

Pengaruh ketebalan dan kombinasi jenis filter terhadap nilai *Entrance Skin Exposure (ESE)* menggunakan *factor eksposi pemeriksaan kepala*

Salimatul Litasova¹⁾, Eko Hidayanto²⁾ dan M. Azam³⁾

¹⁾Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
E-mail: litasova@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Research on the analysis of the effect of filter type variation and thickness on mobile X-ray machine against ESE value of head examination. The use of filters aims to eliminate the low-energy X-ray beam so as to minimize the dose. The experiment was conducted to determine the ESE value and the thickness of the beak (HVL) on the combination of type and thickness of the filter. Combination filter used was aluminum (Al) with copper (Cu), aluminum with zinc (Zn), aluminum with galvalum (AlZnSi), aluminum (Al), copper (Cu) with galvalum (AlZnSi), copper (Cu) with zinc (Zn), stainless steel (SS) with galvalum (AlZnSi) and stainless steel (SS) with zinc (Zn). With variation of 70, 81 and 90 kV fixed-time line voltages 20 mAs, 100 cm SSD, and 10 x 10 cm irradiation field measured tube voltage and ESE with combination of type and thickness of the filter. The results showed that ESE value with head examination exposure factor using combination of 1-1,5 mm filter Al with Zn, and combination of 1.5 mm filter Al with galvalum was at tolerance 0,348 - 0,522 mGy. While the exposure factor with combination of filter, Cu with Zn, Cu with galvalum, Cu with Al, SS with Al, SS with Zn and SS with galvalum with thickness of filter combination 1-2 mm under tolerance limit. So that can be used alternative materials other than filter Al can use combination of filter SS with AlZnSi. Half-Value Layer (HVL) exposure factor 90 kV with an filter Al with galvalum, we can use a 0.52 mm filter on a 0.71 mm filter Al with Zn.

Keywords: x-ray machine, ESE, filter, HVL

ABSTRAK

Penelitian mengenai analisa pengaruh variasi jenis dan ketebalan filter pada pesawat sinar-X mobile terhadap nilai ESE pemeriksaan kepala. Penggunaan filter bertujuan untuk menghilangkan berkas sinar-X berenergi rendah sehingga dapat meminimalkan dosis. Penelitian dilakukan untuk menentukan nilai ESE dan nilai tebal paruh (HVL) pada kombinasi jenis dan ketebalan filter. Kombinasi filter yang digunakan ialah aluminium (Al) dengan tembaga (Cu), aluminium dengan seng (Zn), aluminium dengan galvalum (AlZnSi), aluminium (Al) dengan stainless steel (SS), tembaga (Cu) dengan galvalum (AlZnSi), tembaga (Cu) dengan seng (Zn), stainless steel (SS) dengan galvalum (AlZnSi) dan stainless steel (SS) dengan seng (Zn). Dengan variasi tegangan tabung 70, 81 dan 90 kV arus-waktu tetap 20 mAs, SSD 100 cm, dan luas lapangan penyinaran 10 x 10 cm dilakukan pengukuran tegangan tabung dan ESE dengan kombinasi jenis dan ketebalan filter tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai ESE dengan faktor eksposi pemeriksaan kepala dengan menggunakan kombinasi filter 1-1,5 mm Al dengan Zn, dan kombinasi filter 1,5 mm Al dengan galvalum berada pada toleransi 0,348 - 0,522 mGy. Sedangkan faktor eksposi dengan kombinasi filter, Cu dengan Zn, Cu dengan galvalum, Cu dengan Al, SS dengan Al, SS dengan Zn dan SS dengan galvalum dengan ketebalan kombinasi filter 1-2 mm berada dibawah batas toleransi. Sehingga dapat digunakan bahan alternatif selain filter Al dapat menggunakan kombinasi filter SS dengan AlZnSi. Untuk mencapai nilai tebal paruh (HVL) pada faktor eksposi 90 kV dengan kombinasi filter Al dengan galvalum dapat digunakan filter 0,52 mm sedangkan pada kombinasi filter Al dengan Zn dapat digunakan filter 0,71 mm.

Kata kunci : pesawat sinar-X, ESE, filter , HVL

PENDAHULUAN

Pesawat sinar-X dapat menghasilkan energi yang berbeda-beda berdasarkan tegangan kerja (kV) sehingga dapat menghasilkan daya tembus yang berbeda. Semakin besar tegangan listrik yang digunakan makin besar pula daya tembus yang didapatkan.

