

LAPORAN PENELITIAN
Hibah Stimulus Semester Genap 2021



**EVALUASI TERIMAAN DOSIS PADA ORGAN MATA TENAGA
DOKTER DAN PERAWAT SAAT TINDAKAN
CATHETERISASI JANTUNG**

Dilaporkan oleh :

Ketua : **Drs. Muzilman Muslim, M.Si**
NIDN : 0302106001
Anggota : **Drs. Ari Mutanto, M.Pd.**
NIDN : 0330076702

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS NASIONAL**

2021

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian	: Evaluasi Terimaan Dosis Pada Organ Mata Tenaga Dokter Dan Perawat Saat Tindakan Catheterisasi Jantung
Identitas Peneliti Utama	
a. Nama lengkap	: Drs. Muzilman Muslim, M.Si
b. Tempat/tanggal lahir	: Banda Aceh, 2 Oktober 1960
c. NIDN	: 03-0210-6001
d. Jabatan fungsional	: Lektor (III/d)
e. Fakultas	: Teknik dan Sains
f. Program studi	: Fisika
g. Alamat rumah	: Jl. Langgar III No. 9 - RT/RW: 010/005 - Pondok Bambu - Duren Sawit - Jakarta 13430
h. Nomor HP	: 0813-1911-6841
i. Alamat surat	: muzilman@gmail.com
Jangka Waktu Penelitian	: 4 bulan
Biaya Penelitian	: Rp. 5.100.000,00

Jakarta, 23 Pebruari 2021

Menyetujui,
Dekan Fakultas Teknik dan Sains

Pengusul,

Novi Azman, ST., MT
NID. 0301050724

Drs. Muzilman Muslim, M.Si.
NID. 0302106001

Menyetujui
Wakil Rektor Bidang PPMK

Prof. Dr. Ernawati Sinaga, M.S. Apt.,
NIP/NIK : 195507311981032001

RINGKASAN

Penyakit jantung koroner masih menjadi penyebab kematian utama di dunia. Amerika Serikat mencatat 1,2 juta kematian per tahunnya akibat penyakit ini. Sementara itu, survey yang dilakukan oleh Kementerian Kesehatan RI menyebutkan, penyakit jantung dan pembuluh darah adalah penyebab nomor satu kematian di Indonesia, dan penyakit arteri koroner merupakan kontributor utamanya. Salah satu penyebab gangguan jantung adalah terjadinya penyempitan atau penyumbatan pembuluh darah ke jantung atau disebut juga arteri koroner. Tindakan medis yang populer dilakukan adalah kateterisasi jantung (*cardiac catheterization*). Tindakan kateterisasi jantung dilakukan di ruangan *Cath Lab*. Peralatan utama yang digunakan pada ruang kateterisasi jantung adalah fluoroskopi *C-Arm*. Alat ini berfungsi sebagai pemandu bagi dokter agar kateter dapat ditempatkan pada posisi yang tepat. Alat ini dapat memperlihatkan proses pelaksanaan tindakan medis seperti operasi tulang atau bagian dalam organ tubuh manusia lainnya secara *real time*. Teknologi fluoroskopi *C-Arm* bekerja dengan cara melewatkan berkas sinar-X melalui tubuh pasien. Teknologi ini memiliki kemampuan menampilkan citra objek secara tiga dimensi dari berbagai sisi dan posisi secara kontinyu. Objek dapat terlihat lebih jelas dan utuh, sehingga meminimalkan kesalahan dalam memprediksi letak objek, mendiagnosa, dan tindakan medis lainnya. *C-Arm* juga merupakan metode yang akurat dalam melakukan radiografi pembuluh darah (*angiography coronary*). *C-Arm* merupakan alat radiologi yang menghasilkan sinar-X untuk melihat objek pasien secara langsung (*real time*) dengan cara fluoroskopi, Seperti sinar-X menggunakan radiasi pengion yang besar untuk menghasilkan detil gambar tiga dimensi yang berpotensi merusak DNA dan menyebabkan katarak bagi organ mata. Jumlah sempel dalam dalam studi pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* (PCI) adalah 10, menggunakan 4 paket TLD dalam 1 pemeriksaan yaitu 1 paket untuk kolimator, 2 paket untuk dokter dan perawat yang diletakkan di kaca mata google bagian luar dan 1 paket sebagai *background*. Penelitian bertujuan mendapatkan nilai dosis efektif yang di terima organ mata dokter dan perawat tanpa menggunakan google serta mendapatkan perbedaan nilai dosis efektif yang diterima dokter dan perawat pada pemeriksaan PCI. Dosis efektif yang diterima organ mata dokter tanpa pemakaian kaca mata goggle berkisar antara 0,0011–0,0054 mSv.. Berbeda dengan hasil penelitian jika dokter menggunakan kacamata goggle kisaran 0,00005 mSv hingga 0,00022 mSv. Jika di kalikan dalam waktu 1 tahun seorang dokter menerima dosis antara 1,168-8,4315 mSv/jam tanpa penggunaan goggle dan 0,0365-0,3285 mSv/jam untuk pemakaian goggle pertahunnya serta untuk perawat mendapatkan hasil dosis kisaran 0,0010 mSv sampai 0,0025 mSv tanpa memakai kaca mata goggle dikalikan dengan kurun waktu 1 tahun berkisar antara 0,803-1,7155 mSv/jam. Berbeda dengan pemakaian kacamata goggle berkisar antara 0,00001 mSv hingga 0,00010 mSv, dengan menggunakan kacamata goggle perawat dalam kurun waktu 1 tahun menerima dosis kisaran 0,0109-0,1460 mSv/jam. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini lebih rendah dari nilai dosis yang ditetapkan oleh PERKA BAPETEN dan ICRP.

