

SKRIPSI

**EVALUASI DISTRIBUSI DOSIS EKUIVALEN SELURUH TUBUH (DEST)
STAF RADIOLOGI RUMAH SAKIT UNIVERSITAS HASANUDDIN
PERIODE 2011-2020**

Disusun dan diajukan oleh

REZKY RACHMADANY RACHMAN

H021171315



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**EVALUASI DISTRIBUSI DOSIS EKUIVALEN SELURUH TUBUH (DEST)
STAF RADIOLOGI RUMAH SAKIT UNIVERSITAS HASANUDDIN
PERIODE 2011-2020**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada Program Studi Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*

REZKY RACHMADANY RACHMAN

H021171315

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

**EVALUASI DISTRIBUSI DOSIS EKUIVALEN SELURUH TUBUH (DEST)
STAF RADIOLOGI RUMAH SAKIT UNIVERSITAS HASANUDDIN
PERIODE 2011-2020**

Disusun dan diajukan oleh

**REZKY RACHMADANY RACHMAN
H021171315**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 01 Februari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

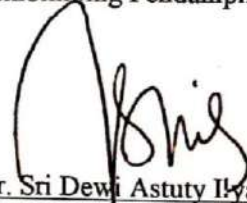
Menyetujui,

Pembimbing Utama



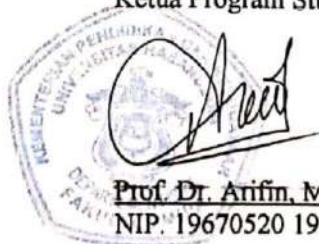
Prof. Dr. Syamsir Dewang, M. Eng. Sc
NIP. 19630111 199002 1 001

Pembimbing Pendamping



Dr. Sri Dewi Astuty Ilyas, M. Si
NIP. 19750513 199903 2 001

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Arifin, M. T
NIP. 19670520 199403 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rezky Rachmadany Rachman
NIM : H021171315
Program Studi : Fisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Evaluasi Distribusi Dosis Ekuivalen Seluruh Tubuh (DEST)
Staf Radiologi Rumah Sakit Universitas Hasanuddin
Periode 2011-2020

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 31 Januari 2021
Yang Menyatakan,


Rezky Rachmadany Rachman

ABSTRAK

Monitoring paparan radiasi terhadap pekerja meliputi radiografer dan dokter radiologi sangat perlu dilakukan secara berkala untuk memantau dosis akumulasi sebagai tindakan proteksi radiasi. Pemantauan dosis perorangan dianalisis dengan memperhitungkan dosis Hp(10) sebagai dosis ekuivalen seluruh tubuh (DEST) menggunakan *film badge* dan *Thermoluminescence Dosemeter* (TLD). Pembacaan hasil paparan radiasi dilakukan di Laboratorium Dosimetri dan Kalibrasi, BPFK Makassar dan Laboratorium Dosimeter, PTKMR BATAN Jakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar DEST dan estimasi dosis efektif pada jaringan atau organ tubuh yang diterima pekerja selama 10 tahun, serta mengevaluasi dosis yang terserap berdasarkan sistem pembatasan dosis menurut *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) dan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Jumlah pekerja radiasi yang dipantau sebanyak 34 orang terdiri dari 5 dokter radiologi dan 29 radiografer. Analisis uji statistik dengan *paired sample t-test* dan anova digunakan untuk menguji hipotesis penelitian yang telah diajukan dengan taraf signifikansi (α)=0,05. Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi penerimaan dosis tahunan personal mengelompok pada interval 0-3 mSv. Secara keseluruhan, nilai DEST dan estimasi dosis efektif pada pekerja radiasi yang dimonitor tersebut, masih jauh di bawah NBD yang diberlakukan berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 Pasal 15, yakni dosis terakumulasi dalam 5 tahun tidak boleh melebihi 100 mSv.