Pesawat sinar-X diatur dengan faktor eksposi yang sesuai dengan organ yang diperiksa, sehingga pada citra yang dihasilkan oleh sinar-X terdapat nilai *Entrance Skin Exposure* (ESE) yang merupakan nilai paparan yang diukur dengan satuan C/kg pada pusat sumbu-X merupakan titik pusat daerah yang akan dikenai radiasi. Nilai ESE dipengaruhi oleh target (anoda) dan filter yang digunakan dalam tabung pesawat sinar-X. Untuk menahan energi sinar-X yang rendah dapat digunakan filter pada tabung sinar-X. Filter ialah suatu material yang didesain untuk menyerap berkas sinar-X secara selektif. Dengan filter terjadi filtrasi yang dapat menghilangkan foton sinar-X berenergi rendah yang tidak diinginkan dengan menambah bahan yang dapat menyerap berkas primer.

Selama ini umumnya hanya digunakan bahan Al sebagai filter pada pesawat sinar-X. Pada penelitian sebelumnya dilakukan variasi jenis dan ketebalan filter pada pesawat sinar-X mobile terhadap nilai ESE menggunakan faktor pemeriksaan dada yang menghasilkan nilai ESE pada pemeriksaan dada masih dalam batas toleransi [1]. Pada penelitian ini dilakukan kombinasi variasi jenis dan ketebalan filter pada pemeriksaan kepala.

DASAR TEORI

Sinar-X

Sinar-X terjadi dari filamen yang dipanaskan sehingga filamen tersebut dapat menyala dengan mengalir arus listrik yang berasal dari transformator. Sinar-X diproduksi dalam tabung hampa udara yang di dalamnya terdapat filamen sebagai katoda dan anoda. Filamen dipanaskan sehingga akan terbentuk awan-awan elektron. Antara katoda dan anoda diberikan beda potensial yang tinggi sehingga

menyebabkan elektron akan bergerak dengan kecepatan tinggi menumbuk bidang target (anoda). Terjadinya eksitasi dan kembali ke posisi semula akan menyebabkan panas pada anoda di tabung sinar-X. Peristiwa tersebut membentuk radiasi sinar-X yang hanya terjadi sekitar 1% dari jumlah energi yang diberikan dan 99% akan membentuk panas pada anoda [2].

Half Value Layer (HVL)

HVL merupakan ketebalan suatu material standar yang dibutuhkan untuk mengurangi intensitas berkas radiasi menjadi seperdua dari harga semula yang diukur dengan alat yang telah dikalibrasi untuk pengukuran paparan radiasi. Dari hasil HVL, energi efektif dapat ditentukan dengan merujuk pada data literatur energi foton terhadap koefisien atenuasi linier yang kemudian dikonversi menjadi energi foton terhadap HVL berdasarkan energi efektif inilah yang akan menggambarkan kualitas berkas sinar-X. Apabila energi efektif pada berkas sinar-X meningkat karena adanya peningkatan energi efektif akibat penambahan *filter* maka daya tembus sinar-X juga meningkat [3].

Hubungan antara HVL dengan koefisien atenuasi dalam pancaran sinar-X diberikan dalam persamaan berikut :

$$\mu = \frac{0,693}{HVL} \quad (1)$$

Dengan x adalah ketebalan attenuator (cm), dan μ adalah koefisien linear atenuasi dari bahan attenuator (cm^{-1}) [4].

Filter

Filter merupakan suatu material yang didesain untuk menyerap berkas sinar-X secara selektif. Filtrasi adalah proses menghilangkan foton sinar-X berenergi rendah yang tidak diinginkan, dengan menambahkan bahan yang dapat menyerap berkas primer. Proses filtrasi ini dapat

menghilangkan foton yang dapat meningkatkan dosis radiasi tetapi tidak mempengaruhi gambar radiografi [5]. Foton sinar-X berenergi rendah tidak dapat memberikan informasi yang optimal dan hanya akan menambah dosis pada pasien karena foton energi rendah akan diserap tubuh. Bahan kombinasi filter pada penelitian ini adalah Al, Cu, SS, AlZnSi, dan Zn.

Entrance Skin Exposure (ESE)

Entrance Skin Exposure (ESE) merupakan paparan yang diukur dengan satuan milirontgen pada pusat sumbu sinar-X yang merupakan titik pusat pada daerah yang akan dikenai radiasi. Dalam pengukuran nilai ESE, pesawat sinar-X diatur dengan faktor eksposi sesuai dengan organ yang diperiksa. Hal ini akan berkaitan dengan besarnya nilai intensitas sinar-X yang akan terukur. Paparan radiasi yang diukur pada permukaan kulit atau ESE dapat ditentukan dengan berbagai metode salah satunya adalah metode standarisasi pengukuran eksposi sinar-X diagnostik [2].

Nilai ESE bervariasi pada berbagai organ, tergantung pada jenis pemeriksaan dan faktor eksposi yang digunakan. Tabel 1 menunjukkan besarnya nilai ESE pada berbagai organ pemeriksaan.

