

EVALUASI RADIASI HAMBUR PADA *PHANTOM THORAX* DENGAN TEKNIK *HIGH kV*

Alung Mutiara Hidayatika Putri¹, Fisnandya Meita Astari², Amril Mukmin³

Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta^{1,2,3}

e-mail: alungmutiara51@gmail.com

ABSTRAK

Teknik high kV pada pemeriksaan radiologi *thorax* bertujuan untuk mengurangi dosis radiasi pada pasien, namun penggunaan high kV biasanya disertai dengan penurunan mAs untuk mengurangi dosis radiasi hambur tidak selalu meningkat secara langsung. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi besarnya radiasi hambur yang dihasilkan pada pemeriksaan radiologi *thorax* menggunakan high kV. Penelitian ini menggunakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimen. Objek penelitian berupa *phantom thorax*. Variasi faktor eksposi yang digunakan adalah 70kV 25 mAs, 80 kV 12,5 mAs, 90 kV 6,30 mAs, 86 kV 4 mAs, dan 65 kV 16 mAs. Hasil pengukuran, data dilakukan uji normalitas sig. *Shapiro wilk*, uji *descriptive statistic* dan analisis *bivariat* uji regresi. Dari hasil pengujian yang dilakukan, telah didapatkan nilai radiasi hambur tertinggi diperoleh pada kV 80 dan mAs 12,5 dengan rata-rata 4,297 mSv, sedangkan nilai terendah pada kV 86 dan mAs 4 yaitu 1,458. Nilai koefisien determinasi menunjukkan hubungan kuat antara faktor eksposi dan radiasi hambur sebesar 65%-69%. Peningkatan kV yang disertai penurunan mAs dapat menurunkan radiasi hambur. Pada kV 86 dan mAs 4 dinilai paling efektif menghasilkan nilai radiasi hambur yang rendah, sehingga dapat menjadi pilihan optimal untuk penerapan pemeriksaan radiografi *thorax* dengan tekni high kV yang aman bagi lingkungan dan pasien.

Kata Kunci: *Radiasi Hambur, High kV, Thorax, Faktor Ekposi, Dosis Radiasi*

ABSTRACT

The high kV technique used in chest radiology aims to minimize the radiation exposure to the patient. However, the use of high kV usually involves a reduction in mAs to decrease the radiation dosage absorbed by the patient. In this case, the photon number decreases with higher kV, resulting in the total scattered radiation not consistently increasing proportionately. This study aims to determine the amount of scattered radiation generated during chest radiography tests utilizing high kilovolt (kV) settings. This research employed a quantitative experimental methodology. The subject of investigation was a thoracic phantom. The utilized exposure factors were 70 kV at 25 mAs, 80 kV at 12.5 mAs, 90 kV at 6.30 mAs, 86 kV at 4 mAs, and 65 kV at 16 mAs. Data analyses were conducted utilizing the Shapiro-Wilk normality test, descriptive statistical methods, and bivariate R regression values. The test findings indicated that the maximum scattered radiation value was recorded at 80 kV and 12.5 mAs, with an average 4.297 mSv. The minimum value was recorded at 86 kV and 4 mAs, totaling 1,458. The coefficient of determination demonstrates a strong relationship between exposure factors and scattered radiation, ranging from 65% to 69%. Increasing kV while decreasing mAs helps reduce scattered radiation. KV 86 and mAs 4 were identified as the most effective parameters for minimizing scattered radiation, making them an optimal selection for high-kV chest radiography, ensuring safety for both the environment and the patient.

Keywords: *Scattered Radiation, High kV, Thorax, Exposure Factors, Radiation Dose*

PENDAHULUAN

Sinar-X ditemukan oleh Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895 (Peiro et al., 2021). Penggunaan Sinar-X untuk tujuan diagnostic didasarkan pada fakta bahwa Sinar-X memiliki kemampuan untuk mengumpulkan data tentang tubuh manusia tanpa melakukan pembedahan. Gambar yang terbentuk pada permukaan film dapat memberikan informasi tubuh manusia. Radiologi adalah cabang ilmu kedokteran yang menggunakan Sinar-X untuk mendiagnosis tubuh pasien. Salah satu pemeriksaan radiologi adalah pemeriksaan *thorax* (Santoso et al., 2014). *Thorax* merupakan struktur tubuh yang sangat penting dengan fungsi pernafasan serta melindungi organ organ di dalam *thorax*. *Thorax* tersusun atas tulang tulang rawan yang melindungi organ seperti paru-paru. Tidak ada persiapan khusus yang diperlukan untuk pemeriksaan radiografi *thorax*. Pasien diharuskan melepas barang logam yang mengganggu gambaran. Teknik pemeriksaan radiografi *thorax* yang rutin digunakan yaitu *Anteroposterior* (AP), *Posteroanterior* (PA), dan *lateral* (Lampignano, 2018).