Kata Kunci: paparan radiasi, pekerja radiasi, nilai batas dosis

ABSTRACT

Radiation exposure monitoring for the workers including radiographers and radiologists is very necessary to be done regularly to monitor the dosage accumulation as a radiation protection measure. Individual dose monitoring has been analyzed within calculating the $H_p(10)$ as the whole body equivalent dose (DEST) using the film badge and Thermoluminescence Dosimeter (TLD). The perusal of radiation exposure results is done at the Dosimetry and Calibration Laboratory, BPFK Makassar and Dosimeter Laboratory, PTKMR BATAN Jakarta. This study aimed to determine the amount of DEST and the estimated effective dose in tissues or organs received by workers for 10 years, as well as to evaluate the absorbed dose based on the dosage limitation system according to the International Commission on Radiological Protection (ICRP) and the Nuclear Energy Supervisory Agency (BAPETEN). The number of radiation workers that have monitored was 34 people, consisting of 5 radiologists and 29 radiographers. Statistical test analysis with paired sample t-test and ANOVA was used to test the proposed research hypothesis with a significance level (α) = 0.05. The analysis showed that the distribution of the personal's annual dose admission was clustered at intervals of 0-3 mSv. Overall, the DEST value and the estimated effective dose of the monitored radiation workers are still far below the NBD enforced under Regulation of the Head of BAPETEN No. 4 of 2013 Article 15, stated that accumulated dose in 5 years should not exceed 100 mSv.

Keywords: radiation exposure, radiation workers, dose limit values

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Rasa syukur penulis panjatkan kehadiran ALLAH SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, Tuhan Semesta Alam, Maha Adil, dan Maha Bijaksana. Selawat serta salam juga penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, Nabi akhir zaman yang membawa misi kedamaian yang menyebar syari'at Islam kepada seluruh umat manusia di dunia. Begitu pula salam sejahtera selalu tercurahkan untuk keluarganya, para sahabat, dan ummatnya yang mengikuti ajaran dan petunjuk-Nya hingga akhir zaman. Alhamdulillah, atas hidayah dan inayah-Nya yang begitu besar dan sempurna sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul "**Evaluasi Distribusi Dosis Ekuivalen Seluruh Tubuh (DEST) Staf Radiologi Rumah Sakit Universitas Hasanuddin Periode 2011-2020**" yang merupakan syarat dalam menyelesaikan studi pada Departemen Fisika Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Dalam menyelesaikan skripsi ini penulis banyak mendapat bimbingan, petunjuk, dan bantuan dari berbagai pihak yang sangat berarti dan berharga bagi penulis. Skripsi ini terkhusus penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, **Hj. Nur Aeny** dan **H. Abd. Rachman** yang selalu memberikan kasih sayang, perhatian, semangat, dan dukungan baik secara moral maupun secara materi kepada penulis, serta ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada kakak-kakak terkasih **Rachmayani Rachman, S. Pd** dan **Resminayani Rachman, S. Si. T., CWCCA** yang selalu memotivasi dan mendukung penulis dalam bentuk materi, dan terima kasih keponakan tersayang **Khafid Dzaky Baisa, Ince Saqinah Ayu, Adeeva Qhanita Aisa, dan Khalid Sidqi Baisa** yang selalu memberikan hiburan serta menjadi teman berkelahi.

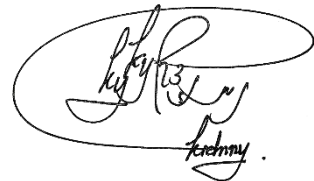
Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. Syamsir Dewang M. Eng. Sc** selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ibu **Dr. Sri Dewi Astuty Ilyas, M. Si** selaku Penasehat Akademik sekaligus Pembimbing Pertama yang telah banyak membimbing dan meluangkan waktu, tenaga, serta pemikirannya untuk penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Bapak **Bannu, S. Si., M. Si** dan Bapak **Prof. Dr. Tasrief Surungan, M. Sc** sebagai Tim Penguji yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan ilmu, saran, dan diskusi dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Arifin, M. T** selaku Ketua Departemen serta **Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin**, terima kasih atas ilmu dan bimbingannya selama ini. Semoga hasil ajaran Bapak/Ibu selalu memberikan manfaat bagi setiap orang.
4. **Seluruh staf** yang ada di **Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Hadanuddin** terkhusus buat **Bapak Satrial Male, S. Si., M. Si** yang telah membantu penulis dalam pengambilan data penelitian ini.
5. Bapak/Ibu **Staf Pegawai FMIPA UNHAS**, terutama **Staf Departemen Fisika; Pak Syukur, Ibu Evi, Ibu Rana, dan Pak Ali** yang selalu membantu penulis selama berada di kampus.
6. Karibku, **Bonte3000** (Flave, Egi, Sappe); **Asec2ah** (Eby, Eda, Mari, Bule, Licka, Ewew, Manul); **KerabatSerahim** (Lili, Ica, Wafiq, Nita, Farid, Reza, Risma); Ayu, Banglih, Fai, dan teman-teman yang tak bisa kusebutkan satu-persatu, sanhyuu atas motivasinya dan pemakluman sikapku selama ini.
7. Lembagaku, Kerukunan Pelajar Mahasiswa Tanah Bumbu Kalimantan Selatan Makassar (**KPMTBKSM**); Himpunan Mahasiswa Fisika (**Himafi**) FMIPA Unhas; Unit Tennis Meja Universitas Hasanuddin (**UTMUH**). Terimakasih, wahai manusia-manusia hebat di dalam sana (kakak, letting, adik), telah menerimaku menjadi keluarga untuk bersama-sama melewati masa-masa penuh duka dan suka dan mempercayakan Sekretaris Umum di tanganku.
8. Saudara-saudariku, **Fisika 2017 dan Laboratorium Optik & Spektroskopi (Optik Cantik & Tamvan)** terima kasih untuk semua kenangan yang telah kita

