

PENENTUAN DAN PENGUKURAN DOSIS SERAP RADIASI SINAR X PADA PERMUKAAN PANTOM KEPALA (*SKULL PHANTOM*) MENGGUNAKAN METODE *ENTRANCE SKIN EXPOSURE (ESE)*

Kurnia Nur Widyanti, Johan A.E. Noor, Unggul Punjung Juswono
Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang, Indonesia, 65145
E-mail: bluestar_reflesia@yahoo.com

Abstrak

Entrance Skin Exposure (ESE) adalah metode pengukuran penentuan dosis serap permukaan. Pengukuran ESE menggunakan phantom terbuat dari bahan akrilik dan aluminium yang dirancang sendiri dengan susunan yang disesuaikan laporan *American Association of Physicists in Medicine 31 (AAPM 31)*. Metode ESE ini bertujuan untuk menguji sejauh mana bahan pembuat phantom yang beredar dipasaran memiliki tingkat kesamaan dengan bahan yang telah teruji pada laporan AAPM 31. Pengukuran ESE menggunakan sumber radiasi sinar X jenis Trophy Omnic N60 dan detektor radiasi Ionisation Chamber. Pengukuran radiasi dilakukan sebanyak dua kali yakni pada saat *primary radiation* dan *exit radiation*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai ESE hasil pengukuran diperoleh $43,29 \times 10^{-6}$ C/kg, terdapat selisih yang tidak begitu jauh dari phantom yang dibuat ANSI sebesar $54,44 \times 10^{-6}$ C/kg. Nilai ESE menunjukkan nilai yang dekat dengan nilai atenuasi pada teori. Sehingga dapat disimpulkan bahwa akrilik yang dijual bebas dipasaran dapat dijadikan alternatif bahan pengganti phantom yang lebih murah dan mudah diperoleh.

Abstract

Entrance skin Exposure (ESE) is a method of determining surface absorption dose in radiation protection. To measure the ESE, we used a the phantom that was made from acrylic and aluminium designed by home made with instruction of American Association of Physicists in Medicine 31 (AAPM 31). This work was aimed to study how far the home phantom comply the AAPM 31 standart. ESE measurements employed x-ray radiaton source of Trophy Omnic N60 and radiaton detector of Ionisation chamber type. Measurements of radiation were carried out, they were on primary radiation and exit radiation. The result showed that ESE value from the measurement was $43,55 \times 10^{-6}$ c/kg. There was not much different from the ANSI's phantom as $54,44 \times 10^{-6}$ c/kg. ESE's value shows an equivalence with value of the theory. Therefore, it could be concluded that ordinary acrylic could be used as alternative material for a phantom that be more efisien.

I. PENDAHULUAN

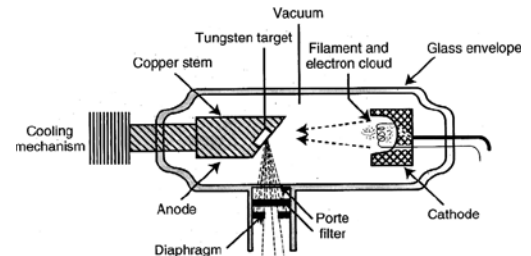
I.1 Latar Belakang

Penggunaan sinar X sebagai sarana pemeriksaan medis sangat dibutuhkan guna mendeteksi penyakit atau sebagai pengobatan. Sinar X tidak terlepas dari radiasi sehingga dampak yang ditimbulkan sangat berbahaya. Jika radiasi diberikan pada tubuh, kulit akan menerima paparan radiasi paling besar. Untuk mengetahui seberapa besar dosis radiasi di permukaan kulit perlu pengukuran khusus yang dikenal *Entrance Skin Exposure (ESE)* menggunakan phantom³.

