

Estimasi Dosis Radiasi Sinar-X Terhadap Efek Herediter Pada Radiografi Konvensional

¹Sylvia Ariska Susanti, ²Gusti Ngurah Sutapa, ³Maghfirottul Iffah

^{1,2,3}Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

Email Korespondensi: sylviaariska29@gmail.com

Article Info	Abstract
<p>Article History Received: 28 August 2022 Revised: 17 Dec 2022 Published: 30 Dec 2022</p> <p>Keywords Absorbed dose, hereditary effects, organs, cells, voltage</p>	<p>Estimation of X-Ray Radiation Dosage Against Hereditary Effects in Conventional Radiography. A study has been carried out on the estimation of X-ray dose on hereditary effects on conventional radiography. The research was conducted at the Bali Academy of Radiodiagnostic and Radiotherapy Engineering using a Raysafe X-Ray Multimeter. Secondary data was obtained in the form of results of checking the output voltage (kV), exposure time (ms) and exposure (mGy). The data obtained are then grouped according to the voltage used. The data is used to calculate the Entrance Surface Dose (ESD) value, which is then used to find the value of the Hereditary effect on the examination of each organ. In this study, the lowest ESD value was found at the use of a voltage of 40 kV, namely 0.3737 mGy, while the highest ESD value was at the use of a voltage of 80 kV, which was 0.7328 mGy. Based on the calculation of hereditary effects for generation I has the highest probability compared to generation II, this is very dependent on the ability of cells after exposure to radiation. Cells in general can make natural repairs. The longer the time after exposure to radiation, the more cells have the opportunity to repair the effects of radiation. So the probability of the risk of hereditary effects in generation II will be smaller.</p>
Informasi Artikel	Abstrak
<p>Sejarah Artikel Diterima: 28 Agustus 2022 Direvisi: 17 Des 2022 Dipublikasi: 30 Des 2022</p> <p>Kata kunci Dosis serap, efek herediter, organ, sel, tegangan</p>	<p>Telah dilakukan penelitian tentang estimasi dosis sinar-X terhadap efek herediter pada radiografi konvensional. Penelitian dilakukan di Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali dengan menggunakan Multimeter Sinar-X Raysafe. Diperoleh data sekunder berupa hasil pemeriksaan output voltage (kV), eksposure time (ms) dan eksposure (mGy). Data yang diperoleh kemudian dikelompokkan sesuai tegangan yang digunakan. Data tersebut digunakan untuk menghitung nilai Entrance Surface Dose (ESD) yang selanjutnya nilai ESD ini digunakan untuk mencari nilai efek Herediter terhadap pemeriksaan setiap organ. Pada penelitian ini diperoleh nilai ESD terendah berada pada penggunaan tegangan 40 kV yaitu 0,3737 mGy, sedangkan nilai ESD tertinggi berada pada penggunaan tegangan 80 kV yaitu 0,7328 mGy. Berdasarkan perhitungan efek herediter untuk generasi I memiliki probabilitas tertinggi dibandingkan dengan generasi II, ini sangat tergantung dengan kemampuan sel setelah terpapar radiasi. Sel secara umum dapat melakukan perbaikan secara alamiah. Semakin lama waktu setelah terpapar radiasi maka sel semakin banyak memiliki kesempatan untuk memperbaiki akibat radiasi. Sehingga probabilitas risiko efek herediter pada generasi II akan semakin kecil .</p>
<p>Sitasi: Susanti. S. A., Sutapa, G. N., & Iffah, M. (2022), Estimasi Dosis Radiasi Sinar-X Terhadap Efek Herediter Pada Radiografi Konvensional, <i>Kappa Journal</i>. 6(2), 312-324.</p>	

PENDAHULUAN

Radiologi adalah cabang ilmu kedokteran yang berhubungan dengan penggunaan modalitas menggunakan radiasi untuk mendiagnosis dan prosedur terapi, termasuk teknik pencitraan, penggunaan radiasi dengan sinar-X serta zat radioaktif (BAPETEN 2020). Radiografi konvensional sering dilakukan di rumah sakit. Radiografi konvensional merupakan pemeriksaan yang menggunakan pesawat konvensional yang terpasang secara tetap maupun secara mobile didalam ruangan yang digunakan untuk pemeriksaan umum secara rutin tentunya sumber radiasi yang digunakan untuk pemeriksaan ini adalah sinar-X (Gustia, 2021).

Keunggulan sinar-X sebagai teknologi pencitraan tubuh tanpa melakukan pembedahan serta memberikan gambaran anatomis, secara detail merupakan pemanfaatan sinar-X dan pengembangannya terus dilakukan. Radiologi diagnostik merupakan praktik pemanfaatan radiasi sinar-X yang paling umum dan telah terjadi peningkatan substansial dalam jumlah pemeriksaan (Bushong, 2012).

Berdasarkan prinsip pembentukan radiografi tersebut memungkinkan adanya penerimaan paparan radiasi pada objek yang dilalui dalam hal ini adalah tubuh manusia. Faktor yang mempengaruhi kualitas radiograf adalah faktor eksposi yang terdiri dari tegangan tabung (kV), arus tabung (mA), dan waktu paparan (s). Sehingga faktor eksposi juga dapat mempengaruhi timbulnya efek radiasi (Sparzinanda, 2017).