lalui bersama, terima kasih atas segala semangat, cerita, dan hiburan yang kita lewati selama ini, kalian akan menjadi hal teristimewa dalam perjalanan hidupku.

9. Teman-teman KKN-ku, **Zona Kaltim-Kalsel 104**, yang telah memberikan kepercayaan kepadaku menjadi Koordinator Wilayah kalian selama 55 hari, terima kasih atas motivasinya.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan kontribusi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Makassar, 31 Januari 2021

A handwritten signature in black ink, enclosed in a large, loopy oval. The signature is stylized and appears to read 'Rezky Rachmadany Rachman'. Below the main signature, there is a smaller, more legible signature that reads 'Rezky'.

Rezky Rachmadany Rachman

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN | iv |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| I.1 Latar Belakang | 1 |
| I.2 Rumusan Masalah | 3 |
| I.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| II.1 Radiasi Pengion | 4 |
| II.2 Pelayanan Radiologi | 4 |
| II.3 Dosimetri Radiasi | 4 |
| II.4 Efek Kesehatan Radiasi | 6 |
| II.5 Nilai Batas Dosis (NBD) | 7 |
| II.6 Dosimeter Perorangan..... | 8 |
| II.7 Statistik Parametrik | 9 |
| III. METODE PENELITIAN | 10 |
| III.1 Desain Penelitian | 10 |
| III.2 Tempat dan Waktu | 10 |
| III.3 Subjek dan Variabel Penelitian | 10 |
| III.4 Pengambilan dan Pengumpulan Data | 10 |
| III.5 Pengolahan Data | 12 |

| | |
|--|-----------|
| III.6 Bagan Alir | 14 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| IV.1 Profil Distribusi Dosis Ekuivalen Seluruh Tubuh, Hp(10) | 15 |
| IV.2 Estimasi Dosis Efektif pada Jaringan atau Organ Staf | 21 |
| IV.3 Penilaian Berdasarkan NBD yang Berlaku dan Estimasi Efek Radiasi terhadap Staf Radiologi | 23 |
| V. PENUTUP | |
| V.1 Kesimpulan | 28 |
| V.2 Saran..... | 29 |
| DAFTAR PUSTAKA | 30 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----------|
| Tabel 2.1. Faktor Bobot Jaringan | 5 |
| Tabel 2.2. Nilai Batas Dosis | 8 |
| Tabel 4.1 Beda DEST Personal Periode Lima Tahunan di Instalasi Radiologi RS Unhas Tahun 2011-2020 | 17 |
| Tabel 4.2 Nilai Maksimum, Maksimum dan Rerata DEST di Instalasi Radiologi RS Unhas Tahun 2011-2020 | 19 |
| Tabel 4.3 Beda (Komparatif) Rerata Dokter-Radiografer di Instalasi Radiologi RS Unhas Tahun 2011-2020 | 21 |
| Tabel 4.4 Rerata DEST Berdasarkan Kelompok Pekerja (Dokter-Radiografer) Periode 2011-2020 | 21 |
| Tabel 4.5 Estimasi Dosis Efektif pada Jaringan atau Organ Staf | 23 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| Gambar 3.1 | Bagan Alir Penelitian | 14 |
| Gambar 4.1 | Grafik Hasil Uji Rerata Dosis Paparan Radiasi | 20 |
| Gambar 4.2 | Grafik Uji Beda Rerata Dosis Antar Kelompok | 22 |
| Gambar 4.3 | Grafik Tingkat Penerimaan Dosis Efektif | 24 |