Tabel 1. Variasi Nilai ESE pada Organ Pemeriksaan [4]

No.	Pemeriksaan	ESE (mGy)
1.	Kepala	0,348 – 0,522
2.	Dada (PA)	0,087 – 0,26
3.	Dada (Lateral)	0,435 – 0,87
4.	Abdomen	0,87 – 3,5
5.	Tulang Belakang (Lateral)	4,35 – 13,04
6.	Pelvis	2,17 – 4,35

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut :

a) Pesawat sinar-X *Polimobile Plus* Siemens, dengan spesifikasi : frekuensi 50/60 Hz, arus

0,4 – 0,5 A, tegangan operasional mencapai 125 kV, dan waktu operasional 0,1 – 0,2 sekon.

- b) *Multi Purpose Detector* (MPD) merk Barracuda tipe R100. Dilengkapi dengan elektrometer serial *interface RS-232* dan *handle PDA software QA Browser* menggunakan RTD (*real-time display*) merk HP.
- c) Penggaris digunakan untuk pengukuran filter dan jarak kolimator dan detektor.
- d) Milimeter sekrup digunakan untuk pengukuran ketebalan filter.
- e) Filter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu filter berbahan aluminium (Al), tembaga (Cu), galvalum (AlZnSi), Stainless steel (SS) dan seng (Zn). Bahan dan ketebalan filter yang digunakan dapat dilihat dengan table 2.

Tabel 2. Bahan dan ketebalan (mm) filter

Bahan	Ketebalan (mm)		
Aluminium (Al)	0,25	0,5	1
Tembaga (Cu)	0,25	0,5	1
Galvalum (AlZnSi)	0,25	0,5	1
Stainless steel (SS)	-	0,8	1
seng (Zn)	0,25	0,5	1

- f) Kombinasi filter yang digunakan :
Tabel 3. Kombinasi filter Aluminium (Al) dan Seng (Zn)

Tebal kombinasi bahan (mm)		Total ketebalan (mm)
Al	Zn	
0,5	0,5	1
1	0,5	1,5
1	1	2

Tabel 4. Kombinasi filter Aluminium (Al) dan Galvalum (AlZnSi)

Tebal kombinasi bahan (mm)		Total ketebalan (mm)
Al	AlZnSi	
0,5	0,5	1
1	0,5	1,5
1	1	2

Tabel 5. Kombinasi filter Aluminium (Al) dan Tembaga (Cu)

Tebal kombinasi bahan (mm)		Total ketebalan (mm)
Al	Cu	
0,5	0,5	1
1	0,5	1,5
1	1	2

Tabel 6. Kombinasi filter Aluminium (Al) dan Stainless steel (SS)

Tebal kombinasi bahan (mm)		Total ketebalan (mm)
SS	Al	
0,8	0,25	1,05
1	0,5	1,5
1	1	2

Tabel 7. Kombinasi filter Stainless steel (SS) dan Seng (Zn)

Tebal k ombinasi bahan (mm)		Total ketebalan (mm)
SS	Zn	
0,8	0,25	1,05
1	0,5	1,5
1	1	2

Tabel 8. Kombinasi filter Stainless steel (SS) dan Galvalum (AlZnSi)

Tebal kombinasi bahan (mm)		Total ketebalan (mm)
SS	AlZnSi	
0,8	0,25	1,05
1	0,5	1,5
1	1	2

Tabel 9. Kombinasi filter Tembaga (Cu) dan Seng (Zn)

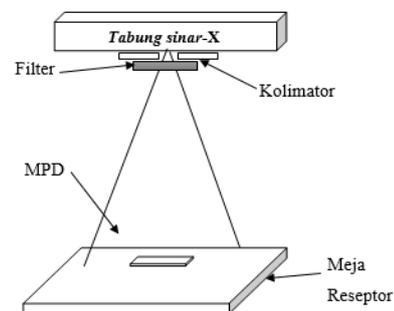
Tebal kombinasi bahan (mm)		Total ketebalan (mm)
Cu	Zn	
0,5	0,5	1
1	0,5	1,5
1	1	2

Tabel 10. Kombinasi filter Tembaga (Cu) dan Galvalum (AlZnSi)

Tebal kombinasi bahan (mm)		Total ketebalan (mm)
Cu	AlZnSi	
0,5	0,5	1
1	0,5	1,5
1	1	2