Efek stokastik merupakan efek radiasi yang memiliki peluang seiring dengan paparan radiasi yang mengenai organ biologi. Efek stokastik ini tidak memiliki ambang dosis tertentu. Contoh efek stokastik yaitu kanker, leukemia, dan lainnya. Efek non stokastik disebut juga efek pasti karena tidak mengikuti fungsi probabilitas. Efek ini terjadi apabila telah terlampaui ambang dosis tertentu. Akan tetapi efek ini langsung terjadi begitu dosis ambang terlampaui. Sebagai contoh yaitu adanya kemandulan (sterilisasi), luka bakar (eritema), katarak dan kematian janin (teratogenetik) (Masrochah, 2016).

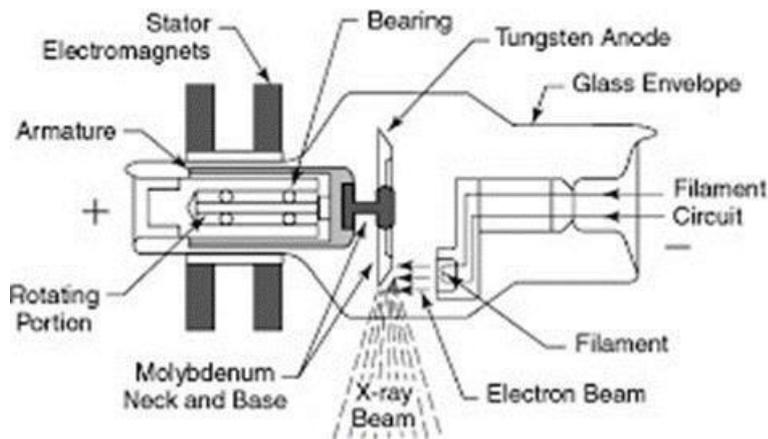
Berdasarkan studi pendahuluan, Laboratorium ATRO Bali memiliki pesawat sinar- X yang digunakan untuk kebutuhan praktikum mahasiswa. Sejauh ini pemanfaatan tersebut tidak pernah dihitung berapakah terimaan dosis radiasi sebagai akibat penggunaan sinar-X dengan berbagai radiasi faktor ekposi. Serta efek herediter yang dapat terjadi akibat pemanfaatan radiasi sinar-X di laboratorium ATRO Bali. Kerusakan yang terjadi dapat diperbaiki tanpa kesalahan sehingga struktur DNA kembali seperti semula dan tidak menimbulkan perubahan fungsi pada sel. Tetapi dalam kondisi tertentu, proses perbaikan tidak berjalan sebagaimana mestinya sehingga walaupun kerusakan dapat diperbaiki tetapi tidak secara tepat atau sempurna sehingga menghasilkan DNA dengan struktur yang berbeda, yang dikenal dengan mutasi (Zubaidah, 2006).

Penilaian dosis pasien pada pemeriksaan radiografi umum dapat dinyatakan dalam Entrance Surface Dose (ESD). Pengukuran ESD tak langsung dinilai menjadi metode yang paling memungkinkan secara teknis. Metode pengukuran ESD tak langsung dapat dilakukan dengan pendekatan yang didasarkan pada luaran output (tube output) dari masing-masing alat. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi sebagai profil dosis pasien yang menjalani pemeriksaan radiografi umum dengan metode pengukuran tube output (Suliman, 2020).

1. Sinar-X

Sinar-X ditemukan oleh Wilhelm Conrad Rontgen seorang berkebangsaan Jerman pada tahun 1895. Penemuannya 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. Pembangkit sinar- X berupa tabung hampa udara yang di dalamnya terdapat filament 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 lenting sempurna antara elektron dengan anoda, akibatnya terjadi pancaran radiasi sinar-X. Tabung sinar-X ditunjukkan pada Gambar 1 (Lestari, 2017).



Gambar 1. Tabung Pesawat Sinar-X

2. Proses Terjadinya Sinar-X

Katoda (filamen) dipanaskan hingga menyala dengan mengalirkan listrik yang berasal dari transformator sehingga elektron- elektron dari katoda (filamen) terlepas sewaktu dihubungkan dengan transformator tegangan besar, elektron- elektron hendak dipercepat gerakannya mengarah anoda serta dipusatkan ke perlengkapan pemusat (focusing cup). Filamen terbuat relatif negatif terhadap target (sasaran) dengan memilah potensial besar, awan- awan elektron tiba- tiba dihentikan pada target (sasaran) sehingga tercipta panas (99%) serta sinar- X (1%). Pelindung timah hendak menghindarikeluarnya sinar- X dari tabung, sehingga sinar- X yang terbentuk hanya dapat keluar melalui jendela. Panas yang besar pada target akibat benturan elektron ditiadakan oleh radiator pendingin. Jumlah sinar- X yang dilepaskan setiap satuan waktu dapat dilihat pada alat pengukur miliampere (mA), sedangkan jangka waktu pemotretan dikendalikan oleh alat pengukur waktu (Boddy, 2013).

3. Pesawat Sinar-X

Pesawat sinar-X atau pesawat Rontgen adalah suatu alat yang digunakan untuk melakukan diagnosa medis dengan menggunakan sinar-X. Sinar-X yang dipancarkan dari tabung diarahkan pada bagian tubuh yang akan didiagnose. Berkas sinar-X tersebut akan menembus bagian tubuh dan akan ditangkap oleh film, sehingga akan terbentuk gambar dari bagian tubuh yang disinari. Sebelum pengoperasian pesawat sinar-X perlu dilakukan setting parameter untuk mendapatkan sinar-X yang dikehendaki. Parameter- parameter tersebut adalah tegangan (kV), arus tabung (mA) dan waktu paparan (s).