Kata kunci: *C-Arm*, dosis efektif, fluoroskopi sinar-X, organ mata, kaca mata goggle

SUMMARY

Coronary heart disease is still the leading cause of death in the world. The United States records 1.2 million deaths annually from this disease. Meanwhile, a survey conducted by the Indonesian Ministry of Health stated that heart and blood vessel disease is the number one cause of death in Indonesia, and coronary artery disease is the main contributor. One of the causes of heart problems is the occurrence of narrowing or blockage of blood vessels to the heart or also known as coronary arteries. The most popular medical procedure is cardiac catheterization. Cardiac catheterization is performed in the Cath Lab room. The main equipment used in the cardiac catheterization chamber is the C-Arm fluoroscopy. This tool serves as a guide for the doctor so that the catheter can be placed in the right position. This tool can show the process of carrying out medical actions such as bone surgery or other parts of the human body in real time. C-Arm's fluoroscopy technology works by passing X-ray beams through the patient's body. This technology has the ability to display images of objects in three dimensions from various sides and positions continuously. Objects can be seen more clearly and intact, thereby minimizing errors in predicting the location of objects, diagnosing, and other medical actions. The C-Arm is also an accurate method of performing coronary angiography. C-Arm is a radiology tool that produces X-rays to view patient objects in real time by means of fluoroscopy, such as X-rays using large amounts of ionizing radiation to produce detailed three-dimensional images that have the potential to damage DNA and cause cataracts for the eye organs. . The number of samples in the Percutaneous Coronary Intervention (PCI) examination study was 10, using 4 TLD packages in 1 examination, namely 1 package for collimators, 2 packages for doctors and nurses placed on the outer google glasses and 1 package as a background. This study aims to obtain the value of the effective dose received by the eye organs of doctors and nurses without using google and to obtain the difference in the value of the effective dose received by doctors and nurses on PCI examination. The effective dose received by the doctor's eye without the use of goggles ranges from 0.0011–0.0054 mSv.. It is different from the results of the study if the doctor uses goggles in the range of 0.00005 mSv to 0.00022 mSv. If multiplied within 1 year a doctor receives a dose between 1.168-8.4315 mSv/hour without the use of goggles and 0.0365-0.3285 mSv/hour for the use of goggles per year and for nurses, the results are in the range of 0.0010 mSv to 0.0025 mSv without wearing goggles multiplied by a period of 1 year ranging from 0.803-1.7155 mSv/hour. In contrast to the use of goggles ranging from 0.00001 mSv to 0.00010 mSv, by using goggles nurses within 1 year receive a dose in the range of 0.0109-0.1460 mSv/hour. The results obtained in this study were lower than the dose values determined by PERKA BAPETEN and ICRP.