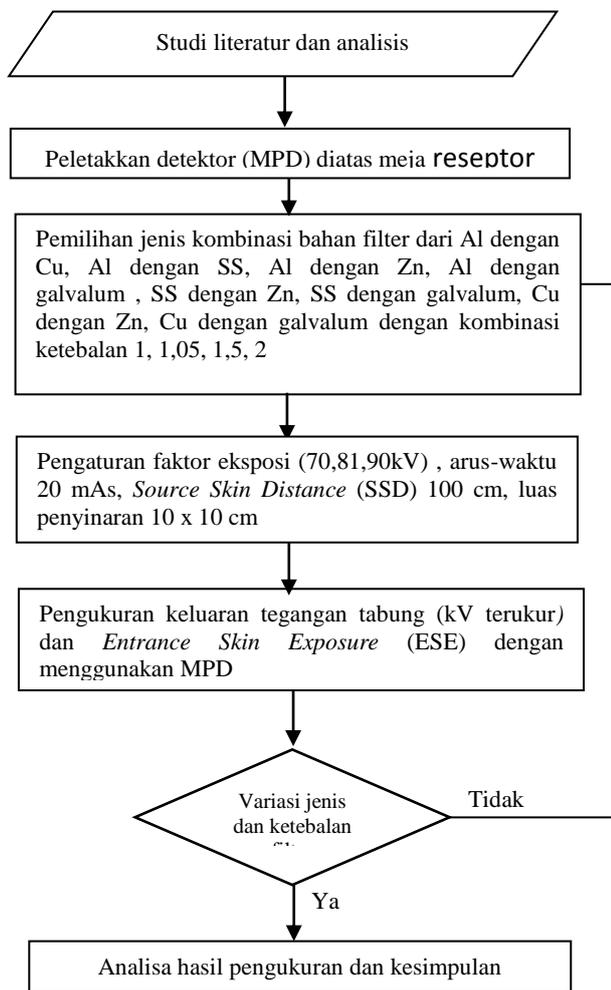
Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan di Training Center dan Laboratorium Atom dan Inti FSM, Universitas Diponegoro pada bulan September 2017 sampai bulan Oktober 2017. Penelitian diawali dengan studi literatur mengenai penelitian sebelumnya lalu proses pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, dan analisis hasil. Variabel bebas dalam penelitian ini ialah tegangan tabung sinar-X, jenis bahan dan ketebalan filter. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai paparan yang terbaca pada detektor. Penelitian dilakukan seperti pada skema penelitian pada gambar 1.



Gambar 1. Skema Pengukuran ESE

Alur penelitian yang dilakukan pada penentuan nilai ESE pada pesawat sinar-X *polimobile* Siemens dengan kombinasi jenis filter Al dengan galvalum, Al dengan Zn, Al dengan SS, SS dengan Zn, SS dengan galvalum, Cu dengan Al, Cu dengan Zn dan Cu dengan galvalum sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsistensi Tegangan Tabung Tanpa Filter

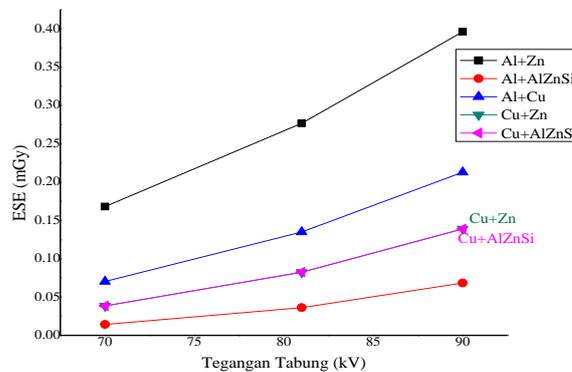
Tabel 11. Nilai Konsistensi Tegangan Tabung tanpa Filter

kV-set	kV terukur			Rerata kV	Error (%)
	1	2	3		
70	69,30	69,29	69,22	69,27	±1,04%
81	79,91	79,89	79,87	79,89	±1,37%
90	89,74	90,04	89,74	89,84	±0,18%

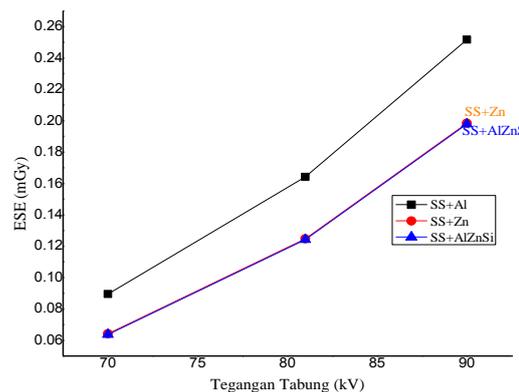
Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai konsistensi keluaran tegangan tabung pesawat sinar-X *mobile* Siemens masih berada dibawah batas toleransi yaitu $\pm 10\%$ sehingga

pesawat sinar-X *mobile* Siemens masih dalam kualitas yang baik.

