besar, pada hal sumber listrik di daerah relatif masih rendah. Oleh sebab itu pembahasan disini lebih dititik beratkan pada penggunaan sinar-X untuk pesawat Rontgen.

Kata kunci : sinar-X, Photo Rontgen, CT-scan, Linac.

Abstract

APPLICATION OF X-RAY RADIATION IN MEDICINE TO SUPPORT PUBLIC HEALTH. The X-ray is a short wave electromagnetic radiation. There are many types of electromagnetic radiation, such as visible light, ultraviolet radiation, infrared radiation, radio waves, TV waves, and many others. The X-ray possesses a high penetrating power toward materials. Consequently, it could be used as a diagnostic and therapy tool in nuclear medicine. Two of the X-ray based equipments are the Roentgen camera, which is used for diagnostics, and the linear accelerator (Linac), which is used for therapy. Recent technological developments allow Roentgen cameras to be enhanced with new functions, resulting in a new tool namely the CT (Computed Tomography) Scanner. The presence of X-ray using equipments helps both the diagnosis and therapy of various diseases, thus enhancing public health. In less developed locales, the X-ray based on equipment used is still limited at Roentgen camera, since radiotherapy equipments require much electricity, whose supply is still limited. Therefore, this article emphasizes the use of X-ray in the Roentgen camera.

Keywords: X-ray, Roentgen Camera, CT Scan, Linac

PENDAHULUAN

Sinar-X ditemukan oleh Wilhelm Conrad Rontgen seorang berkebangsaan Jerman pada tahun 1895^[5]. Penemuanya diilhami dari hasil

percobaan-percobaan sebelumnya antara lain dari J.J Thomson mengenai tabung katoda dan Heinrich Hertz tentang foto listrik. Kedua percobaan tersebut mengamati gerak elektron

yang keluar dari katoda menuju ke anoda yang berada dalam tabung kaca yang hampa udara^[2].

Pembangkit sinar-X berupa tabung hampa udara yang di dalamnya terdapat filamen yang juga sebagai katoda dan terdapat komponen anoda. Jika filamen dipanaskan maka akan keluar elektron dan apabila antara katoda dan anoda diberi beda potensial yang tinggi, elektron akan dipercepat menuju ke anoda. Dengan percepatan elektron tersebut maka akan terjadi tumbukan tak kenyal sempurna antara elektron dengan anoda, akibatnya terjadi pancaran radiasi sinar-X^[4].

Pemanfaatan sinar-X di bidang kedokteran nuklir merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kesehatan masyarakat. Aplikasi ini telah cukup beragam mulai dari radiasi untuk diagnostic, pemeriksaan sinar-X gigi dan penggunaan radiasi sinar-X untuk terapi. Radioterapi adalah suatu pengobatan yang menggunakan sinar pengion yang banyak dipakai untuk menangani penyakit kanker. Alat diagnosis yang banyak digunakan di daerah adalah pesawat sinar-X (photo Rontgen) yang berfungsi untuk photo thorax, tulang tangan, kaki dan organ tubuh yang lainnya. Alat terapi banyak terdapat di rumah sakit-rumah sakit perkotaan karena membutuhkan daya listrik yang cukup besar. Di negara maju, fasilitas kesehatan yang menggunakan radiasi sinar-X telah sangat umum dan sering digunakan.

Radiasi di bidang kedokteran membawa manfaat yang cukup nyata bagi yang menggunakannya. Dengan radiasi suatu penyakit atau kelainan organ tubuh dapat lebih awal dan lebih teliti dideteksi, sementara terapi dengan radiasi dapat lebih memperpanjang usia penderita kanker atau tumor^[3].