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

| | |
|--------------------------|----|
| DOSIMETER PERSONAL | 33 |
|--------------------------|----|

LAMPIRAN 2

| | |
|---|-----|
| 1. Pemantauan DEST Pekerja pada Tahun 2011 | 34 |
| 2. Pemantauan DEST Pekerja pada Tahun 2012 | 39 |
| 3. Pemantauan DEST Pekerja pada Tahun 2013 | 47 |
| 4. Pemantauan DEST Pekerja pada Tahun 2014 | 53 |
| 5. Pemantauan DEST Pekerja pada Tahun 2015 | 59 |
| 6. Pemantauan DEST Pekerja pada Tahun 2016 | 79 |
| 7. Pemantauan DEST Pekerja pada Tahun 2017 | 98 |
| 8. Pemantauan DEST Pekerja pada Tahun 2018-2019 | 103 |
| 9. Pemantauan DEST Pekerja pada Tahun 2020 | 114 |

LAMPIRAN 3

| | |
|-----------------------------|-----|
| PENGINPUTAN DATA DEST | 116 |
|-----------------------------|-----|

LAMPIRAN 4

| | |
|----------------------------|-----|
| STATISTIK PARAMETRIK | 118 |
|----------------------------|-----|

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pemanfaatan radiasi pengion semakin meningkat seiring dengan laju perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir di berbagai bidang kehidupan terutama kesehatan. Salah satunya, unit pelayanan radiologi sebagai instalasi penunjang medik, menggunakan radiasi pengion untuk memperoleh citra organ pasien yang ditampilkan pada film radiografi dengan tujuan mendiagnosis kelainan ataupun sebagai media terapi bagi penderita penyakit tumor maupun kanker [1,2,3]. Di samping memberikan manfaat, radiasi juga berpotensi memberikan dampak radiologis atau efek merugikan bagi kesehatan para pekerja akibat terkena paparan radiasi selama melaksanakan tugasnya. Adanya paparan radiasi di dalam ruangan secara berulang akan mengakibatkan terjadinya *stochastic effect* dan *deterministic effect* berupa *acute radiation syndrome* (ART), eritema kulit, katarak, kanker bahkan kematian pada pekerja radiasi [4,5].

Komite Ilmiah Efek Radiasi Atom PBB, yakni *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR) secara internasional menyatakan bahwa lebih dari 80% penerimaan dosis populasi dunia berasal dari paparan radiasi buatan, yakni aplikasi radiasi bidang medik [6]. Mayerni menyebutkan bahwa tahun 1897 di Amerika Serikat dilaporkan adanya 69 kasus kerusakan kulit yang disebabkan oleh sinar-X dan menjadi 170 kasus pada 1902. Di Jerman pun, pada tahun 1911 diberitakan adanya 94 kasus tumor akibat sinar-X. Dari data *United State Energy Atomic Commission* (USEAC) mengatakan pada 1960-1968 terdapat 152 kasus kecelakaan kerja, termasuk 59 kasus yang disebabkan oleh penggunaan radiografi. Penyebab kecelakaannya, yaitu kesalahan operator (68%), kesalahan prosedural (8%), peralatan rusak (15%), dan lain (9%) [7]. Hasil penelitian *The International Nuclear Workers Study* (INWORKS) yang dilakukan terhadap lebih dari 300.000 pekerja nuklir di Perancis, Inggris, dan USA selama periode waktu 1943-2005 menunjukkan hubungan yang signifikan antara

peningkatan dosis radiasi dengan risiko sakit kanker. Risiko kematian akibat kanker meningkat sekitar 5% per 100 mGy [8].

Fakta di atas membuktikan setiap penyinaran pada seluruh tubuh menyebabkan efek yang berbeda pada berbagai macam jaringan, maka untuk mencegah dan membatasi peluang terjadinya efek tersebut perlu ditetapkan Nilai Batas Dosis (NBD) yang berdasarkan pada resiko total dari semua jaringan yang mendapatkan penyinaran [9,10]. Pada tahun 1931, *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) dan *The National Council on Radiation Protection and Measurement* (NCRP) telah menetapkan dosis tahunan bagi pekerja yang terpapar radiasi pengion [11]. Bahkan di Indonesia, diatur dalam Keputusan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 Pasal 15, bahwasanya limitasi dosis yang diizinkan untuk pekerja radiasi adalah sebesar 50 mSv dalam 1 tahun tertentu dan 20 mSv/tahun dalam 5 tahun tertentu [12].