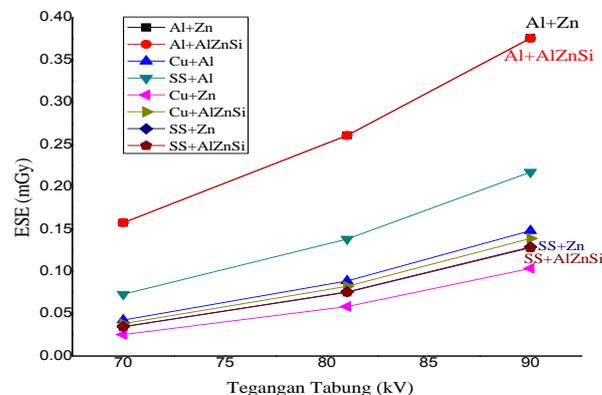
ESE dengan Variasi Ketebalan Kombinasi Filter



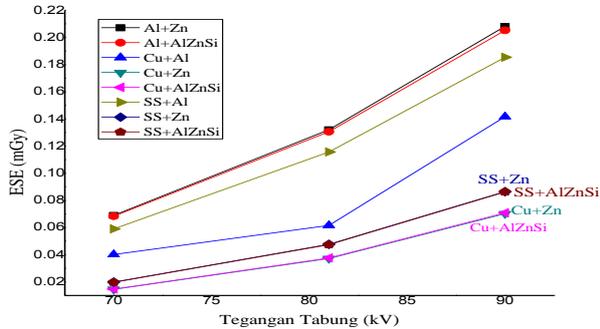
Gambar 3. Grafik nilai ESE dengan ketebalan filter 1 mm



Gambar 4. Grafik nilai ESE dengan ketebalan filter 1,05 mm



Gambar 5. Grafik nilai ESE dengan ketebalan filter 1,5 mm

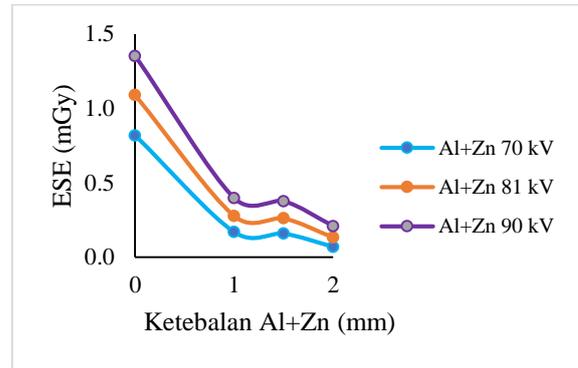


Gambar 6. Grafik nilai ESE dengan ketebalan filter 2 mm

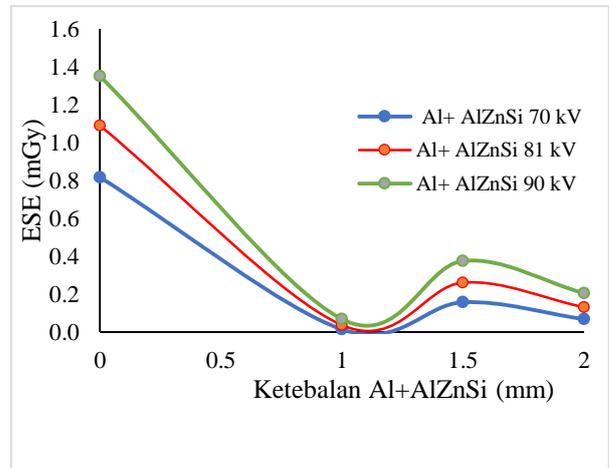
Berdasarkan gambar 3 sampai gambar 6 yang menunjukkan nilai ESE dengan variasi ketebalan filter menunjukkan bahwa semakin bertambahnya tegangan tabung, maka dibutuhkan ketebalan filter yang bertambah pula. Pada ketebalan 1 mm terlihat perbedaan yang cukup banyak pada kombinasi filter yang berbeda. Namun pada ketebalan 2 mm penggunaan kombinasi filter Al dengan Zn menghasilkan nilai ESE yang terbesar. Hal ini dikarenakan bahan alumunium dengan seng menyerap berkas sinar-X tidak sebanyak bahan filter lainnya. Alumunium dan seng memiliki massa jenis terkecil dibandingkan massa jenis AlZnSi, SS, dan Cu.

Pada penggunaan kombinasi filter Cu dengan Zn dan Cu dengan galvalum pada ketebalan 2 mm terjadi penyerapan berkas sinar-X yang besar sehingga menghasilkan nilai ESE yang hampir sama dan berada jauh dibawah nilai ESE pada penggunaan kombinasi filter Al dengan Zn.