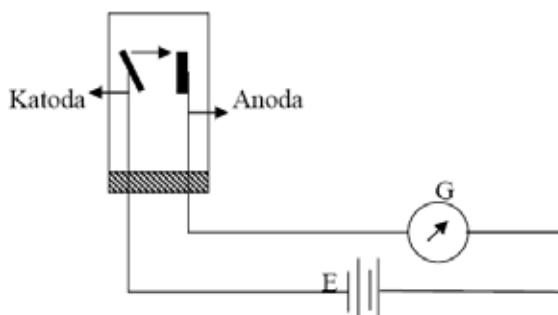
DASAR PERCOBAAN SINAR-X

Peristiwa terjadinya sinar-X diawali dari percobaan Heinrich Hertz pada tahun 1887 dengan menggunakan tabung hampa yang berisi katoda dan anoda. Katoda dan anoda dihubungkan dengan sumber listrik E. Pada tegangan, E, yang rendah tidak ada arus elektron dari katoda ke anoda yang dapat dilihat dari galvanometer. Pada saat katoda disinari

gelombang pendek elektromagnetik ternyata dari katoda keluar elektron menuju anoda yang diamati dari galvanometer. Arus

yang terbaca di Galvanometer adalah arus yang sangat kecil dalam order mikro ampere. Peristiwa di atas disebut dengan efek foto listrik. Kecuali disinari dengan gelombang pendek elektron dapat keluar dari katoda dengan cara dipanaskan sehingga terjadi emisi termis. Jadi dengan cara dipanaskan atau diberi gelombang pendek elektromagnetik katoda dapat memancarkan elektron lebih banyak^[2].

Makin pendek gelombang elektromagnetik yang menumbuk katoda, maka makin besar arus yang mengalir dan sebaliknya makin panjang gelombangnya, makin kecil arus yang terbaca di galvanometer. Hal demikian dapat dipahami karena bila gelombang elektromagnetik panjang gelombangnya makin pendek berarti frekuensinya makin besar dan energinya juga makin besar^[2]. Gambar 1. menunjukkan alat foto listrik.



Gambar 1. Alat Foto Listrik^[2]

Karakteristik gelombang elektromagnetik ditentukan oleh panjang gelombang, frekuensi, dan kecepatan. Kecepatan rambat gelombang elektromagnetik di udara untuk semua panjang gelombang adalah sama yaitu sama dengan kecepatan dalam ruang hampa $c = 3 \cdot 10^{10}$ cm/det.

$$C = v \times \lambda \quad (1)$$

dengan :

- c : Kecepatan rambat dalam hampa (cm/det)
- v : Frekuensi gelombang (cycle/det)
- λ : Panjang gelombang, (cm)

Pemancaran energi radiasi elektromagnetik oleh sumbernya tidak berlangsung secara kontinu melainkan secara terputus-putus (diskrit), sehingga berupa paket yang harganya tertentu yang disebut dengan kuantum/foton. Besar energi kuantum tergantung pada frekuensi gelombang.⁽²⁾

$$E = h \times v \quad (2)$$

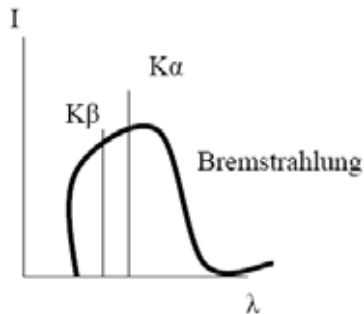
dengan :

- E : Energi foton, (eV)
h : Tetapan Max Plank, (Joule/det)
v : Frekuensi gelombang, (cycle/det)

TERJADINYA SINAR-X

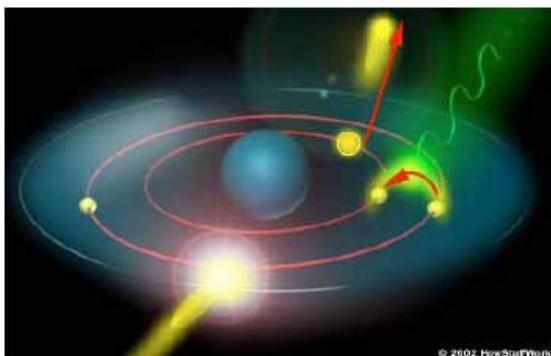
Pada peristiwa terjadinya tumbukan tak kenyal sempurna antara elektron dengan atom anoda (targed) akan terjadi dua hal sebagai berikut.