Teknik high kV merupakan pemeriksaan organ tubuh dengan cara meningkatkan salah satu parameter faktor eksposi sehingga menghasilkan kerapatan gambar yang sama (Budiwati & Andriani, 2022). Penggunaan high kV pada pemeriksaan radiografi *thorax* bertujuan untuk mengurangi dosis radiasi pada pasien. Ketika high kV digunakan, grid rasio tinggi harus digunakan. Redaman radiasi hamburan meningkat seiring dengan rasio grid Bushong dalam Ramantisan et al., (2022) dan Fitriani, (2021). Pemberian dosis kepada pasien harus seminimal mungkin untuk mencegah dari efek radiasi. Dampak radiasi pada manusia dapat timbul ketika tubuh terpapar dosis radiasi yang melampaui batas ambang (efek *deterministic*) maupun dosis yang dapat menimbulkan penyakit kanker (efek *stokastik*) (Santoso et al., 2014).

Radiasi pengion, seperti sinar-X, memiliki karakteristik energi yang cukup tinggi untuk melepaskan electron dari atom atau molekul target, sehingga mampu menyebabkan kerusakan biologis pada tingkat seluler. Proses ini mendasari timbulnya resiko efek biologis akibat paparan radiasi, baik dalam aplikasi diagnostic maupun terapeutik. Sinar-X merupakan bentuk gelombang elektromagnetik yang dapat berinteraksi dengan jaringan biologis melalui proses penyerapan, transmisi, dan hamburan. Saat mengenai objek, sebagian sinar-X akan diteruskan, sebagian diserap oleh jaringan, dan sebagian lainnya mengalami perubahan arah melalui proses hamburan (*scattering*). Dalam praktik radiologi, sinar-X diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan asal dan arahnya, yaitu radiasi primer dan radiasi hamburan. Radiasi primer adalah radiasi yang dipancarkan langsung dari tabung sinar-X ke objek. Apabila radiasi ini melewati objek tanpa perubahan arah namun dengan penurunan intensitas, maka disebut sebagai radiasi sekunder. Sementara itu, radiasi hamburan merupakan radiasi yang mengalami perubahan arah setelah berinteraksi dengan materi, dan berpotensi menimbulkan paparan tambahan di luar area target (Anggarini et al., 2019).

Hamburan sinar-X hasil interaksi dengan bahan mempunyai energi rata-rata yang lebih kecil dari energi foton primer, sehingga daya tembusnya akan lebih kecil namun demikian radiasi hamburan banyak bergerak ke segala arah dan sebagian ada yang sampai ke film radiograf dengan arah yang sama atau berlainan arah dengan radiasi primer. Faktor yang mempengaruhi jumlah radiasi hamburan adalah tegangan tabung (kV), arus tabung (mA), ketebalan/volume objek dan luas lapangan berkas sinar-X. Dosis radiasi adalah banyaknya energi radiasi pengion yang diserap persatuan massa bahan, dimana dosis radiasi ini akan berkaitan dengan efek radiasi. Dosis radiasi yang diterima oleh seseorang dalam menjalankan suatu kegiatan tidak boleh melebihi nilai batas dosis yang telah ditetapkan. Radiasi dapat diartikan sebagai energi yang dipancarkan dalam bentuk partikel atau gelombang yang memiliki daya tembus, penyerapan, ionisasi dan efek biologi. Efek radiasi terbagi menjadi dua yaitu efek deterministik dan efek stokastik (Artitin & Regina, 2024).

Copyright (c) 2025 KNOWLEDGE : Jurnal Inovasi Hasil Penelitian dan Pengembangan

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi hamburan antara teknik penyinaran, dosis radiasi, dan tingkat paparan radiasi hambur. Pada penelitian Suyudi et al., (2022) tentang pemeriksaan *thorax* dengan menggunakan teknik kV standar dan kV tinggi mendapatkan hasil perbandingan pemeriksaan *thorax* dengan menggunakan kV standar hasil radiograf lebih optimal dibandingkan dengan menggunakan kV tinggi. Sementara itu penelitian (Azmi Anugrah et al., 2018) mengenai pengukuran *Entrance Skin Exposure* dan laju paparan radiasi pada pemeriksaan kepala dengan metode tegangan tinggi menunjukkan semakin tinggi tegangan kV yang digunakan semakin dikit dosis yang diserap oleh pasien. Disisi lain, pengukuran paparan radiasi hambur di instalasi gawat darurat Covid-19 RSUD Benda Pekalongan sebagai upaya proteksi radiasi menunjukkan hasil paparan radiasi yang diterima di masyarakat umum melebihi batas dosis yang direkomendasikan, akan tetapi untuk paparan radiasi yang diterima pekerja sudah sesuai yang ditetapkan oleh BAPETEN (Nazula & Akhadin, 2021).