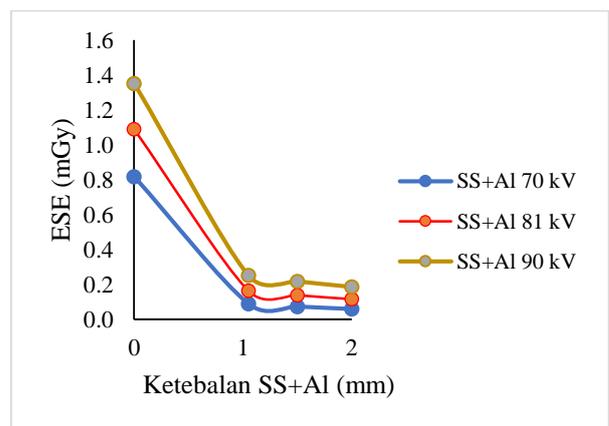
ESE dengan Variasi Jenis Bahan Filter



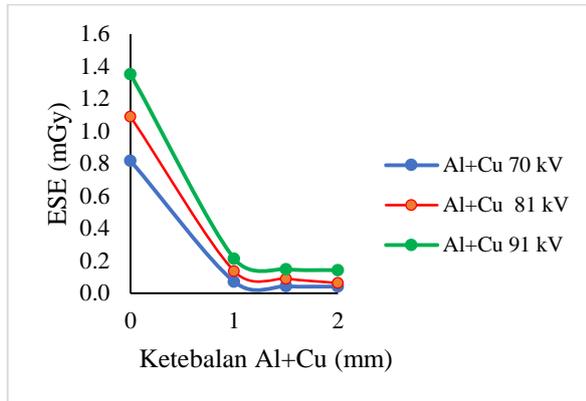
Gambar 7. Grafik nilai ESE dengan kombinasi filter Al dengan Zn



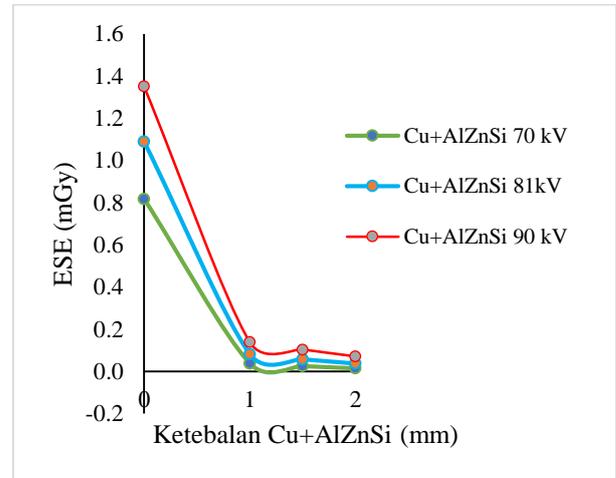
Gambar 8. Grafik nilai ESE dengan kombinasi filter Al dengan galvalum



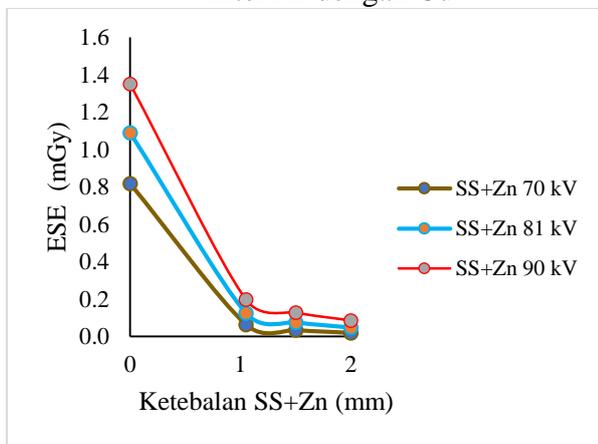
Gambar 9. Grafik nilai ESE dengan kombinasi filter SS dengan Al



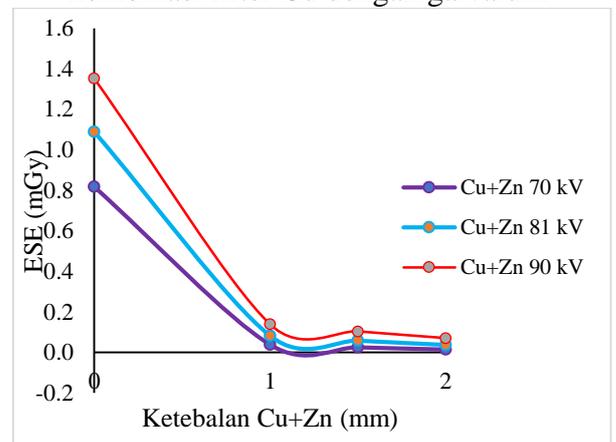
Gambar 10. Grafik nilai ESE dengan kombinasi filter Al dengan Cu



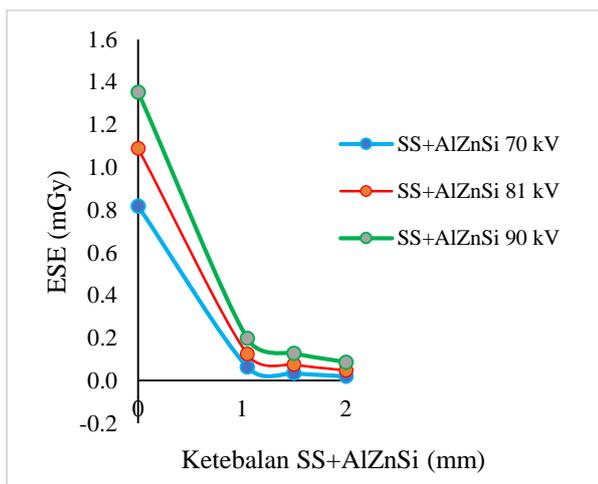
Gambar 13. Grafik nilai ESE dengan kombinasi filter Cu dengan galvalum