1. Terjadi radiasi yang dikenal dengan “bremsstrahlung” yaitu elektron yang mendekati atom targed (anoda) akan berinteraksi dengan atom bahan anoda, tepatnya dengan elektron luar atom tersebut. Ia mengalami perlambatan sehingga mengeluarkan radiasi. Radiasi ini memiliki aneka ragam panjang gelombang, oleh karena itu proses bremsstrahlung dapat dialami elektron berulang kali, sehingga spektrum radiasi ini bersifat kontinu^[4]. Spektrum sinar-X bremsstrahlung seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum sinar-X^[4]

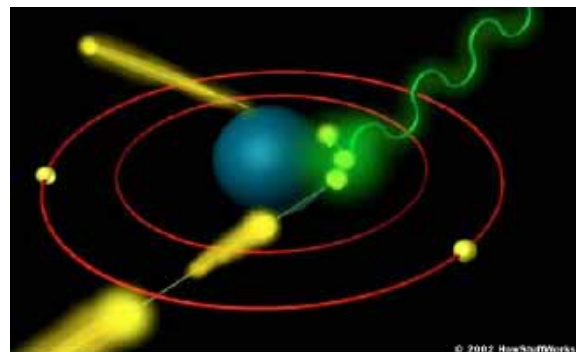
Peristiwa tumbukan antara elektron dengan atom anoda dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tumbukan Antara Elektron dengan Anoda

Elektron yang mendekati atom didalam anoda berinteraksi dengan elektron dalam atom tersebut, berupa tumbukan tak kenyal sempurna, akibatnya elektron anoda terlepas dari kulitnya. Atom tertinggal dalam keadaan bereksitasi yang dalam keadaan tidak stabil. Maka terjadilah (dalam waktu 10^{-8} detik) pengisian kekosongan itu oleh elektron-elektron yang lebih luar.

Perpindahan kulit yang luar ke kulit yang dalam disertai pancaran radiasi dengan panjang gelombang tertentu, maka radiasi ini **bersifat diskrit**^[4]. Interaksi elektron dengan atom anoda dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Interaksi Elektron dengan Atom Anoda

BERKAS SINAR-X DAN PEMBENTUKAN CITRA

Berkas sinar-X dalam penyebarannya dari sumber melalui suatu garis yang menyebar ke segala arah kecuali dihentikan oleh bahan penyerap sinar-X^[1]. Oleh karena itu, tabung sinar-X ditutup dalam suatu rumah tabung logam yang mampu menghentikan sebagian besar radiasi sinar-X, hanya sinar-X yang berguna dibiarkan keluar dari tabung melalui sebuah jendela/window. Sinar-X adalah foton-foton yang mempunyai energi tinggi, karena elektron memancarkan energi maka energi kinetik elektron akan berkurang dan akhirnya akan kehilangan seluruh energi kinetiknya. Energi foton maksimum atau panjang gelombang minimum dapat ditulis dengan persamaan (3)^[1]:

$$h f_{\max} = \frac{h c}{\lambda_{\min}} \quad (3)$$

Jadi dalam proses ini akan terjadi spectrum kontinu, spectrum tersebut mempunyai frekuensi *cut off* (batasan) atau

panjang gelombang *cut off* yang tergantung pada potensial percepatan. Elektron-elektron yang ditembakkan akan mengeksitasi elektron dalam atom target^[1]. Jika elektron yang ditembakkan cukup besar energinya maka akan mampu melepaskan elektron target dari kulitnya. Kemudian kekosongan kulit yang ditinggalkan elektron akan diisi oleh elektron yang lebih luar dengan memancarkan radiasi. Transisi ini akan menyebabkan sederet baris (garis-garis) spectrum yang dalam notasi sinar-X disebut garis-garis $K\alpha$, $K\beta$, $K\gamma$ dan seterusnya^[2].