Pembuatan phantom di dunia medis cukup mahal, padahal penyusun phantom yaitu akrilik dan aluminium yang di jual di pasaran tidak terlalu mahal. Untuk itu dibutuhkan alternatif phantom yang sifatnya hampir sama dengan tubuh manusia untuk menguji sejauh mana kelayakan bahan phantom yang dibuat dan sesuai standar Internasional (AAPM No.31) sehingga diperoleh pengganti phantom dengan harga yang murah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

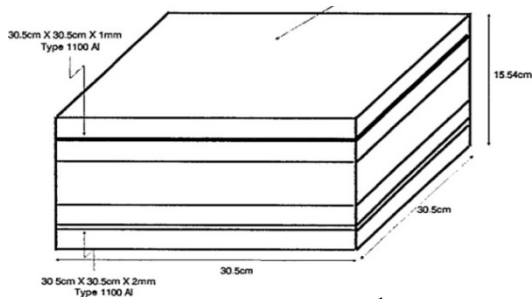
Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang membawa energi dalam bentuk paket-paket yang disebut foton⁵. Sinar X memiliki daya tembus yang sangat besar. Karena sifatnya ini, maka sinar X digunakan untuk mengukur dosis radiasi phantom. Secara skematik tabung sinar X digambar seperti pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Skema pesawat tabung sinar X².

Dalam penelitian ini akan diukur input (*primary radiation*) maupun output (*exit radiation*) sinar X. Pengukuran *primary radiation* dan *exit radiation* menggunakan detektor *Ionisasi Chamber*. Detektor *ionisasi chamber* bekerja dengan memanfaatkan hasil interaksi antara radiasi pengion dengan atom atau molekul gas. Dari detektor inilah dosis permukaan maupun dosis serap pada phantom terdeteksi.

Phantom dibuat berdasarkan panduan laporan dari *American Association of Physicists in Medicine (AAPM)* No.31 mengenai *Standardized Methods for Measuring Diagnostic X-ray Exposures* yang telah dibuat oleh asosiasi *American National Standarts Institute (ANSI)*. Rancangan phantom yang dibuat seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Rancangan Skull Phantom¹.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian dan Tahap Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Radiasi, Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Surabaya. Tahap penelitian dimulai perancangan *skull phantom*, pengujian *Primary Radiation (I)/ESE*, dilanjutkan dengan pengukuran *exit radiation*. Kemudian dianalisis dengan membandingkan data uji ESE *Skull Phantom* dengan data uji phantom buatan ANSI, kemudian menganalisis atenuasi linier dari *skull phantom*, menganalisis besarnya pengaruh pengaturan mAs pada ESE *skull phantom*, analisis tegangan, kualitas radiasi sinar X hasil penelitian dengan energi *X-ray Mass Atenuation Coeffisient* (μ/ρ) publikasi NIST dari Literatur, kemudian ditarik kesimpulan.

3.2 Pengukuran Entrance Skin Exposure (ESE) *skull phantom* dan Exit Radiation

VI. Hasil Penelitian

4.1 Hasil pengukuran ESE *primary radiation skull phantom*

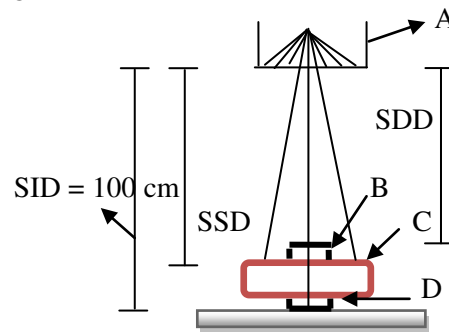
Penerimaan maksimum yang diterima tubuh adalah dosis yang berada dipermukaan tubuh atau yang biasa dikenal dengan *Entrance Skin Exposure*. Berikut hasil pengukuran ESE/ *primary radiation*.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran *primary radiation* (ESE) *skull phantom*