Keselamatan pekerja radiasi tidak terlepas dari dosis radiasi. Penelitian oleh Vano et al 2006 di Spanyol menyatakan sebelum tahun 1989 dosis radiasi yang dihasilkan dari aktivitas radiologi intervensi di rumah sakit yang saat ini melakukan 5.000 prosedur kardiologi per tahun mencapai 25 mSv per tahun yang telah melebihi NBD akibat belum ditingkatkannya fasilitas yang aman dan peralatan yang canggih, serta belum dilakukan pelatihan proteksi radiasi yang intensif saat itu [13]. Kemudian, berdasarkan data BAPETEN mengenai laporan pemantauan dosis pekerja radiasi pada 2013, nilai dosis tertinggi yang diterima pekerja radiasi di Indonesia sebesar 21,85 mSv, nilai dosis terendah 1,20 mSv, dan rata-rata 1,20 mSv. Pada tahun 2011-2012, nilai maksimum dosis yang diterima masing-masing sebesar 25,03 mSv dan 23,64 mSv. Berlanjut pada 42.450 pekerja radiasi yang dilakukan analisis, masih terdapat dosis melebihi NBD sebanyak 17 pekerja. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya nilai dosis tertinggi sebesar 21,85 mSv pada pekerja radiasi. Sedangkan tahun 2011 dari 42.430 pekerja radiasi dan 2012 dari 31.940 pekerja radiasi terdapat dosis melebihi NBD masing-masing sebanyak 34 dan 25 pekerja dengan nilai dosis tertinggi masing-masing 25,03 mSv dan 23,64 mSv. Kejadian tersebut disebabkan adanya pelanggaran dan kelalaian terhadap prosedur keselamatan kerja yaitu pekerja tidak memakai TLD (*Thermoluminisence*

Dosemeter) saat bekerja di medan radiasi dan durasi kerja mereka yang melampaui batas [14].

Begitu pentingnya pemantauan radiasi secara individual terutama bagi para pekerja di bidang radiologi baik radiografer maupun dokter radiologi, maka untuk setiap instalasi radiologi diperlukan suatu informasi yang menunjukkan sejauh mana akumulasi paparan dosis radiasi yang telah diterima pekerja radiasi selama bekerja. Hal ini bermanfaat untuk memberikan penilaian *Diagnostic Reference Level* (DRL) sebagai panduan paparan medik yang diizinkan dalam ruang instalasi radiologi suatu rumah sakit. Penelitian ini juga dimanfaatkan untuk mengetahui upaya atau tindakan yang akan dilakukan seorang pekerja radiasi jika sistem pembatas dosis sudah tidak terpenuhi atau melebihi standar yang diizinkan baik oleh ICRP maupun BAPETEN.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka rumusan masalah yang diteliti adalah:

1. Bagaimana profil distribusi dosis paparan DEST staf radiologi (dokter-radiografer) periode 2011-2020?
2. Berapa besar estimasi dosis efektif pada berbagai jaringan atau organ staf radiologi periode 2011-2020?
3. Apakah nilai dosis paparan pada staf radiologi Rumah Sakit Universitas Hasanuddin telah sesuai dengan standar NBD yang berlaku?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang dicapai dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Mengetahui profil distribusi dosis paparan DEST staf radiologi (dokter-radiografer) periode 2011-2020.
2. Mengetahui besar estimasi dosis efektif pada berbagai jaringan atau organ staf radiologi periode 2011-2020.
3. Membandingkan nilai dosis paparan pada staf radiologi Rumah Sakit Universitas Hasanuddin dengan standar NBD yang berlaku.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Radiasi Pengion

Radiasi adalah energi yang dipancarkan dalam bentuk partikel atau gelombang [15]. Ketika radiasi melewati suatu materi, kemudian membentuk partikel bermuatan positif dan negatif, maka proses ini disebut radiasi pengion atau ionisasi [16]. Secara garis besar, radiasi pengion dibagi menjadi gelombang elektromagnetik (radiasi elektromagnetik) dan radiasi partikel. Radiasi partikel terbagi lagi menjadi radiasi bermuatan listrik dan tidak bermuatan. Radiasi pengion dalam bentuk gelombang elektromagnetik adalah sinar-X dan sinar gamma (γ). Selain itu, terdapat radiasi dari inti atom radioaktif yang dikategorikan sebagai radiasi pengion yaitu partikel alfa (α), partikel beta (β), positron dan neutron [17].