Pada sistem pencitraan sinar-X diperlukan tegangan tinggi, dengan tujuan agar dapat dihasilkan berkas sinar-X. Untuk itu rangkaian listriknya dirancang sedemikian rupa sehingga tegangan tingginya dapat diatur dengan rentang yang besar yaitu antara 30 kV sampai 100 kV. Jika kVnya rendah maka sinar-X memiliki gelombang yang panjang sehingga akan mudah diserap oleh atom dari target (anoda), kemudian disebut sebagai soft x-ray^[1]. Radiasi yang dihasilkan dengan pengaturan tegangan yang cukup tinggi maka akan dihasilkan sinar-X dengan daya tembus yang besar dan panjang gelombang yang pendek^[1].

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik yang dapat menembus suatu bahan, tetapi hanya sinar-X yang mempunyai energi yang tinggi yang dapat menembus bahan yang dilaluinya, selain itu akan diserap oleh bahan tersebut. Sinar-X yang mampu menembus bahan itulah yang akan membentuk gambar atau bayangan^[1].

FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH PADA CITRA^[1]

Pengaruh Arus (mA)

Arus akan berpengaruh pada intensitas sinar-X atau derajat terang/*brighnees*. Dengan peningkatan mA akan menambah intensitas sinar-X dan sebaliknya. Oleh sebab itu derajat terang dapat diatur dengan mengubah mA.

1. Pengaruh jarak dan waktu pencitraan (*exposure*)

Di samping arus (mA) jarak dan waktu pencitraan juga berpengaruh pada intensitas. Waktu *exposure* yang lama juga akan meningkatkan intensitas dari sinar-X. Untuk itu dalam setiap pengoperasian

pesawat sinar-X selalu dilakukan pengaturan waktu (S) dan arus (mA) atau biasa disebut dengan mAS yang bergantung pada obyek yang disinari. Jika tabung didekatkan pada obyek maka intensitas akan naik dan hasil gambar jelas dan terang. Sebaliknya jika tabung dijauhkan dari obyek maka intensitas akan menurun. Dari sini dapat disimpulkan bahwa cahaya dan sinar-X merambat dalam pancaran garis lurus yang melebar^[1]

2. Pengaruh Tegangan (kV)

Tegangan tinggi merupakan daya dorong elektron di dalam tabung dari katoda ke anoda. Supaya dapat menghasilkan sinar-X daya dorong ini harus kuat sehingga mampu menembus obyek. Dengan demikian perubahan kV sangat berpengaruh terhadap daya tembus sinar-X.

Penyerapan Sinar-X

Penyerapan sinar-X oleh suatu bahan tergantung pada tiga faktor sebagai berikut.

- Panjang gelombang sinar-X
- Susunan obyek yang terdapat pada alur berkas sinar-X
- Ketebalan dan kerapatan obyek

Jika kV rendah maka akan dihasilkan sinar-X dengan gelombang yang panjang dan sebaliknya dengan kV tinggi maka panjang gelombang sinar-X akan semakin pendek^[1].

Penyerapan sinar-X oleh suatu bahan juga tergantung pada susunan obyek yang dilaluinya, sedangkan susunan obyek tergantung pada nomor atom unsur, misalnya nomor atom aluminium lebih rendah dari nomor atom tembaga. Ternyata penyerapan sinar-X aluminium lebih rendah dari penyerapan sinar-X oleh tembaga. Timah hitam mempunyai nomor atom yang besar, maka daya serap terhadap sinar-X juga besar. Ketebalan dan kerapatan suatu unsur bahan juga berpengaruh terhadap penyerapan sinar-X. Bahan yang tebal akan lebih banyak menyerap sinar-X dibanding dengan bahan yang tipis, tentunya pada unsur yang sama.

Penyerapan sinar-X oleh tubuh manusia pada proses photo Rontgen dapat dijelaskan sebagai berikut. Tubuh manusia dibentuk oleh unsur-unsur yang sangat kompleks. Oleh sebab itu, penyerapan sinar-X oleh tubuh pada proses

Rontgen tidak sama, misalnya tulang akan lebih banyak menyerap sinar-X dibanding dengan otot atau daging. Bagian tulang yang sakit atau daging akan lebih besar menyerap sinar-X dibanding kondisi normal. Usia juga akan menjadi penyebab perbedaan penyerapan sinar-X. Tulang orang tua yang telah kekurangan kalsium, maka penyerapan sinar-X akan berkurang dibanding tulang anak muda^[1].