Gambar 11. Grafik nilai ESE dengan kombinasi filter SS dengan Zn



Gambar 14. Grafik nilai ESE dengan kombinasi filter Cu dengan Zn



Gambar 12. Grafik nilai ESE dengan kombinasi filter SS dengan galvalum

Berdasarkan gambar 7 sampai gambar 14 yang menunjukkan nilai ESE dengan variasi kombinasi jenis bahan filter. Grafik-grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal filter yang digunakan maka penyerapan berkas sinar-x semakin besar sehingga, nilai ESE akan semakin menurun. Penyerapan ESE dengan kombinasi filter Al dengan Zn ialah paling sedikit dibandingkan dengan filter lainnya, hal ini karena massa jenis Al yaitu $2,7 \text{ g/cm}^3$ dan Zn $7,13 \text{ g/cm}^3$. Sedangkan penyerapan ESE dengan kombinasi filter SS dengan galvalum ialah paling besar, hal ini karena massa jenis SS ialah 8 g/cm^3 dan galvalum yaitu $7,14 \text{ g/cm}^3$.

ESE dengan Tegangan Tabung

Pada pemeriksaan kepala umumnya digunakan faktor eksposi tegangan tabung 70 kV, 81 kV dan 90 kV maka dapat diketahui dengan menggunakan salah satu tegangan tabung yaitu 90 kV. Pada tegangan tabung tersebut, untuk pengukuran nilai ESE dengan jenis kombinasi ketebalan filter Al dengan Zn, Al dengan galvalum, Cu dengan Al, Cu dengan Zn, Cu dengan galvalum, SS dengan Al, SS dengan Zn dan SS dengan galvalume. Nilai ESE dengan tegangan tabung 90 kV didapatkan dari pengukuran data sebelumnya. Tabel 11 menunjukkan nilai ESE pada tegangan tabung 90 kV dengan variasi kombinasi jenis bahan dan ketebalan filter.

Berdasarkan Tabel 11 menunjukkan bahwa nilai ESE terkecil pada penggunaan filter Cu dan nilai ESE terbesar pada penggunaan filter Al. Sedangkan penggunaan filter AlZnSi dan filter Zn memiliki nilai ESE yang sama. Hal ini menunjukkan bahan Zn pada campuran AlZnSi sangat memengaruhi penyerapan berkas sinar-X.

Tabel 11. Nilai ESE pada 90 kV dengan Variasi Kombinasi Jenis dan Ketebalan Filter

Ketebalan (mm)	ESE filter Al+Zn (mGy)	ESE filter Al+AlZnSi (mGy)	ESE filter Cu+Al (mGy)	ESE filter Cu+Zn (mGy)
0,00	1,35	1,35	1,35	1,35
1,00	0,39	0,06	0,21	0,13
1,05	-	-	-	-
1,5	0,37	0,37	0,14	0,10
2,00	0,20	0,20	0,14	0,07

Tabel 12. Nilai ESE pada 90 kV dengan Variasi Kombinasi Jenis dan Ketebalan Filter

Ketebalan (mm)	ESE filter SS+Al (mGy)	ESE filter SS+Zn (mGy)	ESE filter SS+AlZnSi (mGy)
0,00	1,35	1,35	1,35
1,00	-	-	-
1,05	0,25	0,19	0,12
1,5	0,21	0,12	0,07
2,00	0,18	0,08	0,04

Berdasarkan Tabel 11-12 menunjukkan bahwa nilai ESE terbesar pada kombinasi filter Al dengan Zn dan nilai ESE terkecil pada penggunaan kombinasi filter SS dengan galvalum. Berdasarkan referensi dari (Sprawls,1995) menunjukkan bahwa ESE pada pemeriksaan kepala dengan batas toleransi 0,348 – 0,522 mGy maka penggunaan kombinasi filter Al dengan Zn pada ketebalan 1-1,5 mm berada dalam batas toleransi. Pada penggunaan kombinasi filter Al dengan galvalum pada ketebalan 1,5 mm masih dalam batas toleransi. Untuk bahan Cu dengan Al, Cu dengan Zn, Cu dengan galvalum, SS dengan Al, SS dengan Zn dan SS dengan galvalum pada ketebalan 1 – 2 mm berada di bawah batas toleransi.