Pesawat sinar-X terdiri dari sistem dan subsistem sinar-X atau komponen. Sistem sinar-X adalah seperangkat komponen untuk menghasilkan radiasi dengan cara. terkendali. Sedangkan subsistem berarti setiap kombinasi dari dua atau lebih komponen sistem sinar-X. Sinar-X diagnostik yang lengkap terdiri dari sekurang-kurangnya generator tegangan tinggi, panel kontrol, tabung sinar-X, alat pembatas berkas, dan peralatan penunjang lainnya (Adnyana, 2014). Pesawat sinar-X ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Pesawat Sinar-X (ATRO Nusantara Jakarta, 2014)

4. Tingkat Panduan Dosis

Berdasarkan peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 8 Tahun 2011 tentang keselamatan radiasi dalam penggunaan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional disebutkan tingkat panduan paparan medik sebagaimana dimaksud dalam pasal 36 ayat 2 dijelaskan bahwa penerapan optimasi proteksi dan keselamatan radiasi harus diupayakan agar pasien menerima dosis radiasi serendah mungkin sesuai dengan yang diperlukan agar mencapai tujuan diagnostik. Dalam pasal 40 menerapkan panduan paparan medik sebagaimana dimaksud dalam pasal 36 ayat (3) huruf b diterapkan untuk radiografi dan flurosopi. Pasal 40 ayat 1 tingkat panduan medik yang dimaksud pada ayat 1 dapat dilampaui apabila ada justifikasi berdasarkan 7 kebutuhan klinis. Tingkat panduan paparan medik tersebut diukur pada pasien dewasa dengan nilai dosis yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkat panduan dosis radiografi diagnostik untuk setiap pasien dewasa (Perka BAPETEN No.8 Tahun 2011)

No.	Jenis Pemeriksaan	Posisi Pemeriksaan	Dosis Permukaan Masuk per Radiografi (mGy)
1	Lumbal tulang belakang (<i>lumbal spine</i>)	AP	10
		LAT	30
		LSJ	40
2	Organ ginjal, empedu (<i>abdomen, intravenous urography</i> dan <i>cholecystography</i>)	AP	10
3	(<i>Pelvis</i>)	AP	10
4	Sendi Panggul (<i>hip joint</i>)	AP	10
5	Paru (<i>chest</i>)	PA	0,4
		LAT	1,5

5. Proteksi Radiasi

Proteksi radiasi merupakan tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi (Bapeten, 2011). Tujuan proteksi radiasi adalah mencegah

terjadinya efek non stokastik yang membahayakan dan mengurangi frekuensi terjadinya efek stokastik ke tingkat yang cukup dan masih dapat diterima oleh setiap anggota masyarakat. Untuk mencapai tujuan proteksi radiasi, yaitu terciptanya keselamatan dan kesehatan bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan, maka dalam proteksi radiasi dikenalkan tiga asas proteksi radiasi (Akhadi, 2000), yaitu

- a) Justifikasi: Asas ini menghendaki agar setiap kegiatan yang dapat mengakibatkan paparan radiasi hanya boleh dilaksanakan setelah dilakukan pengkajian yang cukup mendalam dan diketahui bahwa manfaat dari kegiatan cukup besar dibandingkan dengan kerugian yang dapat ditimbulkan.
- b) Optimisasi (ALARA): Asas ini menghendaki agar paparan radiasi yang berasal dari suatu kegiatan harus ditekan serendah mungkin dengan mempertimbangkan faktor ekonomi dan sosial. Asas ini juga dikenal dengan sebutan ALARA atau As Low As Reasonably Achievable. Dalam kaitannya dengan penyusunan program proteksi radiasi, asas optimisasi mengandung pengertian bahwa setiap komponen dalam program telah dipertimbangkan secara seksama, termasuk besarnya biaya yang dapat dijangkau. Suatu program proteksi dikatakan memenuhi asas optimisasi apabila semua komponen dalam program tersebut disusun dan direncanakan sebaik mungkin dengan memperhitungkan biaya yang dapat dipertanggungjawabkan secara ekonomi.
- c) Limitasi: Asas ini menghendaki agar dosis radiasi yang diterima oleh seseorang dalam menjalankan suatu kegiatan tidak boleh melebihi nilai batas yang telah ditetapkan oleh instansi yang berwenang. Dengan menggunakan program proteksi radiasi yang disusun secara baik, maka semua kegiatan yang mengandung resiko paparan radiasi cukup tinggi dapat ditangani sedemikian rupa sehingga nilai batas yang ditetapkan tidak akan terlampaui.

6. Alat Ukur Radiasi

Alat ukur radiasi adalah alat yang mampu mengukur kuantitas radiasi baik secara langsung maupun tidak langsung. Alat ukur radiasi merupakan suatu sistem yang terdiri dari detektor dan rangkaian elektrometer. Detektor adalah bagian elektronik yang memproses serta mengubah tanggapan detektor menjadi besaran fisika (Andreas, Nainggolan, 2010).