Tegangan (kV)	KuatArus (mAs)	Dosis Serap (Gy)	ESE	
			mR(konversi dari Gray)	10 ⁻⁶ C/kg
83	10	559,8 μ	64,34	16,60
	12	652,8 μ	75,03	19,35
	15	831,2 μ	95,54	24,64
	20	1,081 mili	124,25	32,05
	25	1,374 mili	157,93	40,74
90	10	601,4 μ	69,12	17,83
	12	694,4 μ	79,81	20,59
	15	903,7 μ	103,87	26,79
	20	1,222 mili	140,11	36,14
	25	1,469 mili	167,81	43,29

Besar ESE pada Tabel 4.1 memiliki kedekatan dengan phantom yang dibuat ANSI. ESE *skull phantom* dilihat dari tegangan paling tinggi dan kuat arus paling besar berdasarkan penelitian sebesar 43,29 x 10⁻⁶ C/kg, sedangkan ESE yang dibuat ANSI yakni sebesar 54,44 x 10⁻⁶ C/kg. Terdapat selisih yang cukup signifikan, disebabkan karena densitas pada bahan akrilik (PMMA). Akrilik yang digunakan dalam penelitian adalah akrilik yang dijual bebas dipasaran sehingga tidak diketahui struktur penyusunnya, sedangkan bahan

Sumber radiasi sinar X dan meja pasien diatur dengan jarak 100 cm sebagai SID (Source Image Distance). Standar jarak SID adalah standar minimum yang digunakan radiographer pada *skull phantom*. Susunan pengukuran *skull phantom* terlihat pada gambar berikut:



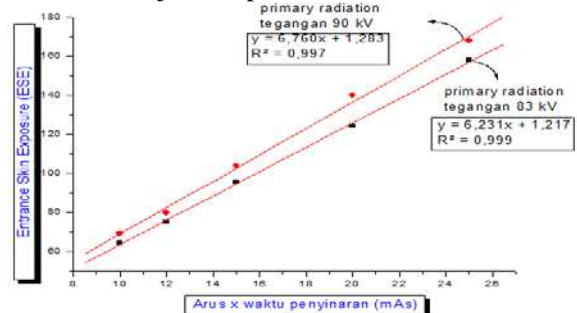
Gambar 3.2 Letak Phantom, Detektor dan Sumber Radiasi Pengukuran *Skull Phantom*. Dengan A adalah sumber radiasi sinar X, B dan D adalah detektor radiasi *Ionisation Chamber* untuk *Entrance Skin Exposure* (ESE) dan *exit radiation*, C adalah *skull phantom*.

Letak phantom tegak lurus dengan sumber radiasi. Pengukuran ESE atau *primary radiation* diatur pada tegangan 83 kV dan 90 kv dengan mAs yang berbeda-beda. Sedangkan untuk pengukuran *exit radiation* letak detektor radiasi berada dibawah phantom.

akrilik yang dibuat oleh ANSI sudah dilakukan uji standar.

4.2 Analisis nilai ESE *Skull Phantom* atau *Primary Radiation* terhadap pengaturan mAs

Penentuan kuat arus sangat mempengaruhi nilai ESE *skull phantom*. Hubungan antara ESE dan kuat arus (mAs) ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik pengaruh pengaturan mAs terhadap hasil ESE *Skull Phantom*.

Grafik 4.3 diatas menunjukkan bahwa mAs mempengaruhi nilai ESE. Nilai ESE tegangan 83 kV terukur lebih kecil dibandingkan tegangan 90 kV, akibat adanya beda potensial kecepatan muatan menarik elektron lebih rendah sehingga energi maksimum yang terbentuk juga lebih rendah. Semakin besar mAs yang digunakan, semakin besar pula kecepatan muatan elektron yang ditembakkan ke objek.