Berdasarkan hal tersebut, penulis akan melakukan pengujian Radiasi Hambur pada *Phantom Thorax* di Laboratorium Radiologi Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, sebagai karya ilmiah yang berjudul "Evaluasi Radiasi Hambur pada *Phantom Thorax* dengan Teknik High kV". Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi tingkat radiasi hambur yang dihasilkan saat pemeriksaan radiografi thorax menggunakan teknik penyinaran dengan tegangan tinggi (high kV) pada phantom, serta menganalisis radiasi hambur terhadap lingkungan sekitar sebagai bagian dari upaya proteksi radiasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang dengan menggunakan pendekatan kuantitatif yang menerapkan desain penelitian eksperimental. Pendekatan ini dipilih untuk mengevaluasi secara terkontrol dan terukur besaran radiasi hambur yang dihasilkan selama prosedur pemeriksaan radiografi *thorax* dengan menggunakan teknik tegangan tinggi (*high kV*). Seluruh rangkaian kegiatan penelitian dilaksanakan di dalam lingkungan Laboratorium Radiologi Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, sebuah fasilitas yang memungkinkan pelaksanaan eksperimen radiasi secara aman dan terkendali. Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah *phantom thorax*, yaitu sebuah model anatomi yang dirancang untuk meniru struktur dan kepadatan jaringan dada manusia. Penggunaan *phantom* bertujuan untuk memastikan konsistensi dan standarisasi dalam setiap pengukuran, sehingga variabel-variabel yang tidak diinginkan dapat diminimalkan. Prosedur penelitian ini telah melalui proses kajian etik dan mendapatkan persetujuan dari komisi etik penelitian universitas dengan nomor surat No.4536/KEP-UNISA/VI/2025, yang memastikan bahwa seluruh protokol penelitian telah memenuhi standar keamanan dan kelayakan ilmiah.

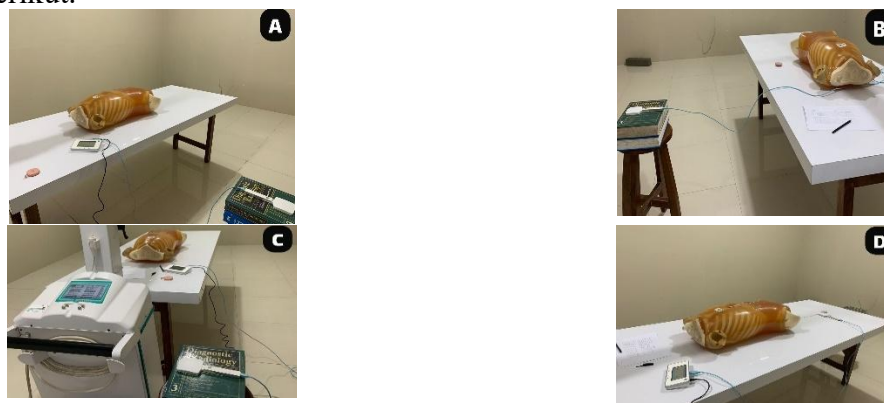
Prosedur eksperimental dalam penelitian ini dilakukan dengan serangkaian langkah yang sistematis. Pertama, *phantom thorax* diposisikan pada meja pemeriksaan seolah-olah sedang menjalani pemeriksaan radiografi *thorax* standar. Instrumen utama yang digunakan untuk mengukur tingkat radiasi hambur adalah *Raysafe surveymeter*, yang ditempatkan pada jarak dan sudut yang telah ditentukan dan dikonsistenkan di setiap pengukuran untuk menjamin validitas data. Proses inti dari penelitian ini adalah melakukan serangkaian penyinaran (*eksposi*) terhadap *phantom* dengan menggunakan lima variasi faktor eksposi yang berbeda. Kelima kombinasi faktor eksposi tersebut adalah: 70 kV dengan 25 mAs, 80 kV dengan 12,5 mAs, 90 kV dengan 6,30 mAs, 86 kV dengan 4 mAs, dan 65 kV dengan 16 mAs. Untuk setiap variasi faktor eksposi, dilakukan pengukuran radiasi hambur yang tercatat pada *surveymeter*. Proses pengukuran untuk setiap kombinasi faktor eksposi diulang beberapa kali untuk memastikan keandalan dan akurasi data yang dikumpulkan.

Setelah seluruh data pengukuran terkumpul, dilakukan serangkaian analisis statistik untuk mengolah dan menginterpretasikan hasil. Tahap pertama adalah uji prasyarat, di mana data diuji normalitasnya menggunakan uji Shapiro-Wilk. Uji ini bertujuan untuk memastikan bahwa sebaran data dari setiap kelompok pengukuran memenuhi asumsi distribusi normal sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Tahap kedua adalah analisis statistik deskriptif, yang digunakan untuk menyajikan ringkasan data, seperti menghitung nilai rata-rata, standar deviasi, serta nilai minimum dan maksimum dari radiasi hambur yang dihasilkan oleh masing-masing variasi faktor eksposi. Tahap terakhir adalah analisis bivariat, di mana peneliti menggunakan uji regresi untuk menganalisis hubungan antara variabel bebas (faktor eksposi kV dan mAs) dengan variabel terikat (radiasi hambur). Analisis ini bertujuan untuk menentukan seberapa besar pengaruh perubahan faktor eksposi terhadap tingkat radiasi hambur yang dihasilkan, sehingga dapat ditarik kesimpulan mengenai kombinasi faktor eksposi yang paling optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi paparan radiasi hambur yang dihasilkan pada *phantom thorax* dengan menggunakan teknik high kV pada *phantom thorax*. Pengukuran dilakukan dengan beberapa variasi tegangan tabung sinar-X menggunakan aturan 10 kV, yaitu 70 kV 25 mAs, 80 kV 12,5 mAs, 90 kV 6,30 mAs, 86 kV 4 mAs, dan 65 kV 16 mAs. Pengukuran radiasi dilakukan berulang sebanyak 3 kali menggunakan *surveymeter* di beberapa titik di sekitar *phantom thorax* masing-masing pada jarak 1 meter disamping kiri, kanan, atas dan bawah untuk melihat sebaran dan intensitas radiasi yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Titik Pengukuran Pada Radiasi Hambur Thorax: (A) Sisi Kanan, (B) Sisi Kiri, (C) Sisi Atas, (D) Sisi Bawah

Berdasarkan hasil pengukuran, data dilakukan uji normalitas sig. *Shapiro-wilk*, uji *descriptive statistic* dan analisis *bivariat* uji regresi hubungan faktor eksposi dengan nilai radiasi hambur.