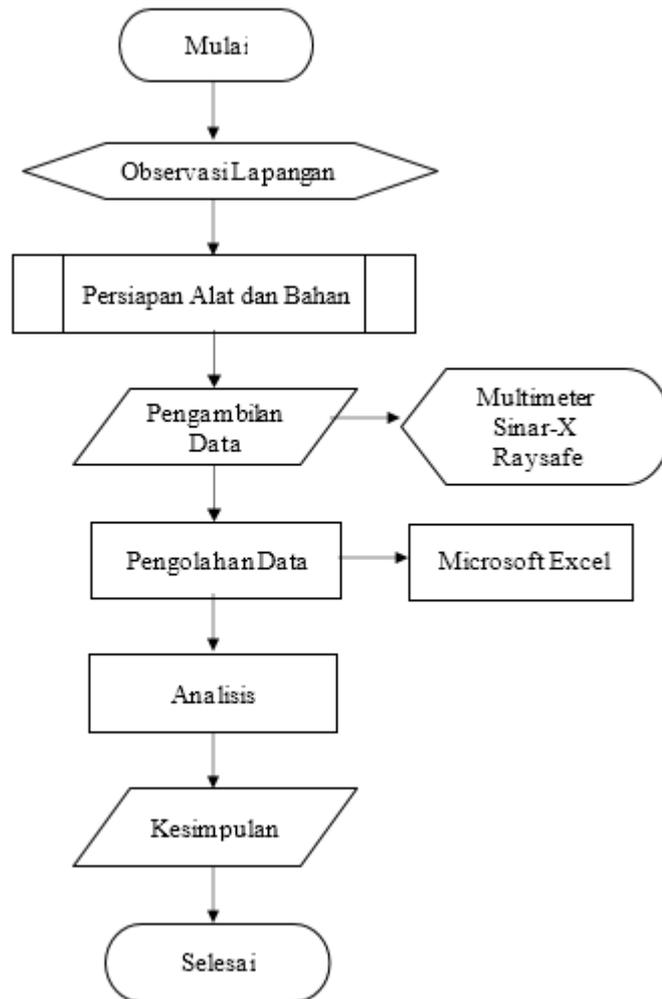
Detektor raysafe adalah suatu detektor yang digunakan untuk mengukur semua parameter yang diperlukan seperti kVp, waktu pemamparan, dosis HVL, total filtrasi, dosis atau pulsa, laju dosis, mAs, dll. Detektor raysafe memiliki prinsip kerja yakni mengubah energi radiasi menjadi bentuk respon yang diukur (RTI Electronics AB, 2001- 2003).



Gambar 3. Multimeter Sinar-X Raysafe (Sumber: flukebiomedical.com)

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi (ATRO) Bali yang berlokasi di Jalan Tukad Batanghari VII No.21, Dauh Puri Klod, Kecamatan Denpasar Barat, Kota Denpasar, Bali. Untuk diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alur Penelitian

Perhitungan *Entrance Surface Dose* (ESD) yang dilakukan di Laboratorium diagnostik ATRO Bali menggunakan Multimeter Sinar-X Raysafe. Dari Multimeter sinar-X raysafe dihasilkan nilai output pesawat sinar-X, dengan satuan mGy diubah ke μGy . Setelah didapatkan nilai output pesawat dengan satuan μGy , selanjutnya nilai output pesawat dibagi dengan mAs yang digunakan dalam penelitian. Nilai output/ mAs , nilai tersebut selanjutnya dibuat grafik linieritas antara ESD dengan tegangan dan diperoleh nilai y dari grafik tersebut. Nilai y menunjukkan persamaan yaitu $y = ax^b$ yang mana a adalah variable konstanta dan x adalah nilai tegangan (kV) dan b adalah koefisien arah regresi linier. Selanjutnya nilai regresi linier tersebut dimasukkan kedalam persamaan *Probabilitas Efek Hereditas*. Jika nilai ESD setiap pemeriksaan sudah didapatkan, maka selanjutnya nilai ESD dimasukkan ke persamaan $|X_1 - X_2| \leq 0,1(X_1 + X_2)$ untuk menghitung Efek Hereditas.

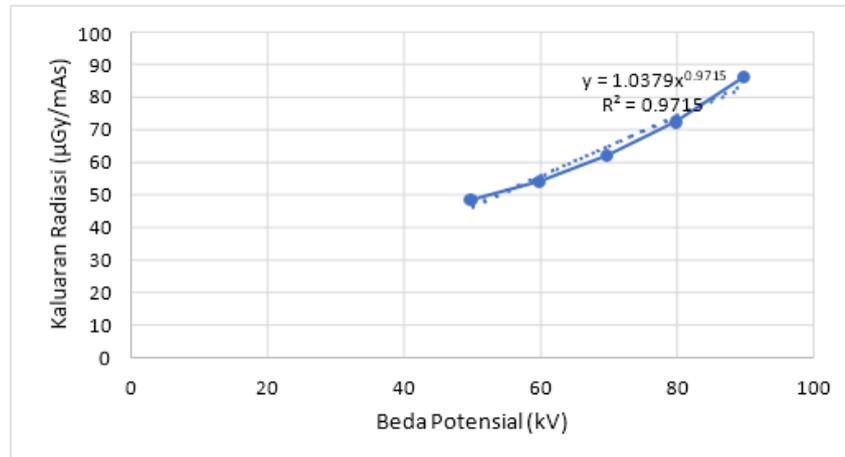
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

1.1 Entrance Surface Dose (ESD)

Hasil pengukuran rata-rata antara keluaran radiasi diperlukan untuk mengestimasi nilai ESD. Fungsi Output Tube Voltage (kV) dapat digunakan membuat grafik linier antara keluaran

radiasi ($\mu\text{Gy}/\text{mAs}$) dan kV. Hasil penelitian ini, dipilih persamaan trendline power karena paparan radiasi pada sinar-X diagnostik itu proporsional dengan kuadrat dari nilai kV. Pada Gambar 4.1 pengukuran keluaran radiasi $38,26 \mu\text{Gy}/\text{mAs}$ dengan beda potensial 50 kV, keluaran radiasi $53,89 \mu\text{Gy}/\text{mAs}$ dengan beda potensial 60 kV, keluaran radiasi $71,85 \mu\text{Gy}/\text{mAs}$ dengan beda potensial 70 kV, keluaran radiasi $89,18 \mu\text{Gy}/\text{mAs}$ dengan beda potensial 80 kV, keluaran radiasi $107,9$ dengan beda potensial 90 kV seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh ESD terhadap tegangan yang diukur dengan Multimeter Sinar X Raysafe dengan $\text{mAs}=10$