4.3 Analisis Koefisien Atenuasi Linier dari *Skull Phantom*

Koefisien atenuasi linier(μ) merupakan parameter pengukuran kuantitas radiasi sinar X saat menembus material. Untuk mencari koefisien atenuasi bahan menggunakan rumus $I = I_0 e^{-\mu x}$. Dengan memasukkan nilai *primary radiation* (I_0) dan *exit radiation* (I), serta ketebalan, maka diperoleh nilai atenuasi (μ) seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Koefisien atenuasi hasil perhitungan *Skull Phantom*

kV	mAs	Radiasi Masuk (I_0) dalam mR	Radiasi Keluar (I) dalam mR	Koefisien atenuasi linier (μ) <i>skull phantom</i> cm^{-1}
83	10	64,34	2,13	0,21
	12	75,03	2,48	0,21
	15	95,54	3,67	0,20
	20	124,2	5,14	0,20
	25	157,9	7,06	0,19
90	10	69,12	2,64	0,21
	12	79,81	3,05	0,21
	15	103,07	3,91	0,21
	20	140,4	5,37	0,21
	25	168,8	8,27	0,19

Besar koefisien atenuasi (μ) *skull phantom* menunjukkan atenuasi rerata sebesar $0,202 cm^{-1}$ untuk 83 kV dan atenuasi rerata sebesar $0,206 cm^{-1}$ untuk 90 kV. Terdapat selisih yang tidak terlalu jauh, hanya saja pada saat mAs 25 koefisien atenuasi mulai berkurang, hal ini disebabkan karena pemakaian sinar X yang terlalu lama saat pengukuran, sehingga menyebabkan daya tembus tidak hanya berkurang tetapi jg tidak stabil.

4.4 Identifikasi Tegangan, Kualitas Radiasi Sinar X Hasil Penelitian dengan Energi *Mass Attenuation Coefficient* (μ/ρ) yang dipublikasikan NIST dari Literatur.

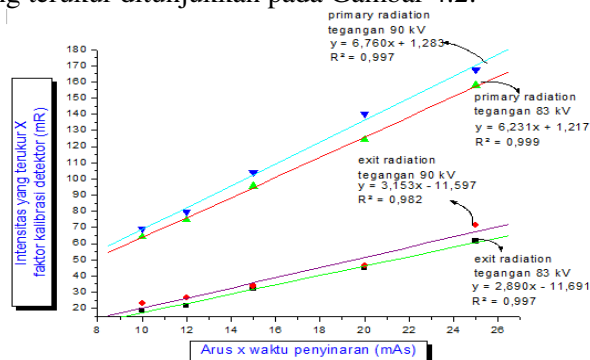
Pengaturan tegangan *skull phantom* mempengaruhi intensitas dan kualitas radiasi sinar X. Dalam pengujian ini, tegangan 83 kV dan 90 kV tidak diketahui secara pasti besar energi yang dikeluarkan. Sehingga untuk mengidentifikasi besar energi dan kualitas radiasi dilakukan pendekatan yang dikaitkan dengan acuan nilai tegangan dan kualitas radiasi sinar X milik BPFK Surabaya pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai faktor kalibrasi dan kualitas radiasi sinar X milik BPFK Surabaya.

Tube Voltage(kV)	Radiation Qualities (MeV)	Calibration Factor
60	0,047	$1,02 \pm 1,9\%$
100	0,084	$0,72 \pm 1,9\%$
150	0,121	$0,80 \pm 1,9\%$
200	0,171	$0,94 \pm 1,9\%$
250	0,218	$1,02 \pm 1,9\%$

Penggunaan tegangan 83 kV dan 90 kV berada pada kisaran tegangan antara 60 kV dan 100 kV. Karena selisih yang tidak terlalu jauh maka rentang tegangan dijadikan acuan untuk menentukan kualitas pancaran radiasi sinar X pada penelitian. Kualitas radiasi yang dihasilkan tabung sinar X berkisar antara 0,047 MeV sampai 0,084 MeV. Rentang tegangan dan