Tabel 1. Hasil Uji Normalitas

Variabel	Sig. Shapiro-Wilk	Keterangan
kV	0.685	Normal
mAs	0.756	Normal

Berdasarkan tabel 1 hasil analisis uji normalitas data variasi kV dan mAS yang dihitung dengan uji *Shapiro-Wilk* diraih semua data yang dikumpulkan memiliki nilai signifikansi $>0,05$,

dengan artian bahwa data berdistribusi normal. Selanjutnya, data akan di uji dengan uji *descriptive statistic*.

Tabel 2. Karakteristik Faktor Eksposi

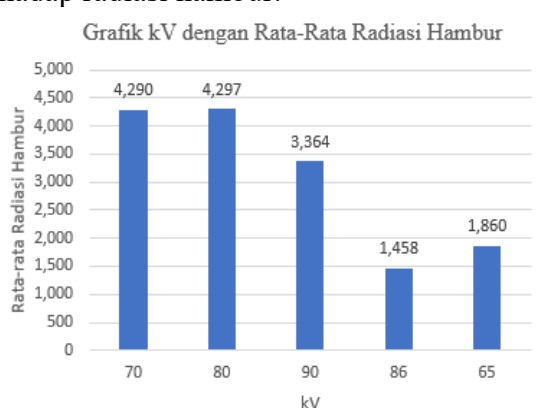
	kV	mAs	SID
	70	25	102
	80	12,5	102
	90	6,30	102
	86	4	102
	65	16	102
Nilai Min.	65	4,00	102
Nilai Max.	90	25,00	102

Berdasarkan tabel 2. Karakteristik faktor eksposi yaitu pada penggunaan kV dan mAs, 70 kV dan 25 mAs; 80 kV dan 12,5 mAs; 90 kV dan 6,30 mAs; 86 kV dan 4 mAs; 65 Kv dan 16 mAs dengan hasil nilai minimum 65 Kv dan 4,00 mAs, nilai maximum 90 kV dan 25,00 mAs. Sedangkan untuk SID rentang karakteristiknya sama yaitu 102 cm. Dari pengujian yang dilakukan diperoleh hasil output radiasi hambur yang diterima sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai Radiasi Hambur

kV	mAS	Kanan (mSv)	Kiri (mSv)	Atas (mSv)	Bawah (mSv)	Rata- rata (mSv)
70	25	3,954	4,185	3,863	5,158	4,290
80	12,5	3,917	4,278	3,721	5,272	4,297
90	6,3	3,068	3,307	2,850	4,229	3,364
86	4	1,327	1,392	1,299	1,883	1,458
65	16	1,727	1,810	1,632	2,271	1,860

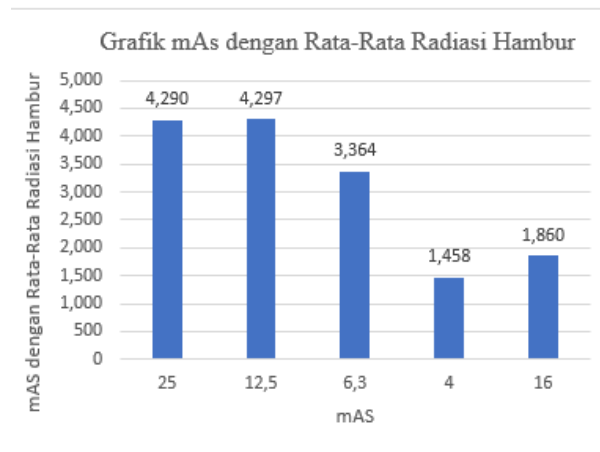
Berdasarkan tabel 3. dapat diperoleh nilai radiasi hambur dengan satuan ($\frac{\text{mSv}}{\text{h}}$), selanjutnya data tersebut kemudian diolah dalam bentuk grafik untuk mengetahui pengaruh variasi faktor eksposi terhadap radiasi hambur.