II.2 Pelayanan Radiologi

Pelayanan radiologi adalah pemeriksaan yang menghasilkan gambar bagian dalam tubuh manusia untuk tujuan diagnostik dan terapi [18]. Pelayanan radiologi harus memperhatikan aspek keselamatan kerja radiasi. Dalam upaya pengendalian, pemerintah menerbitkan Peraturan Pemerintah nomor 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan sumber radioaktif, Surat Keputusan Kepala Bapeten nomor 01/Ka-Bapeten/V-99 tentang Kesehatan terhadap radiasi pengion disebut keselamatan radiasi [19]. Ruang pemeriksaan pada instalasi radiologi yang baik memenuhi syarat proteksi radiasi dengan ukuran ruang pemeriksaan sesuai dengan ketentuan [20].

II.3 Dosimetri Radiasi

II.3.1 Besaran Fisik

Pada Sistem Internasional (SI), kerma (*kinetic energy released per unit mass*) atau energi kinetik yang dilepaskan per satuan massa (besaran yang berlaku untuk radiasi tak langsung seperti foton dan neutron) dan dosis serap sebagai besaran fisik radiasi masing-masing memiliki satuan J/Kg dengan nama khusus Gy [21].

II.3.2 Besaran Proteksi

International Commission on Radiation Units (ICRU) telah menetapkan satuan dosis radiasi yang umum digunakan, yaitu Paparan atau Exposure, satuan Coulomb per Kilogram (C/kg) yang menentukan terjadinya ionisasi di udara pada penggunaan sinar-X atau sinar gamma; Dosis Serap, satuan Gray (Gy) sejumlah energi yang diserap oleh bahan per satuan massa bahan; Dosis Ekuivalen, satuan Sievert (Sv) kemampuan radiasi dalam berinteraksi dengan tubuh atau dosis serap yang dikalikan dengan faktor bobot radiasinya; sedangkan Dosis Efektif sama dengan dosis ekuivalen, namun sensitifitas atau reaksi dari setiap organ terhadap radiasi berbeda (faktor bobot jaringan ditunjukkan pada Tabel 2.1), ICRP mendefinisikan besaran dosis efektif sebagai jumlah dosis tara (*equivalent dose*) atau DEST pada organ atau jaringan terkait.

Tabel 2.1 Faktor Bobot Jaringan

| Jaringan atau Organ | Faktor Bobot Jaringan, W_T | Jumlah W_T |
|--|------------------------------|--------------|
| Gonad | 0,08 | 0,08 |
| Sumsum tulang (merah), kolon, paru-paru, lambung, payudara, jaringan sisa *) | 0,12 | 0,72 |
| Kandung kemih (<i>bladder</i>), esofagus, hati, tiroid | 0,04 | 0,16 |
| Permukaan tulang, kulit, otak, kelenjar ludah | 0,01 | 0,04 |
| Total | | 1,00 |

*) Jaringan sisa: adrenalin, ekstratoraksik (ET), gall bladder, jantung, ginjal, lymph nodes, otot, mukosa oral, prostat (laki), usus kecil, limpa, thymus, uterus/ serviks (pr.) [21].

Secara matematis besaran dan satuan dosis radiasi dapat dinyatakan sebagai berikut [22]:

$$\text{Paparan Radiasi, } X = dQ/dm \quad (2.1)$$

$$\text{Dosis Serap, } D = dE/dm \quad (2.2)$$

$$\text{Dosis Ekuivalen, } H = D W_r \quad (2.3)$$

$$\text{Dosis Efektif, } E = H W_T = D W_R W_T \quad (2.4)$$

Dengan:

X : Paparan radiasi (C/Kg)

D : Dosis serap (gray, Gy)

- Q : Muatan listrik (coulomb, C)
 E : Energi atau kuantitas radiasi (joule, J)
 H : Dosis ekuivalen (sievert, Sv)
 E : Dosis efektif (sievert, Sv)
 W_R : Faktor bobot radiasi, $W_R = 1$ untuk sinar-x atau gamma
 W_T : Faktor bobot jaringan

II.3.3 Besaran Operasional

Digunakan sebagai tujuan praktis dalam proteksi radiasi eksternal terdiri atas besaran untuk pemantauan individu dan daerah kerja, yaitu [21, 23, 24]:

1. Dosis Tara Ambien, $H^*(d)$
 Dosis pemantauan daerah kerja (surveimeter) untuk radiasi daya tembus kuat (γ , neutron). Kedalaman d direkomendasikan 10 mm, ditulis $H^*(10)$.
2. Dosis Tara Berarah, $H'(d, W)$
 Dosis pemantauan daerah kerja untuk radiasi tembus lemah (β dan sinar-X lemah). Kedalaman d direkomendasikan 0,07 mm, ditulis $H'(0,07, W)$.
3. Dosis Tara Perorangan, $H_p(d)$
 $H_p(d)$ merupakan dosis tara pada jaringan di bawah titik tertentu tubuh pada kedalaman d. Untuk radiasi tembus kuat (dosis ekuivalen seluruh tubuh) disebut DEST yang direkomendasikan pada kedalaman 10 mm, sehingga ditulis $H_p(10)$, sedang untuk radiasi tembus lemah (dosis ekuivalen permukaan kulit) kedalamannya 0,07 mm ditulis $H_p(0,07)$, dan lensa mata kedalamannya 3 mm, ditulis $H_p(3)$.

Ketiga besaran di atas memiliki satuan yang sama, yaitu Sievert (Sv) [23].

II.4 Efek Kesehatan Radiasi

Interaksi radiasi pengion dengan tubuh manusia akan mengakibatkan terjadinya efek kesehatan.

II.4.1 Efek Deterministik

Efek deterministik terjadi karena adanya kematian sel sebagai akibat pajanan (paparan) radiasi sekecil apapun lokal [22].

Ada empat ciri khas mengenai efek deterministik [25]:

1. Mempunyai dosis ambang.
2. Umumnya timbul beberapa saat setelah penerimaan dosis radiasi.
3. Dapat dilakukan penyembuhan spontan bergantung tingkat keparahannya.
4. Keparahan efek deterministik bergantung pada dosis radiasi yang diterima.

Kemunculan efek ditandai dengan keluhan umum maupun lokal, namun sulit dibedakan dengan penyakit-penyakit lainnya. Keluhan umum berupa nafsu makan berkurang, mual, lesu, lemah, demam, keringat berlebihan hingga menyebabkan terjadinya *shock*. Sedangkan keluhan lokal, yakni *erythema* atau kulit memerah, pedih, gatal, bengkak, melepuh, memborok, dan kerontokan rambut kulit [25].

II.4.2 Efek Stokastik

Efek stokastik tidak mengenal dosis ambang dan muncul setelah masa laten yang cukup lama [22]. Serendah apapun dosis radiasi yang diterima, selalu ada peluang terjadinya perubahan pada sistem biologik baik pada tingkat molekuler maupun seluler.

Ada empat ciri khas dari efek stokastik [25]:

1. Tidak mengenal dosis ambang.
2. Timbulnya efek setelah melalui masa tunda yang lama.
3. Keparahannya tidak bergantung pada dosis radiasi.
4. Tidak ada penyembuhan spontan.

Timbulnya efek ini dapat dikurangi dengan menurunkan dosis, tetapi tidak dapat dihindari sepenuhnya karena diasumsikan dapat terjadi pada setiap nilai dosis radiasi sekalipun sangat rendah, contohnya, kanker dan efek pewarisan [25].

II.5 Nilai Batas Dosis (NBD)

Nilai batas dosis (NBD) adalah dosis terbesar yang diizinkan untuk diterima oleh pekerja radiasi dan anggota masyarakat dalam jangka waktu tertentu tanpa menimbulkan efek genetik dan somatik yang berarti akibat pemanfaatan tenaga nuklir [21].

NBD yang saat ini berlaku diberikan pada **Tabel 2.2**, besaran dosis efektif dimaksudkan untuk membatasi terjadinya efek stokastik pada individu yang menerima pajanan radiasi atau keturunannya, sementara nilai batas dalam besaran

dosis tara tahunan (*annual equivalent dose*) dimaksudkan untuk mencegah terjadinya efek deterministik di organ yang dimaksud pada individu yang menerima pajanan radiasi tersebut [23].