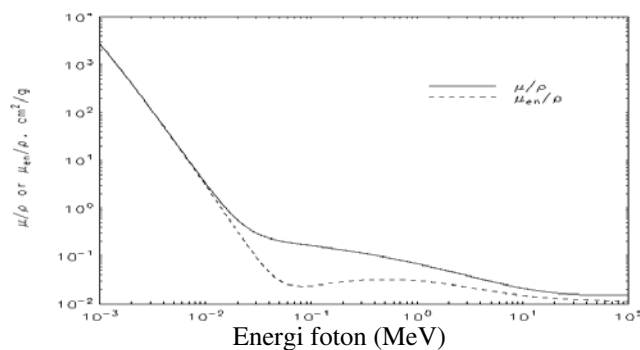
Hubungan antara mAs dengan intensitas radiasi yang terukur ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik pengaruh pengaturan mAs terhadap intensitas radiasi yang terukur dipermukaan atas dan permukaan bawah phantom.

Berdasarkan grafik 4.2 menunjukkan intensitas yang terukur diatas permukaan maupun dibawah phantom dipengaruhi oleh pengaturan mAs pada sinar X. Intensitas radiasi yang terukur diatas phantom (*primary radiation*) mengalami kenaikan dengan titik sebarannya merata. Tetapi untuk dosis serap yang terukur dibawah phantom (*exit radiation*) pola titik sebaran ada yang saling berimpit, ada juga yang saling terpisah. Ini dikarenakan pengaruh pengaturan mAs berperan terhadap besar kecilnya peningkatan intensitas paparan radiasi. Semakin besar pengaturan mAs semakin besar pula peningkatan intensitas paparan radiasi.

kualitas radiasi digunakan untuk mempermudah pembacaan gambar Grafik 4.3 publikasi NIST sebagai penentuan nilai akrilik dari literatur.



Gambar 4.3 Acuan Perbandingan Energi Foton (MeV), *Mass Attenuation Coefficient* (μ/ρ) dan *Mass Energy Absorpsi Coefficient* (μ_{en}/ρ) dari NIST⁴.

Acuan perbandingan energi foton publikasi NIST telah memiliki ketetapan nilai setiap energi fotonnya begitu pula dengan *Mass Attenuation Coefficient* (μ/ρ), masing-masing nilai terlampir dalam Tabel 4.4. Acuan ini kemudian dijadikan patokan untuk mengalisis hasil pengukuran dalam penelitian.

Tabel 4.4 Energi foton, Nilai Massa Koefisien Atenuasi Akrilik (PMMA) (μ/ρ), Massa Energi Koefisien Absorpsi berdasarkan Literatur⁴.

Energi (MeV)	Massa koefisien atenuasi akrilik (μ/ρ) (cm^2/gr)	Massa energi koefisien absorpsi ($\mu\text{en}/\rho$) (cm^2/gr)
$1,0 \times 10^{-2}$	$3,357 \times 10^{+0}$	$3,026 \times 10^{+0}$
$1,5 \times 10^{-2}$	$1,101 \times 10^{+0}$	$8,324 \times 10^{-1}$
$2,0 \times 10^{-2}$	$5,714 \times 10^{-1}$	$3,328 \times 10^{-1}$
$3,0 \times 10^{-2}$	$3,032 \times 10^{-1}$	$9,645 \times 10^{-2}$
$4,0 \times 10^{-2}$	$2,350 \times 10^{-1}$	$4,599 \times 10^{-2}$
$5,0 \times 10^{-2}$	$2,074 \times 10^{-1}$	$3,067 \times 10^{-2}$
$6,0 \times 10^{-2}$	$1,924 \times 10^{-1}$	$2,530 \times 10^{-2}$
$8,0 \times 10^{-2}$	$1,751 \times 10^{-1}$	$2,302 \times 10^{-2}$

Teridentifikasi bahwa kualitas radiasi yang dihasilkan tabung sinar X pada tegangan 83 kV dan 90 kV saat penelitian berkisar antara 0,047 MeV sampai 0,084 MeV, ini berarti energi yang digunakan berkisar antara $4,0 \times 10^{-2}$ MeV sampai $8,0 \times 10^{-2}$ MeV. Dari energi ini dapat diketahui nilai massa koefisien atenuasi akrilik (μ/ρ) berada pada kisaran antara $2,350 \times 10^{-1}$ (cm^2/gr) sampai $1,751 \times 10^{-1}$ (cm^2/gr) berdasarkan literatur.