Gambar 2. Grafik kV dengan Rata-rata Radiasi Hambur

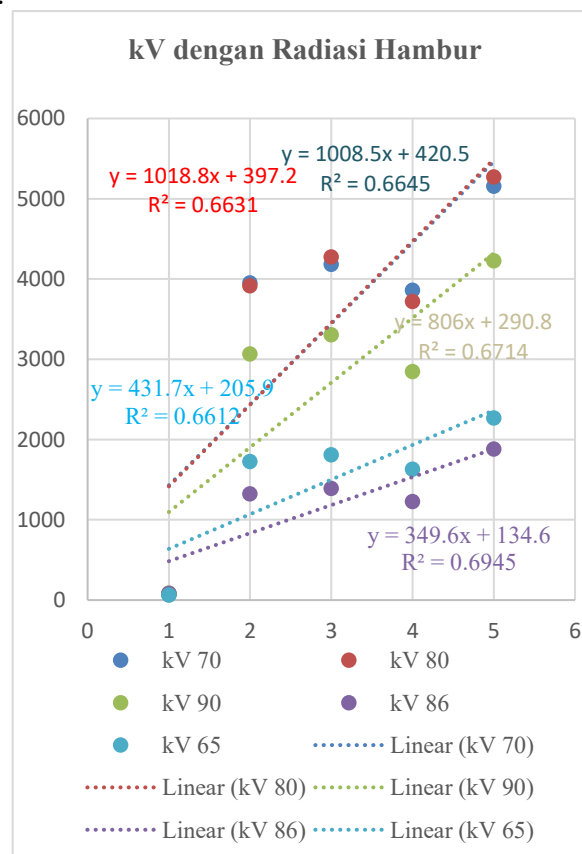
Berdasarkan gambar 2. Grafik kV dengan rata-rata radiasi hambur dari 4 sisi pengukuran kanan, kiri, atas dan bawah. Pada kV 70 diperoleh hasil rata-rata 4,290 mSv, kV 80 diperoleh hasil rata-rata 4,297 mSv, kV 90 diperoleh hasil rata-rata 3,364 mSv, kV 86 diperoleh hasil rata-rata 1,458 mSv, kV 65 diperoleh hasil rata-rata 1,860 mSv. Dapat dilihat

bahwa radiasi hambur yang paling tinggi pada kV 80 dan radiasi hambur paling rendah pada kV 86.



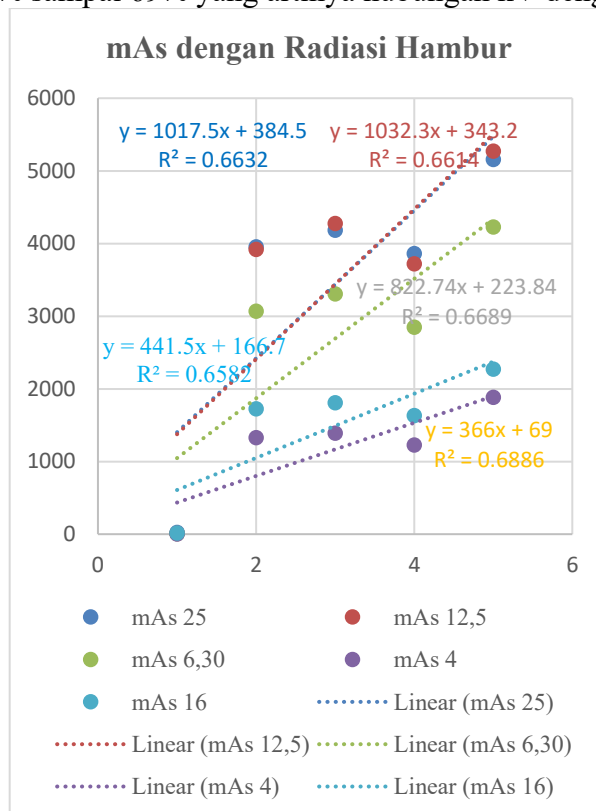
Gambar 3. Grafik mAs dengan Rata-Rata Radiasi Hambur

Berdasarkan gambar 3. Grafik mAs dengan rata-rata radiasi hambur dari 4 sisi pengukuran kanan, kiri, atas dan bawah. Pada 25 mAs diperoleh hasil rata-rata 4,290 mSv, 12,5 mAs diperoleh hasil rata-rata 4,297 mSv, 6,30 mAs diperoleh hasil rata-rata 3,364 mSv, 4 mAs diperoleh hasil rata-rata 1,458 mSv, dan 16 mAs diperoleh hasil rata-rata 1,860 mSv. Dapat dilihat bahwa radiasi hambur yang paling tinggi pada mAs 12,5 dan radiasi hambur paling rendah pada kV mAs 4.



Gambar 4. Grafik Persamaan Regresi kV dengan Radiasi Hambur

Berdasarkan gambar 4. Grafik Persamaan Regresi kV dengan Radiasi Hambur pada 4 posisi pengukuran, yaitu kanan, kiri, atas dan bawah *phantom thorax*. Pada grafik tersebut dapat dilihat nilai koefisien determinasi (R^2) keempat posisi bekisar antara 0,66- 0,69, yang menunjukkan sekitar 66% sampai 69% yang artinya hubungan kV dengan radiasi hambur kuat.



Gambar 5. Grafik Persamaan Regresi mAs terhadap Radiasi Hambur

Berdasarkan gambar 5. Grafik Persamaan regresi mAs dengan Radiasi Hambur pada 4 posisi pengukuran, yaitu kanan, kiri, atas dan bawah *phantom thorax*. Pada grafik tersebut dapat dilihat Pada grafik tersebut dapat dilihat nilai koefisien determinasi (R^2) keempat posisi bekisar antara 0,65- 0,68, yang menunjukkan sekitar 65% sampai 68% yang artinya hubungan mAs dengan radiasi hambur kuat.