Gambar 5 menunjukkan bahwa pengaruh keluaran radiasi ($\mu\text{Gy}/\text{mAs}$) terhadap tegangan tabung (Kv) dapat ditentukan dari persamaan bilangan variabel berpangkat $y=1,0379x^{0,9715}(\mu\text{Gy}/\text{mAs})$, dengan x adalah tegangan tabung (kV) dan y adalah rumus regresi linier. Kemudian, nilai untuk pemeriksaan Skull AP dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan regresi linier tersebut. Sebagai contoh perhitungan untuk 10 mAs, 60 Kv dan FSD 100 cm. Untuk nilai ESD untuk pemeriksaan Skull AP diperoleh sebesar $0,0005541 \text{ Gy}$. Perhitungan yang lain dapat dilihat pada Lampiran II. Hasil perhitungan selengkapnya ESD pada variasi tegangan tabung (Kv) dan 10 mAs seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan ESD

No.	Pemeriksaan	Kv	mAs	ESD (mGy)
1	Skull AP (Kepala)	60	10	0,5542
2	Skull Lateral (Kepala Samping)	58	10	0,5362
3	Water's (Lubang Sinus)	66	10	0,6079
4	Nasal (Soft Tissue) Hidung	50	10	0,4642
5	Mastoid (Telinga)	58	10	0,5362
6	Cervical AP (Leher)	44	10	0,4100
7	Cervical Lateral (Leher Samping)	54	10	0,5002
8	Cervical AP + (Leher Gemuk)	55	10	0,5092
9	Cervical Lateral + (Leher Samping Gemuk)	60	10	0,5541
10	Thoracumbal AP (Tulang Belakang bagian dada)	70	10	0,6436
11	Thoracumbal Lateral (Tulang belakang bagian dada samping)	80	10	0,7328

12	Lumbosacral AP (Tulang belakang bagian perut)	70	10	0,6436
13	Lumbosacral Lateral (Tulang belakang bagian perut samping)	80	10	0,7328
14	Thorax AP (Dada)	56	10	0,5182
15	Thorax PA +	56	10	0,5182
16	Thorax Lateral	70	10	0,6436
17	Thorax Bayi 1 Th	40	10	0,3737
18	Thorax Anak	48	10	0,4461
19	BOF/BNO (Perut)	70	10	0,6436
20	BOF Lateral (Perut Samping)	80	10	0,7328
21	BOF Anak	54	10	0,5002
22	Pelvis (Pinggul)	70	10	0,6436
23	Shoulder (Bahu)	56	10	0,5182
24	Humerus (Lengan atas)	50	10	0,4642
25	Antebrachi (Lengan bawah)	44	10	0,4100
26	Cubiti/Elbow (Siku)	46	10	0,4280
27	Wrist Joint (Pergelangan Tangan)	44	10	0,4100
28	Manus AP/Obliq (Telapak tangan)	44	10	0,4100
29	Femur (Paha)	56	10	0,5182
30	Genu (Lutut)	50	10	0,4642
31	Cruris (Betis)	46	10	0,4280
32	Ankle (Pergelangan kaki)	44	10	0,4100
33	Pedis (Telapak kaki)	44	10	0,4100

Dengan memperoleh nilai ESD seperti Tabel 4.2, dari hasil perhitungan menunjukkan nilai ESD pada tegangan 40 kV dengan mAs 10 dengan nilai terkecil yaitu 0,3737 mGy, sedangkan nilai ESD dengan tegangan 80 kV dengan 10 mAs didapatkan nilai terbesar 0,7328 mGy. Walaupun nilai dosis yang diterima pasien relatif rendah, namun nilai dalam satu jenis pemeriksaan cukup tinggi. Sehingga, metode pengukuran tak langsung yang digunakan dalam menentukan nilai ESD dapat menjadi salah satu alternatif penyelesaian permasalahan di lapangan.