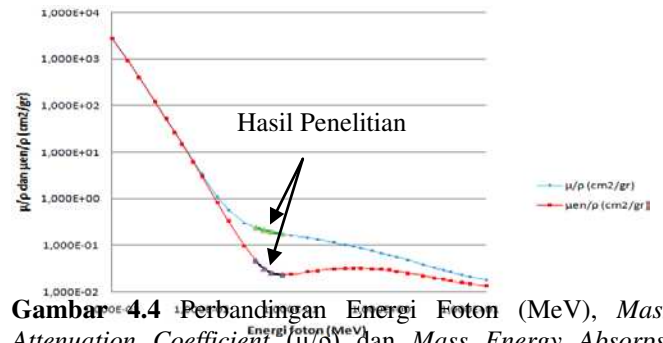
Hasil penelitian yang telah diidentifikasi pada Tabel 4.4 kemudian digabungkan dengan literatur seperti pada Gambar 4.4 berikut.

KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa nilai ESE phantom penelitian mendekati nilai ESE standar yang digunakan oleh AAPM no.31 yang menjadi acuan kelayakan phantom.
- Dalam pengukuran *primary radiation* dan *exit radiation* dapat ditentukan nilai atenuasi akrilik (μ) *skull phantom*. Nilai atenuasi menunjukkan nilai

DAFTAR PUSTAKA

- AAPM. 1991. *Standardized Methods for Measuring Diagnostic X-Ray Exposures*. American Institute of Physics. New York.
- Anonimous. 2009. Dental Radiografi Prinsip dan Teknik. Diakses tanggal 18 Desember 2010, dari <http://www.usupress.html>.
- Dowd, S. B. dan E. R. Tilson. 1999. *Practical Radiation Protection and Applied Radiobiology-second edition*. Saunders. USA.
- Suyatno, F. 2008. Aplikasi Radiasi Sinar X di Bidang Kedokteran Untuk Menunjang Kesehatan



Gambar 4.4 Perbandingan Energi Foton (MeV), *Mass Attenuation Coefficient* (μ/ρ) dan *Mass Energy Absorpsi Coefficient* ($\mu\text{en}/\rho$) dari NIST serta hasil penelitian.

Nilai tertinggi hasil penelitian sebesar $4,0 \times 10^{-2}$ dan terendah sebesar $8,0 \times 10^{-2}$. Dari uji kelayakan dalam penelitian dapat diketahui bahwa bahan phantom telah mendekati nilai standar, hal ini diimbangi dengan penarikan garis lurus antara sumbu X dan Y yang berada di garis acuan standar *Mass Attenuation Coefficient* (μ/ρ) dan *Mass Energy Absorpsi Coefficient* ($\mu\text{en}/\rho$).

yang dekat dengan nilai atenuasi pada teori. Disimpulkan bahwa akrilik yang dijual bebas dipasaran dapat dijadikan alternatif bahan pengganti phantom yang lebih murah, bila diimbangi dengan pengaturan tegangan dan mAs yang berbeda.

- Ada pendekatan lain yang digunakan untuk menguji phantom yaitu dengan cara menebal tipiskan bahan sehingga diharapkan dapat mendekati nilai standar acuan.

- Hubbell, J. H. dan S. M. Seltzer. 1989. Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV for Element Z = 1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest. *The National Institute Standards and Technology (NIST)*.

Masyarakat. Jakarta, Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir-BATAN.