Keywords: C-Arm, effective dose, fluoroscopy, eye organs, goggles

UCAPAN TERIMAKASIH

Pelaksanaan penelitian ini tidak mungkin berjalan jika tanpa dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih setinggi-tingginya kepada: Bapak Rektor Universitas Nasional, dan Bapak Direktur Rumah Sakit Hermina Depok. Atas peran dan kemudahan yang diberikan oleh kedua beliau, peneliti dapat melaksanakan dan menyelesaikan kegiatan penelitian ini sebagaimana yang telah direncanakan. Ucapan terimakasih tak lupa pula peneliti sampaikan kepada Wakil Rektor Bidang Penelitian dan Kerjasama merangkap Ketua LPPM Ibu Prof. Dr. Ernawati Sinaga, M. Apt. dan Bapak Wakil Rektor bidang Keuangan dan Sumber Daya Manusia Prof. Dr. Eko Sugianto, M.Si. beserta semua jajarannya yang karena posisi dan kewenagannya telah turut memperlancar proses pelaksanaan dan penyelesaian kegiatan penelitian ini. Atas segala kemudahan dan bantuan yang telah diberikan, sehingga memungkinkan kegiatan ini dapat dapat terselsasikan, peneliti ucapkan ribuan terimakasih kepada semua pihak atas semua dukungannya, Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa membalas segala kebaikan yang diberikan. Aamiin

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil aalamiin. Segala puji bagi Allah *Rabb* semesta alam karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian berjudul “**Analisis Dosis Radiasi Dual Energy X-Ray Absorptiometry Dalam Pengukuran Bone Mineral Densitometry - Penegakan Azas Proteksi Radiasi di Unit BMD**”. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW. kepada para sahabat, serta kepada para ummatnya yang hidup di akhir zaman ini. *Amin Ya Rabbal Aalamiin.*

Proses kegiatan penelitian ini, dimulai dari perumusan ide penelitian hingga penyusunan laporan penelitian. Semua tahapan itu berjalan dengan lancar, tanpa hambatan berarti apapun. Namun jika harus dibuktikan maka bagian tersulit dari proses penelitian ini adalah pada tahap pengumpulan sampel penelitian (yaitu pasien dengan kelainan tulang). Oleh karena itu secara khusus penulis ingin memberikan apresiasi yang tinggi kepada para pasien yang telah menjadi bagian kunci dari kesuksesan kegiatan penelitian ini. Hal senada juga penulis tujukan kepada dokter dan fisikawan medik, serta semua staf radiografer, teknisi dan staf pelayanan medik yang telah mendukung penuh kegiatan akuisisi data di unit BMD Rumah Sakit Siaga Pasar Minggu Jakarta.

Atas segala dukungan dan kerjasama dari semua pihak yang telah disebutkan, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya. *Insyah Allah* amal dan pengorbanannya akan mendapat balasan dan ganjaran setimpal dari Allah SWT. Terakhir, penulis berharap semoga laporan penelitian ini tidak hanya menjadi tumpukan kertas dalam rak perpustakaan saja, melainkan menjadi sumber khasanah ilmiah yang bermanfaat yang akan memperkaya pengetahuan insan akademis khususnya dan masyarakat luas umumnya.