4.1.2 Efek Herediter

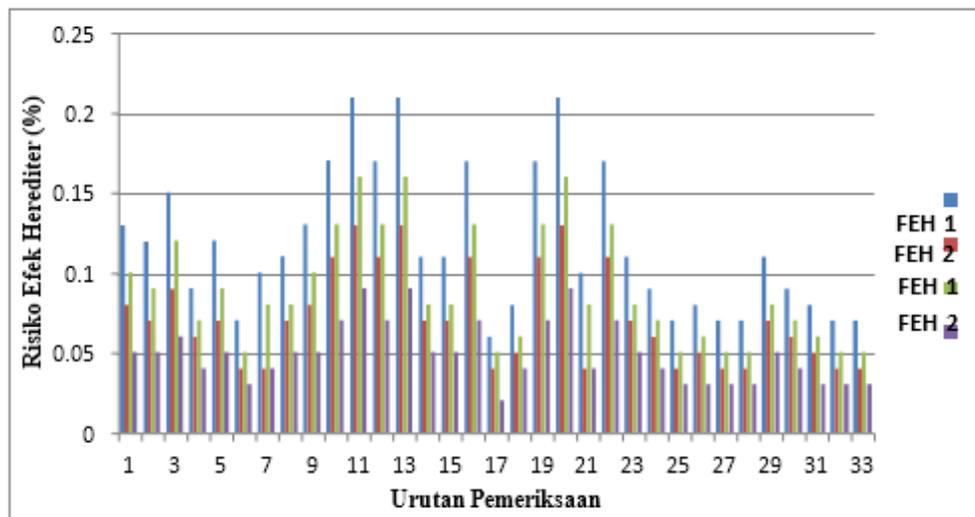
Efek herediter pada penelitian ini diperoleh dari perhitungan nilai ESD yang selanjutnya dibandingkan dengan referensi (Zubaidah, 2006). Efek Pewarisan Akibat Radiasi Pengion untuk Generasi I sebesar 0,41-0,64% dan Generasi II sebesar 0,53- 0,91%. Sebagai contoh diperlihatkan perhitungan generasi I probabilitas efek herediter 1 (*PEH1* dan *PEH2*) dan generasi II probabilitas efek herediter 2 (*PEH1* dan *PEH2*), berdasarkan hasil ESD. Hasil ESD satuan mGy diubah terlebih dahulu ke Gy dimana nilai PEH G1 0,41%; PEH G1 0,64%; PEH G2 0,53%; PEH G2 0,91% dapat diambil dari Tabel 2.5. Untuk hasil nilai probabilitas efek herediter generasi I dan generasi II untuk total risiko $0,41\%=0,13\%$; $0,64\%=0,08\%$; $0,53\%=0,10\%$; $0,91\%=0,06\%$.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Faktor Risiko Efek Herediter

No.	Pemeriksaan	kV	mAs	ESD (mGy)	Risiko Efek Herediter			
					Generasi Pertama (%)		Generasi Kedua (%)	
					PEH_1	PEH_2	PEH_1	PEH_2
1	Skull AP	60	10	0,5541	0,13	0,08	0,10	0,06
2	Skull Lateral	58	10	0,5362	0,13	0,08	0,10	0,05
3	Water's	66	10	0,6079	0,14	0,09	0,11	0,06
4	Nasal (Soft Tissue)	50	10	0,4642	0,11	0,07	0,08	0,05
5	Mastoid	58	10	0,5362	0,13	0,08	0,10	0,05
6	Cervical AP	44	10	0,4100	0,1	0,06	0,07	0,04
7	Cervical Lateral	54	10	0,5002	0,12	0,07	0,09	0,05
8	Cervical AP+	55	10	0,5092	0,12	0,07	0,09	0,05
9	Cervical Lateral+	60	10	0,5541	0,13	0,08	0,10	0,06
10	Thoracumbal AP	70	10	0,6436	0,15	0,10	0,12	0,07
11	Thoracumbal Lateral	80	10	0,7328	0,17	0,11	0,13	0,08
12	Lumbosacral AP	70	10	0,6436	0,15	0,10	0,12	0,07
13	Lumbosacral Lateral	80	10	0,7328	0,17	0,11	0,13	0,08
14	Thorax AP	56	10	0,5182	0,12	0,08	0,09	0,05
15	Thorax PA+	56	10	0,5182	0,12	0,08	0,09	0,05
16	Thorax Lateral	70	10	0,6436	0,15	0,10	0,12	0,07
17	Thorax Bayi 1 Th	40	10	0,3737	0,09	0,05	0,07	0,04
18	Thorax Anak	48	10	0,4461	0,10	0,07	0,08	0,05
19	BOF/BNO	70	10	0,6436	0,15	0,10	0,12	0,07
20	BOF Lateral	80	10	0,7328	0,17	0,11	0,13	0,08
21	BOF Anak	54	10	0,5002	0,12	0,07	0,09	0,05
22	Pelvis	70	10	0,6436	0,15	0,10	0,12	0,07
23	Shoulder	56	10	0,5182	0,12	0,08	0,09	0,05
24	Humerus	50	10	0,4642	0,11	0,07	0,08	0,05
25	Antebrachi	44	10	0,4100	0,1	0,06	0,07	0,04
26	Cubiti/Elbow	46	10	0,4280	0,10	0,06	0,08	0,04
27	Wrist Joint	44	10	0,4100	0,1	0,06	0,07	0,04
28	Manus AP/ Obliq	44	10	0,4100	0,1	0,06	0,07	0,04

29	Femur	56	10	0,5182	0,12	0,08	0,09	0,05
30	Genu	50	10	0,4642	0,11	0,07	0,08	0,05
31	Cruris	46	10	0,4280	0,10	0,06	0,08	0,04
32	Ankle	44	10	0,4100	0,1	0,06	0,07	0,04
33	Pedis	44	10	0,4100	0,1	0,06	0,07	0,04

Berdasarkan Tabel 4.3, didapat efek hereditas pada tegangan 40 kV terjadi pada generasi I memiliki nilai probabilitas sebesar 0,04-0,06%, dan pada generasi II memiliki nilai probabilitas sebesar 0,04-0,07%. Pada tegangan 80 kV terjadi pada generasi I memiliki nilai probabilitas 0,11-0,17%, dan pada generasi II memiliki nilai probabilitas 0,08-0,13%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zubaidah Alatas (2006), bahwa dalam penelitian tersebut tidak menjelaskan adanya pengaruh tegangan terhadap kejadian efek hereditas melainkan hanya menjelaskan tentang frekuensi latar per 10^6 kelahiran dalam mendapatkan efek hereditas. Hubungan risiko efek hereditas dengan pemeriksaan dapat dibuat grafik dengan menggunakan program *microsoft excel* dengan hasil pada Gambar 6.