Pembahasan

Pembahasan ini mengkaji secara mendalam hasil penelitian mengenai paparan radiasi hambur yang dihasilkan dari *phantom thorax* dengan penerapan teknik *high kV* berdasarkan aturan 10 kV. Temuan utama yang paling signifikan dari penelitian ini adalah hubungan yang non-linear antara faktor eksposi dan tingkat radiasi hambur. Secara spesifik, nilai radiasi hambur tertinggi (4,297 mSv) tidak terdeteksi pada pengaturan kilovoltase (kV) atau miliampere-detik (mAs) tertinggi, melainkan pada kombinasi intermediat 80 kV dan 12,5 mAs. Sebaliknya, nilai radiasi terendah (1,458 mSv) ditemukan pada 86 kV dan 4 mAs. Hasil ini menunjukkan bahwa asumsi sederhana—bahwa peningkatan kV secara otomatis akan selalu menghasilkan radiasi hambur yang lebih tinggi—tidak sepenuhnya akurat ketika mAs disesuaikan secara kompensatoris. Analisis regresi yang menunjukkan hubungan kuat antara kV dan mAs dengan radiasi hambur (R^2 berkisar 0,65-0,69) mengkonfirmasi bahwa kedua parameter ini adalah prediktor utama, namun interaksi kompleks di antara keduanya yang menentukan besaran akhir dari paparan radiasi hambur.

Secara fundamental, tegangan tabung (kV) menentukan energi kinetik elektron yang menumbuk target anoda, yang selanjutnya menentukan energi maksimum dan daya tembus (*penetrability*) dari foton sinar-X yang dihasilkan. Peningkatan kV akan meningkatkan energi rata-rata dari spektrum sinar-X, yang pada gilirannya meningkatkan probabilitas terjadinya interaksi Compton di dalam objek tebal seperti *phantom thorax*. Interaksi Compton merupakan sumber utama radiasi hambur dalam rentang energi diagnostik. Berdasarkan prinsip ini, secara teoretis diharapkan bahwa pengaturan 90 kV akan menghasilkan radiasi hambur paling banyak karena foton-fotonnya memiliki energi tertinggi. Temuan ini sejalan dengan pernyataan umum bahwa semakin besar tegangan yang digunakan, maka radiasi hambur yang dihasilkan cenderung meningkat (Sahara et al., 2018). Namun, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada 90 kV, radiasi hambur yang terukur (3,364 mSv) justru lebih rendah dibandingkan pada 80 kV. Hal ini mengindikasikan bahwa energi foton hanyalah salah satu dari beberapa faktor yang berinteraksi dalam produksi radiasi hambur (Amaliya et al., 2025; Peksi et al., 2021).

Di sisi lain, parameter mAs merupakan hasil perkalian antara arus tabung (mA) dan waktu eksposi (s), yang secara langsung merepresentasikan kuantitas atau jumlah total foton sinar-X yang dipancarkan dari tabung. Semakin tinggi nilai mAs, semakin besar jumlah foton yang diarahkan ke objek, sehingga secara logis akan meningkatkan jumlah total interaksi foton-materi, termasuk interaksi Compton. Dengan demikian, peningkatan kuantitas foton insiden akan menyebabkan peningkatan absolut pada jumlah foton yang dihamburkan. Berdasarkan logika ini, pengaturan 70 kV dan 25 mAs, yang memiliki nilai mAs tertinggi dalam penelitian ini, seharusnya berpotensi menghasilkan tingkat radiasi hambur yang sangat tinggi. Meskipun hasilnya memang tinggi (4,290 mSv), nilai tersebut sedikit lebih rendah dari yang dihasilkan pada pengaturan 80 kV dan 12,5 mAs. Fakta ini kembali menegaskan bahwa kuantitas foton, meskipun merupakan faktor yang sangat penting, tidak beroperasi secara terisolasi dalam menentukan besaran radiasi hambur yang dihasilkan di sekitar pasien atau *phantom* (Chen et al., 2021; Wang et al., 2018).

Temuan kunci penelitian ini terletak pada pemahaman interaksi antara energi foton (kV) dan kuantitas foton (mAs). Pengaturan 80 kV dan 12,5 mAs tampaknya merepresentasikan sebuah titik optimal untuk produksi radiasi hambur dalam konteks *phantom thorax*. Pada titik ini, energi foton yang dihasilkan oleh 80 kV cukup tinggi untuk secara efisien memicu interaksi Compton dalam jumlah besar, sementara kuantitas foton yang ditentukan oleh 12,5 mAs masih cukup substansial untuk menghasilkan volume hamburan yang maksimal. Sebaliknya, pada 90 kV, meskipun setiap foton memiliki probabilitas hamburan yang lebih tinggi, penurunan drastis kuantitas foton (hanya 6,3 mAs) secara signifikan membatasi jumlah total peristiwa hamburan yang dapat terjadi. Hal ini sejalan dengan praktik radiografi klinis di mana penggunaan *high kV* seringkali diimbangi dengan penurunan mAs untuk mengontrol dosis pasien, yang ternyata juga memodulasi produksi hamburan (Budiwati & Andriani, 2022).