Tabel 2.2 Nilai Batas Dosis

| Aplikasi | Pekerja radiasi | Masyarakat Umum |
|--------------------------|--|------------------------------|
| Dosis efektif | 20 mSv per tahun, dirata-ratakan selama periode 5 tahun ¹ | 1 mSv per tahun ² |
| Dosis ekuivalen tahunan: | | |
| Lensa mata | 20 mSv | 15 mSv |
| Kulit | 500 mSv | 50 mSv |
| Tangan dan kaki | 500 mSv | - |

¹ Dengan ketentuan tambahan bahwa dosis efektif tidak melampaui 50 mSv dalam satu tahun tertentu. Pembatasan lebih lanjut berlaku untuk pajanan kerja bagi wanita hamil.

² Dalam keadaan khusus, nilai dosis efektif yang lebih tinggi dapat diijinkan dalam satu tahun, asal rata-rata selama 5 tahun tidak melebihi 1 mSv per tahun [23].

Perka Bapeten No. 14 Tahun 2013, Pasal 34 Ayat 1: Pemegang izin harus melakukan pemantauan dosis yang diterima pekerja radiasi paling sedikit satu kali dalam tiga bulan, baik pemantauan dosis radiasi eksternal maupun internal [24]. Pengawasan NBD dilakukan dengan pemantauan dosis perorangan, pemantauan paparan radiasi daerah kerja untuk mencegah terlampauinya NBD, dan *dose constraint* untuk penerapan optimasi proteksi radiasi dan keselamatan radiasi [26].

II.6 Dosimeter Perorangan

Alat ukur radiasi merupakan suatu sistem yang terdiri dari detektor dan rangkaian penunjang. Detektor adalah suatu bahan yang peka terhadap radiasi sehingga menghasilkan tanggapan (respon) bila terkena radiasi sedangkan peralatan penunjang biasanya merupakan peralatan elektronik untuk mengubah tanggapan detektor menjadi suatu informasi yang lebih mudah dimengerti [27].

II.6.1 Dosimeter Perorangan Pasif

Dosimeter pasif memanfaatkan fenomena *luminescence* (cahaya pendar) dari bahan fosfor. Berdasarkan stimulasi yang diberikan pada dosimeter selama proses pembacaan dapat dikategorikan menjadi 3 (tiga) kelompok dosimeter, yaitu

Thermally Stimulated Luminescence Dosimeter yang lebih dikenal sebagai TLD (*Thermo-Luminescence Dosimeter*) dengan stimulasi *thermal* (panas), OSLD (*Optically Stimulated Luminescence Dosimeter*) dengan stimulasi laser hijau/biru dan RPLD (*Radio-Photo-Luminescence Dosimeter*) dengan stimulasi sinar UV (ultra violet) [28].

II.6.2 Dosimeter Perorangan Aktif

Dosimeter perorangan elektronik dapat memberikan informasi dosis yang diterima selama pemakaian secara langsung dan mampu mengukur dosis sampai tingkat μSv , praktis dan sangat mudah dalam pembacaan dosis [28].

II.8 Statistik Parametrik

Statistik adalah sekumpulan konsep dan metode yang digunakan untuk mengumpulkan dan menginterpretasi data tentang bidang kegiatan tertentu dan mengambil keputusan dalam situasi di mana ada ketidakpastian dan variasi. Tingkat signifikansi merupakan peluang untuk tidak membuat kesalahan tipe I. Kesalahan tipe I adalah kesalahan menolak H_0 , padahal H_0 benar. Penentuan tingkat signifikansi ini beragam tergantung keinginan peneliti. Namun umumnya kisaran nilai $\alpha = 0,05$ (5%) untuk penelitian kesehatan/sosial dan $\alpha = 0,01$ (10%) untuk penelitian laboratorium [29].

Pada sebuah penelitian, sering kali perbandingan yang dilakukan tidak terbatas pada 2 kelompok tapi bisa melebihi 2 kelompok. Pada kondisi tersebut, uji statistik yang digunakan ada uji varian atau uji F atau disebut juga uji ANOVA (analysis of varians). Berdasarkan faktor yang menimbulkan variansi, maka Uji ANOVA dibedakan menjadi ANOVA *one-way* dan ANOVA *two-way*. ANOVA *one-way* digunakan apabila hanya ada 1 faktor yang diamati, sedangkan apabila faktor yang diamati >2 digunakan uji ANOVA *two-way*. Sebagaimana uji parametrik pada umumnya, maka pada uji ANOVA terdapat beberapa prasyarat yang harus dipenuhi melalui uji asumsi, yaitu uji normalitas (data terdistribusi normal) dan variasi sama (uji homogenitas) [29].