PESAWAT SINAR-X

Pesawat sinar-X adalah pesawat yang dipakai untuk memproduksi sinar-X. Untuk dapat menghasilkan suatu pencitraan sinar-X diperlukan beberapa instrumen yang baku sebagai berikut :

1. Tabung sinar-X
Tabung sinar-X berisi filament yang juga sebagai katoda dan berisi anoda. Filamen terbuat dari tungsten, sedangkan anoda terbuat dari logam anoda (Cu, Fe atau Ni). Anoda biasanya dibuat berputar supaya permukaannya tidak lekas rusak yang disebabkan tumbukan elektron.
2. Trafo Tegangan Tinggi
Trafo tegangan tinggi berfungsi pelipat tegangan rendah dari sumber menjadi tegangan tinggi antara 30 kV sampai 100 kV. Pada trafo tegangan tinggi diberi minyak sebagai media pendingin. Trafo tegangan tinggi berfungsi untuk mempercepat elektron di dalam tabung.

3. Instrumentasi kontrol
Sistem kontrol berfungsi sebagai pengatur parameter pada pengoperasian pesawat sinar-X.
Instrumentasi kontrol terbagi menjadi 5 modul yaitu :
 - a. modul *Power supply* (Catu daya DC)
 - b. modul pengatur tegangan (kV)
 - c. modul pengatur arus (mA)
 - d. modul pengatur waktu pencitraan (S)
 - e. modul Kendali sistem
 - f. catu daya AC dari sumber PLN.

SARANA DAN PRASARANA RADIOTERAPI

Pengobatan dengan radiasi merupakan pengobatan yang mempunyai ciri khusus. Di samping itu, metode ini membutuhkan sumber daya manusia yang mempunyai ilmu dan ketrampilan yang tinggi. Peralatan radiasi yang canggih pada umumnya belum dapat dibuat di Negara-negara berkembang, termasuk Indonesia sehingga pengadaannya membutuhkan biaya yang tinggi. Sejak tahun 1960 pesawat telecobalt baru digunakan di RS. Dr. Cipto Mangunkusumo Jakarta.

Pesawat Linear accelerator baru digunakan pada tahun 1982. Perkembangan pengadaan pesawat radioterapi berlangsung lambat seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perkembangan Pengadaan radioterapi^[3]

Tahun	50 – 59	60 – 69	70 – 79	80 - 89	90 - 99
Telecaesium	1	3	5	7	4
Telecobalt	1	2	3	12	18
Linier Accelert	-	-	-	5	8
Afterloading	-	-	-	8	13
Jumlah	2	5	8	32	43

Terlihat bahwa pada saat itu pengadaan peralatan radioterapi memang lambat ini disebabkan untuk biaya pengadaannya cukup tinggi, apalagi saat ini yang perekonomian negara sedang tidak stabil. Radioterapi merupakan salah satu dari berbagai cara pengobatan kanker yang bersifat multidisplin termasuk bedah dan kemoterapi. Di negara-negara maju, lebih dari 50 % penderita kanker memerlukan radioterapi sepanjang perjalanan

penyakitnya^[1]. Di negara-negara berkembang diperkirakan angka tersebut lebih tinggi lagi karena penderita sebagian besar berada pada stadium lanjut, sehingga pengobatan bedah tidak dapat dilakukan lagi^[2] Berdasarkan data dari berbagai pusat patologi^[3], 10 Jenis kanker terbanyak di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penyakit Kanker / Tumor terbanyak di Indonesia^[3]

No	Kode	Keterangan	Jumlah	Persentase
1.	180	Leher rahim	3676	28,7
2.	174	Payudara Perempuan	2271	17
3.	173	Kulit	1444	11
4.	147	Nasofaring	1059	8
5.	196	Kelenjar Limfe	1054	8
6.	183	Ovarium	996	7,6
7.	154	Rektum	830	6
8.	193	Tiroid	729	5,5
9.	153	Kolon	530	4
10	171	Jaringan Lunak	484	3,7

PERKEMBANGAN SDM RADIOTERAPI DAN DIAGNOSTIK

Kurangnya jumlah SDM radioterapi dan diagnostik disebabkan oleh beberapa factor antara lain karena sistem pendidikan, kesulitan peralatan, dan jasa pelayanan yang minimal. Bidang radioterapi di Indonesia masih menjadi satu dengan radiodiagnostik, sehingga dokter radioterapi juga bekerja di bidang radiodiagnostik, sehingga hal ini akan mengurangi keprofesionalan seorang dokter^[3]. Demikian juga dibidang lainnya masih banyak SDM yang kerja rangkap profesi, karena memang keterbatasan tenaga medis pada setiap bidang^[3].