Analisis terhadap nilai radiasi hambur terendah pada 86 kV dan 4 mAs semakin memperkuat kesimpulan mengenai interaksi kedua faktor eksposi. Meskipun 86 kV merupakan tingkat energi yang tinggi dan secara teoretis kondusif untuk hamburan Compton, nilai mAs yang sangat rendah (4 mAs) menjadi faktor pembatas yang dominan. Kuantitas foton yang dipancarkan pada pengaturan ini sangat terbatas, sehingga meskipun probabilitas hamburan per foton tinggi, jumlah absolut foton yang dihamburkan menjadi yang paling sedikit di antara semua variasi yang diuji. Fenomena ini mengilustrasikan bahwa dalam penerapan teknik *high kV-low mAs*, pengurangan jumlah foton dapat secara efektif menekan total radiasi hambur yang dihasilkan. Hal ini memiliki implikasi penting dalam optimisasi protokol radiografi, di mana pemilihan faktor eksposi harus menyeimbangkan antara kualitas gambar, dosis pasien, dan

paparan radiasi bagi personel di sekitarnya, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk kV, mAs, dan luas lapangan penyinaran (Artitin & Regina, 2024).

Implikasi dari temuan ini sangat relevan untuk praktik proteksi radiasi di lingkungan klinis. Penelitian ini menegaskan bahwa tingkat radiasi hambur di sekitar area pemeriksaan, bahkan pada jarak satu meter, dapat mencapai nilai yang signifikan dan tidak dapat diabaikan. Pemahaman bahwa hubungan antara faktor eksposi dan radiasi hambur bersifat kompleks dan tidak linear sangat penting bagi radiografer dan fisikawan medis. Kesadaran bahwa kombinasi kV dan mAs tertentu dapat menciptakan "puncak" produksi hamburan menuntut kewaspadaan ekstra dalam pemilihan protokol. Hasil ini memperkuat justifikasi untuk penerapan prinsip proteksi radiasi secara ketat, termasuk penggunaan alat pelindung diri seperti apron timbal, penggunaan tabir pelindung bergerak, dan penerapan prinsip jarak secara konsisten. Optimalisasi faktor eksposi tidak hanya bertujuan untuk mengurangi dosis radiasi yang diterima pasien, tetapi juga merupakan strategi kunci dalam meminimalisir paparan okupasional bagi para pekerja radiasi (Cewe et al., 2021; Williams et al., 2019).

Meskipun memberikan wawasan yang berharga, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, penggunaan *phantom* sebagai objek, meskipun memberikan standarisasi, tidak dapat sepenuhnya mereplikasi heterogenitas dan komposisi biologis tubuh manusia yang kompleks, yang dapat memengaruhi pola hamburan. Kedua, pengukuran radiasi hambur hanya dilakukan pada empat titik diskrit di sekitar *phantom*. Pemetaan radiasi yang lebih mendetail dengan jumlah titik pengukuran yang lebih banyak dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai distribusi spasial radiasi hambur. Ketiga, penelitian ini hanya menguji lima kombinasi spesifik dari kV dan mAs. Penelitian di masa depan dapat mengeksplorasi rentang faktor eksposi yang lebih luas dan lebih kontinu untuk memvalidasi dan memetakan "titik optimal" produksi hamburan dengan lebih presisi. Selain itu, investigasi lebih lanjut mengenai pengaruh ukuran lapangan penyinaran (*collimation*) pada setiap kombinasi kV-mAs akan memberikan pemahaman yang lebih holistik mengenai faktor-faktor yang memodulasi radiasi hambur.

KESIMPULAN

Penelitian ini secara meyakinkan mengungkapkan bahwa hubungan antara faktor eksposi (kV dan mAs) dengan tingkat radiasi hambur bersifat kompleks dan non-linear, menentang asumsi sederhana bahwa peningkatan energi akan selalu menghasilkan hamburan yang lebih tinggi. Temuan utama menunjukkan bahwa nilai radiasi hambur tertinggi (4,297 mSv) tidak terdeteksi pada pengaturan kilovoltase atau mAs tertinggi, melainkan pada kombinasi intermediet 80 kV dan 12,5 mAs. Sebaliknya, nilai terendah (1,458 mSv) ditemukan pada 86 kV dengan mAs yang sangat rendah. Hasil ini membuktikan bahwa meskipun kV dan mAs adalah prediktor utama radiasi hambur, interaksi kompleks di antara keduanya yang menentukan besaran akhir paparan. Asumsi bahwa peningkatan kV secara otomatis akan selalu menghasilkan radiasi hambur yang lebih tinggi tidak sepenuhnya akurat ketika mAs disesuaikan secara kompensatoris.

Keunikan temuan ini terletak pada interaksi antara energi foton yang ditentukan oleh kV dan kuantitas foton yang ditentukan oleh mAs. Titik puncak hamburan pada 80 kV dan 12,5 mAs merepresentasikan sebuah "titik optimal" di mana energi foton cukup tinggi untuk memicu interaksi Compton secara efisien, sementara kuantitas fotonnya cukup substansial untuk menghasilkan volume hamburan yang maksimal. Di sisi lain, pada pengaturan 90 kV, meskipun energi per foton lebih tinggi, penurunan drastis kuantitas foton secara signifikan membatasi jumlah total peristiwa hamburan yang dapat terjadi. Fenomena ini menggarisbawahi bahwa dalam penerapan teknik high kV-low mAs, pengurangan jumlah foton dapat secara efektif

menekan total radiasi hambur yang dihasilkan, menjadi faktor pembatas yang lebih dominan daripada energi foton itu sendiri.