Gambar. 6 Pengaruh Risiko Efek Hereditas (%) pada generasi pertama dan generasi kedua terhadap pemeriksaan (organ)

2. Pembahasan

Telah dilakukan penelitian tentang estimasi dosis serap yang diterima pasien terhadap efek hereditas pada radiografi konvensional. Penelitian dilakukan di laboratorium ATRO Bali dengan menggunakan Multimeter Sinar-X *Raysafe* diperoleh data sekunder berupa hasil pemeriksaan output voltage (kV), exposure time (ms) dan exposure (mGy). Data yang diperoleh kemudian dikelompokkan sesuai tegangan seperti ditunjukkan Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Pengukuran

No.	Beda Potensial (kV)	Arus Tabung (mA)	Waktu Eksposi (s)	Rata-Rata Beda Potensial (kV)	Rata-Rata Dosis Radiasi (μ Gy)	Keluaran Radiasi μ Gy/mAs
1	50	100	0,1	51,10	482,63	48,263
2	60	100	0,1	60,88	538,93	53,893
3	70	100	0,1	71,53	618,56	61,856
4	80	100	0,1	81,81	721,8	72,18
5	90	100	0,1	91,46	857,9	85,79

Data tersebut kemudian ditentukan rata-rata dan dicari koefisien linieritasnya. Kemudian nilai koefisien linieritas diperoleh dari hasil pengukuran keluaranradiasi minimum dan maksimum. Kemudian nilai koefisien linieritas yang telah diperoleh selanjutnya ditentukan kemudian hasil nilai koefisien linieritas harus kurang atau sama dengan 0,1. Nilai rata-rata hasil pengukuran koefisien linieritas akan dibandingkan dengan nilai koefisien linieritas berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No.1250 tahun 2009 tentang Kendali Mutu Peralatan Radiodiagnostik.

Pada penelitian ini diperoleh nilai ESD terendah berada pada penggunaan tegangan 40 kV yaitu 0,3737 mGy, sedangkan nilai ESD tertinggi berada pada penggunaan tegangan 80 kV yaitu 0,7328 mGy. Pada Tabel 4.2 juga dijelaskan bahwa semakin tinggi tegangan maka nilai ESD juga semakin besar. Hal ini sudah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Heru (2018), bahwa nilai dosis (mGy) dipengaruhi oleh tegangan (kV). Dimana semakin besar tegangan maka nilai dosis yang diterima objek juga semakin besar. Menurut penelitian sejenis juga yang dilakukan oleh Latifah (2020),menjelaskan bahwa didapatkan sebaran nilai ESD dari hasil perhitungan, untuk semua prosedur pemeriksaan radiografi umum, didapatkan nilai ESD dari nilai yang terkecil yaitu sebesar 0,002 mGy dan terbesar 0,41 mGy.

Menjelaskan bahwa nilai efek herediter pada penelitian ini diperoleh untuk generasi pertama pada penggunaan tegangan 40 probabilitas efek herediter yang terjadi pada generasi pertama sebesar 0,40-0,63%, pada generasi kedua diperoleh sebesar 0,28- 0,49%. Penggunaan kV 44, mAs 10 didapatkan dosis 0,30931704 mGy yang dapat menyebabkan risiko efek herediter untuk generasi I sebesar 0,07-0,04%, untuk generasiII sebesar 0,05-0,03%. Penggunaan kV 46, mAs 10 didapatkan dosis 0,33459089 mGy yang dapat menyebabkan risiko efek herediter untuk generasi I sebesar 0,08-0,05%, untukgenerasi II sebesar 0,06-0,03%. Penggunaan kV 48, mAs 10 didapatkan dosis 0,36072185mGy yang dapat menyebabkan risiko efek herediter untuk generasi I sebesar 0,08-0,05%, untuk generasi II sebesar 0,06-0,04%. Penggunaan kV 50, mAs 10 didapatkan dosis 0,38770143 yang dapat menyebabkan risiko efek herediter untuk generasi I sebesar 0,09-0,06%, untuk generasi II sebesar 0,07-0,04%. Penggunaan kv 54, mAs 10 didapatkan dosis 0,44417472 mGy yang dapat menyebabkan risiko efek herediter untuk generasi I sebesar 0,10-0,04%, untuk generasi II sebesar 0,08-0,04%. Penggunaan kV 56, mAs 10 didapatkan dosis 0,47365348 mGy yang dapat menyebabkan risiko efek herediter untuk generasi I sebesar 0,11-0,07%, untuk generasi II sebesar 0,08-0,05%. Penggunaan kV 58,mAs 10 didapatkan dosis 0,5039509 mGy yang dapat menyebabkan risiko efek herediteruntuk generasi I sebesar 0,12-0,07%, untuk generasi II sebesar 0,09-0,05%. PenggunaankV 60, mAs 10 didapatkan dosis 0,535060033 mGy yang dapat menyebabkan risiko efekherediter untuk

generasi I sebesar 0,13-0,08%, untuk generasi II sebesar 0,10-0,05%. Penggunaan kV 66, mAs 10 didapatkan dosis 0,63319793 mGy yang dapat menyebabkan risiko efek herediter untuk generasi I sebesar 0,15-0,09%, untuk generasi II 0,12-0,06%. Penggunaan kV 70, mAs 10 didapatkan dosis 0,70257231 mGy yang dapat menyebabkan risiko efek herediter generasi I sebesar 0,17-0,11%, untuk generasi II sebesar 0,13-0,07%. Penggunaan kV 80, mAs 10 didapatkan dosis 0,88952263 mGy yang dapat menyebabkan risiko efek herediter untuk generasi I sebesar 0,21-0,13%, untuk generasi II sebesar 0,16-0,09%. Dari Tabel 4.3 ditunjukkan bahwa risiko efek herediter terbesar terjadi pada tegangan 80 kV.