PERAWATAN PERALATAN RADIASI.

Berbagai faktor yang mempengaruhi pelayanan radioterapi dan radiodiagnostik adalah jumlah pasien yang melebihi kapasitas, sarana dan prasarana, pemeliharaan, penyediaan suku cadang dan ketrampilan teknisi^[3].

1. Jumlah Pasien

Di beberapa rumah sakit misalnya di RS. Dr. Ciptomangunkusumo dan RS. Sardjito terdapat kelebihan jumlah pasien dibandingkan dengan jumlah pesawat radiasi. Hal ini akan berpengaruh terhadap kesempatan untuk melakukan pemeliharaan dan mempercepat keausan elemen mesin.

2. Sarana dan Prasarana

Pada penggunaan pesawat yang canggih diperlukan persyaratan prasarana yang baik, misalnya tersedianya aliran air yang

cukup dan aliran listrik yang cukup dan stabil. Apabila hal ini tidak dipenuhi maka akan menyebabkan kerusakan yang sering terjadi.

3. Perawatan.

Perawatan yang berkesinambungan didukung oleh penyediaan suku cadang merupakan syarat mutlak untuk kelancaran operasi pesawat radiasi. Namun hal ini sering mengalami hambatan yang disebabkan oleh alokasi dana yang terbatas.

4. Pengadaan Suku Cadang (Spare Parts)

Penggantian suku cadang untuk pesawat sinar-X lebih sering pada tabung terutama untuk buatan China 5-6 tahun. Pada pesawat Linac yang sering perlu diganti pada sumber radiasi dan bagian mekanik yaitu perputaran pesawat dan gerakan meja.

5. Jumlah dan Keahlian Teknisi.

Untuk mengadakan pemeliharaan yang baik maka sangat diperlukan tenaga teknisi yang terampil dan dalam jumlah yang memadai. Namun hal ini masih sukar dicapai, karena khususnya pada pesawat-pesawat yang canggih diperlukan keahlian yang khusus, sehingga memerlukan tambahan pendidikan dan pengalaman yang cukup.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa banyak faktor yang berpengaruh pada pemanfaatan radiasi sinar-X untuk menunjang kesehatan masyarakat antara lain.

1. Terbatasnya tenaga medis, ini sangat berpengaruh terhadap kelancaran pelayanan penggunaan pesawat radiasi.
2. Faktor perawatan merupakan kegiatan yang sangat diperlukan pada operasi pesawat radiasi.
3. Beban pelayanan perlu dipertimbangkan untuk menjaga ketahanan elemen pesawat.
4. Penyediaan suku cadang juga perlu dipersiapkan, agar pada saat terjadi kerusakan dapat cepat diatasi, sehingga tidak mengganggu pelayanan.
5. Teknisi ahli sangat diperlukan untuk menjaga tetap berlangsungnya operasi pesawat radiasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. ARIF JAUHARI, 2008, "Berkas Sinar-X dan Pembentukan gambar pada Pesawat sinar-X", Puskaradim, Jakarta.
2. BAMBANG .SW, 1986, "Fisika Atom", Karunika, Jakarta
3. CHOLID BADRI, 1998, "Aspek Pemeliharaan Sarana Radiasi", Instalasi Radioterapi RS.Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta.
4. DARMAWAN, 1987, "Fisika Zat Padat", Karunika, Jakarta
5. MUKHLIS AKHADI, 2001, "Napak Tilas 106 Tahun Perjalanan Sinar-X", PKRBN-BATAN, Jakarta.