Implikasi dari temuan ini sangat relevan untuk praktik proteksi radiasi di lingkungan klinis, menegaskan bahwa tingkat radiasi hambur di sekitar area pemeriksaan tidak dapat diabaikan. Pemahaman bahwa kombinasi kV dan mAs tertentu dapat menciptakan "puncak" produksi hamburan menuntut kewaspadaan ekstra dari para radiografer dalam pemilihan protokol dan memperkuat justifikasi untuk penerapan prinsip proteksi radiasi secara ketat, termasuk penggunaan alat pelindung diri dan penerapan prinsip jarak. Meskipun penelitian ini memberikan wawasan berharga, keterbatasannya seperti penggunaan phantom dan jumlah titik ukur yang terbatas membuka ruang untuk penelitian di masa depan. Disarankan untuk melakukan studi dengan rentang faktor eksposi yang lebih luas dan pemetaan radiasi yang lebih mendetail untuk memvalidasi dan menyempurnakan pemahaman tentang fenomena kompleks ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amaliya, S. F., et al. (2025). Sistematik review perbandingan antara MRI dan PET/CT dalam mendeteksi metastasis kelenjar getah bening pada kanker serviks. *HEALTHY Jurnal Inovasi Riset Ilmu Kesehatan*, 4(2), 121. <https://doi.org/10.51878/healthy.v4i2.5873>
- Anggarini, R., et al. (2019). Analisis sebaran radiasi hambur di sekitar pesawat sinar-X pada pemeriksaan tomografi ginjal. *Jurnal Ilmiah Giga*, 17(2), 63. <https://doi.org/10.47313/jig.v17i2.540>
- Anugrah, A. N., & Fuadi, N. (2018). Pengukuran entrance skin exposure dan laju paparan radiasi hambur pada pemeriksaan kepala dengan metode tegangan tinggi di Rumah Sakit Bhayangkara Makassar. *JFT*, 5(1), 62–71.
- Artitin, C., & Regina, N. (2024). Tiroid pada pemeriksaan shoulder joint. 7(1), 1–5.
- Budiwati, T., & Andriani, I. (2022). Utilization of high kV lumbar examination technique in determination of entrance surface dose (ESD), 13(1), 407–411.
- Cewe, P., et al. (2021). Radiation distribution in a hybrid operating room, utilizing different X-ray imaging systems: Investigations to minimize occupational exposure. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, 14(11), 1139. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2021-018220>
- Chen, L., et al. (2021). Variation in tube voltage for pediatric neck 64VCT: Effect on radiation dose and image quality. *PLoS ONE*, 16(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259772>
- Fitriani, Z. (2021). Jurnal fisika dan terapannya. *Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 7, 139–148. <https://doi.org/10.24252/jft.v7i2.18267>
- Lampignano, J. P., & Kendrick, L. E. (2018). *Textbook of radiographic positioning and related anatomy* (9th ed.). Elsevier.
- Peiro, A., et al. (2021). Evaluation of entrance surface dose and scattered dose to the pelvis for common radiological examinations in analog and digital radiography: A phantom study. *International Journal of Radiation Research*, 19(4), 937–945. <https://doi.org/10.52547/ijrr.19.4.21>
- Peksi, N. J., et al. (2021). Classification of anemia with digital images of nails and palms using the naive bayes method. *Telematika*, 18(1), 118. <https://doi.org/10.31315/telematika.v18i1.4587>
- Ramantisan, S., et al. (2022). Pengaruh teknik kV tinggi pada pemeriksaan radiografi thorak terhadap entrance surface air kerma dan dose area product yang diterima oleh pasien
- Copyright (c) 2025 KNOWLEDGE : Jurnal Inovasi Hasil Penelitian dan Pengembangan

- di RSUP Dr. Kariadi Semarang. *Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir*, 2(2), 37–41. <https://doi.org/10.53862/jupeten.v2i2.007>
- Sahara, A., & Zelfiani, S. (2018). Pengukuran laju dosis paparan radiasi hambur pada ruang Computer Tomography (CT) scan di Rumah Sakit Bhayangkara Makassar. *Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 5(2), 159–163.
- Santoso, B., et al. (2014). Analisis optimasi citra radiografi pada pemeriksaan thorax sistem computed radiography (CR) terhadap entrance surface dose (ESD). *Jurnal Ilmiah GIGA*, 17(1), 1–8.
- Suyudi, I., et al. (2022). Analisa perbandingan radiograf pada pemeriksaan thoraks dengan menggunakan teknik kv standar dan teknik kv tinggi di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Muhammadiyah Bandung tahun 2022. *My Campaign Journal*, 3(3), 96–102.
- Wang, Y., et al. (2018). [P060] The effect of technical parameters in practice on abdominal and computed tomography (CT) dose. *Physica Medica*, 52, 117. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2018.06.383>
- Williams, M. C., et al. (2019). Using radiation safely in cardiology: What imagers need to know. *Heart*, 105(10), 798. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2017-312493>