HVL pada Variasi Jenis dan Ketebalan Filter

Tabel 13. Nilai Tebal Paro (HVL) pada Faktor Eksposi Pemeriksaan Kepala

kV	Nilai Paruh ESE (mGy)					
	Al+Zn (mm)	Al+AlZnSi (mm)	Cu+Al (mm)	Cu+Zn (mm)	Cu+AlZnSi (mm)	
70	0,41	0,63	0,51	0,55	0,52	0,52
81	0,54	0,67	0,52	0,57	0,54	0,54
90	0,68	0,71	0,52	0,59	0,56	0,56

Tabel 14. Nilai Tebal Paro (HVL) pada Faktor Eksposi Pemeriksaan Kepala

kV	Nilai Paruh ESE (mGy)			
	SS+Al (mm)	SS+Zn (mm)	SS+AlZnSi (mm)	
70	0,41	0,59	0,57	0,57
81	0,54	0,62	0,59	0,59
90	0,68	0,64	0,61	0,61

Berdasarkan data penelitian yang didapat dilakukan interpolasi data dengan persamaan (2) untuk mendapat nilai tebal paro [6] dan ditampilkan pada tabel 13-14.

$$HVL = \frac{t_b LN\left(2\frac{D_a}{D_0}\right) - t_a LN\left(2\frac{D_b}{D_0}\right)}{LN\left(\frac{D_a}{D_b}\right)} \quad (2)$$

Berdasarkan Tabel 13-14 maka didapatkan nilai paruh akan semakin besar jika tegangan tabung sinar-X semakin besar faktor eksposinya dibutuhkan ketebalan filter yang semakin besar. Untuk mencapai nilai paruh pada faktor eksposi 90 kV dengan kombinasi filter Al dengan galvalum dapat digunakan filter 0,52 mm sehingga terjadi penyerapan sinar-X lebih banyak, sedangkan pada kombinasi filter Al dengan Zn dapat digunakan filter 0,71 mm sehingga terjadi penyerapan sinar-X lebih sedikit. Massa jenis pada bahan yang digunakan sebagai kombinasi filter mempengaruhi penyerapan sinar-X. Semakin besar massa jenis bahan yang digunakan maka semakin besar penyerapan sinar-X dan dapat digunakan ketebalan bahan yang lebih sedikit pada massa jenis yang lebih besar. Pada kombinasi jenis bahan Al dengan galvalum menghasilkan penyerapan sinar-X lebih sedikit pada massa jenis bahan Al yaitu $2,7 \text{ g/cm}^3$ dan AlZnSi memiliki massa jenis $7,14 \text{ g/cm}^3$. Pada kombinasi jenis filter bahan Al dengan Zn terjadi penyerapan lebih banyak dengan massa jenis Al $2,7 \text{ g/cm}^3$ dan massa jenis Zn $7,13 \text{ g/cm}^3$.

KESIMPULAN

Nilai ESE dengan faktor eksposi pemeriksaan kepala dengan menggunakan kombinasi filter 1-1,5 mm Al dengan Zn dan kombinasi filter 1,5 mm Al dengan galvalum berada pada toleransi 0,348 - 0,522 mGy. Sedangkan faktor eksposi dengan kombinasi filter filter Cu dengan Zn, Cu dengan galvalum, Cu dengan Al, SS dengan Al, SS dengan Zn dan SS dengan galvalum dengan ketebalan kombinasi filter 1-2 mm berada dibawah batas toleransi. Sehingga dapat digunakan bahan alternatif selain filter Al dapat menggunakan kombinasi filter SS dengan AlZnSi. Untuk mencapai nilai tebal paruh (HVL) pada faktor eksposi 90 kV dengan kombinasi filter Al dengan galvalum dapat digunakan filter 0,52 mm sehingga terjadi penyerapan sinar-X lebih banyak, sedangkan

pada kombinasi filter Al dengan Zn dapat digunakan filter 0,71 mm sehingga terjadi penyerapan sinar-X lebih sedikit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Eko Hidayanto dan Bapak M. Azam, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan, saran serta diskusi sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Muhammad Azam, Setiawati, E & Fenia, 2017. *Measurment of Entrance Skin Exposure (ESE) Value With Various Types of Filter Materials on Mobile X-Ray Machine Using Exposure Factor of Chest*. ISSN:2349-2163 International Jurnal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE) Volume 4.
- [2]. Bushong, S. C., 2001. *Radiologic Science for Technologist Physics, Biology, and Protection*. 7th penyunt. Saint Louis: The CV Mosby Company.
- [3]. Sprawls, P. J., 1995. *Physical Principles of Medica Imaging*. 2nd penyunt. USA: Aspen Publisher.
- [4]. Bushberg, J., 2002. *The Essential Physics of Medical Imaging*. 2nd penyunt. USA: Lippicott William and Wilkins.
- [5]. Carlton, R. & Adler, A., 2001. *Principles of Radiographic Imaging an Art and Science*. 3rd penyunt. USA: Thomson Learning.
- [6]. Yunitasari, H. D., Setiawati, E. & Anam, C., 2014. Evaluasi Metode Penentuan Half Value Layer (HVL) Menggunakan Multi Purpose Detector (MPD) Barracuda pada Pesawat Sinar-X Mobile. *Youngster Physics Journal*, 3(2), pp. 113-118