Berdasarkan perhitungan efek herediter untuk generasi I memiliki probabilitas tertinggi dibandingkan dengan generasi II, ini sangat tergantung dengan kemampuan sel setelah terpapar radiasi. Sel secara umum dapat melakukan perbaikan secara alamiah. Semakin lama waktu setelah terpapar radiasi maka sel semakin banyak memiliki kesempatan untuk memperbaiki akibat radiasi. Sehingga probabilitas risiko efek herediter pada generasi II akan semakin kecil

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini sebagai berikut: 1). ESD pada pemeriksaan radiografi konvensional di ATRO Bali menggunakan pengukuran output pesawat dimana Nilai ESD bervariasi dari 0,3737289954 mGy sampai 0,7328370778 mGy. 2). Pada tegangan 40 kV (tegangan terendah) telah menghasilkan probabilitas efek herediter generasi I sebesar 0,05-0,09%, generasi II sebesar 0,04-0,07%. Sedangkan untuk tegangan 80 kV (tegangan tertinggi) probabilitas efek herediter generasi I sebesar 0,11-0,17% dan generasi II sebesar 0,08-0,13%..

SARAN

Untuk penelitian selanjutnya mengukur arus tabung dan waktu (mAs).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada staf dosen bidang minat Fisika Bumi, Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana yang telah memberikan saran serta masukan terkait penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana. 2014. Uji Kesesuaian Lampu Kolimasi Dengan Berkas Radiasi Menggunakan Alat Quality Control. Denpasar: Universitas Udayana.
- Akhadi, M., 2000, Dasar-Dasar Proteksi Radiasi, Rineka Cipta, Jakarta.
- Alatas, Z. 2006. Efek Pewarisan Akibat Radiasi, 65-74. Buletin Alara. BATAN
- BAPETEN, 2020. Surat Keputusan Kepala Bapeten nomor 4 tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensial. Jakarta
- BATAN, 2013. Petugas Proteksi Radiasi Medik Tingkat 2 dan Ringkat 3. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Beiser, A. 2003. Concepts of Modern Physics. Sixth Edition. New York: McGraw-Hill.
- Boddy, M.S. 2013. "Pengaruh Radiasi Hambur Terhadap Kontras Radiografi Akibat Variasi Ketebalan Objek dan Luas Lapangan Penyinaran". Sulsel
- Darmini, J. D. 2014. Penerimaan Dosis Radiasi Pada Pemeriksaan Radiografi Konvensional kontras, 460-466.
- Dowsett, D. J., Patrick A. Kenny dan Eugene Johnston. R. 2006. The Physics of Diagnostic Imaging: Second Edition. United Kingdom: Hodder Arnold, an imprint of Hodder Education.

- Gustia, R.M. 2021. Analisis Sebaran Radiasi Hambur Pesawat Sinar-X Konvensional di Instalasi Radiologi RSIA Zainab. Karya Tulis Ilmiah. Pekanbaru: STIKES Awal Bros.
- IAEA. 2007, Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice, Technical Report Series No. 457, Vienna.
- Jeong, Woo Kyung. 2011. Radiation exposure and its reduction in the fluoroscopic examination and fluoroscopy-guided interventional radiology.
- Mayerni, Adrianto A., Zainal A. 2013. Dampak radiasi terhadap kesehatan pekerja radiasi di RSUD Arifin Ahmad, RS Santa Maria, dan RS Awal Bros Pekanbaru. Jurnal Ilmu Lingkungan. Program Studi Ilmu Lingkungan PPS Universitas Riau.
- Noerwasana. 2010. Analisis Sebaran Hambur Dari Pasien Pada Pesawat Fluoroskopi Dengan Metode Monte Carlo Dan Pengukuran. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Nova, Rahman. 2009. Radiofotografi. Padang: Universitas Baiturrahman.
- Rasad. 2005. Buku Radiologi Diagnostik, Edisi Kedua, Jakarta: Balai Penerbit FK UI.
- Rusli, M. 2017. Uji Keselamatan Paparan Radiasi Sinar-X di Radiologi ATRO Muhammadiyah Makassar. Skripsi. Konsentrasi Medik, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam: Universitas Hasanuddin Makassar.
- Sartinah, Sumariyah, Ayu. N, 2008. Variasi nilai eksposi aturan 15% pada radiografi di RSUD dr. Soetomo Surabaya. Skripsi. Surabaya: Universitas Airlangga Surabaya.
- Suliman, I.I., 2020. Estimates of Patient Radiation Doses in Digital Radiography Using DICOM Information at a Large Teaching Hospital in Oman. J. Digit. Imaging 33, 64-70.
- Susanto, E., Wibowo, A.S., Kartikasari, Y., Masrochah, S., Indrati, R., dan Darmini. 2011. Materi Diklat Petugas Proteksi Radiasi Bidang Radiodiagnostik. Semarang: Politeknik Kesehatan.
- UNSCEAR 2001., Hereditary Effects of Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annex. New York, United Nations.