Jakarta, 23 Nopember 2019

Penulis

Muzilam Muslim

DAFTAR ISI

LEMBAR PENEGERAHAN
RINGKASAN PENELITIAN
SUMMARY

UCAPAN TERIMA KASIH
KATA PENGANTAR

DAFTAR TABEL
DAFTAR GAMBAR
DAFTAR LAMPIRAN

BAB I` PENDAHULUAN

- 1.1 Latar Belakang
- 1.2 Kerangka Teoritis
- 1.3 Permasalahan
- 1.4 Urgensi
- 1.5 Tujuan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

- 2.1 *Dual X-Ray Absorptiometri*
- 2.2 *Bone Mineral Densitometry*
- 2.3 *Osteoporosis*
- 2.4 Prinsip Proteksi Radiasi

BAB III METODE PENELITIAN

- 3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian
- 3.2 Peralatan Penelitian
- 3.3 Variabel Penelitian
- 3.4 Langkah Kerja Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

- 4.1 Hasil Penelitian
- 4.2 Pembahasan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA
RINCIAN PENGGUNAAN DANA
DRAF ARTIKEL ILMIAH

SINOPSIS UNTUK PENELITIAN LANJUTAN

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Kerangka Teoritis	2
1.3 Permasalahan	2
1.4 Urgensi Penelitian.....	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sumber Radiasi Sinar-X	4
2.2 Tabung Sinar-X	5
2.3 Faktor Eksposi	6
2.4 Dosis Radiasi Permukaan	7
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	10
3.1 Studi Lokasi Penelitian	11
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	12
3.3 Peralatan dan Bahan Penelitian	12
3.3.1 Pesawat Sinar-X	12
3.3.2 Kaset dan Alat Processing	12
3.3.3 Thermoluminisence Dosimeter	12
3.3.4 TLD Reader Harsaw.....	15
3.4 Metode penelitian	13
3.5 Analisis data	13
3.6 Langkah kerja penelitian	14
BAB IV PERKIRAAN BIAYA DAN JADWAL PENELITIAN	15
4.1 Perkiraan Biaya.....	15
4.2 Rician Peruntukan Biaya	
4.3 Jadwal Pelaksanaan	16

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Penyakit jantung koroner masih menjadi penyebab kematian utama di dunia. Amerika Serikat mencatat 1,2 juta kematian per tahunnya akibat penyakit ini. Sementara itu, survey yang dilakukan oleh Kementerian Kesehatan RI menyebutkan, penyakit jantung dan pembuluh darah adalah penyebab nomor satu kematian di Indonesia, dan penyakit arteri koroner merupakan kontributor utamanya. Salah satu penyebab gangguan jantung adalah terjadinya penyempitan atau penyumbatan pembuluh darah ke jantung atau disebut juga arteri koroner. Tindakan medis yang populer dilakukan adalah kateterisasi jantung (*cardiac catheterization*). Tindakan kateterisasi jantung dilakukan di ruangan khusus yaitu diruang laboratorium kateterisasi jantung atau lebih dikenal dengan *Cath Lab*. Peralatan utama yang digunakan pada ruang kateterisasi jantung adalah fluoroskopi sinar-X [1]. Alat ini berfungsi sebagai pemandu bagi dokter agar kateter dapat ditempatkan pada posisi yang tepat. Alat ini dapat memperlihatkan proses pelaksanaan tindakan medis seperti operasi tulang atau bagian dalam organ tubuh manusia lainnya secara *real time* [2]. Teknologi fluoroskopi *C-Arm* bekerja dengan cara melewatkan berkas sinar-X melalui tubuh pasien. Teknologi ini memiliki kemampuan menampilkan citra objek secara tiga dimensi dari berbagai sisi dan posisi secara kontinyu. Objek dapat terlihat lebih jelas dan utuh, sehingga meminimalkan kesalahan dalam memprediksi letak objek, mendiagnosa, dan tindakan medis lainnya. *C-Arm* juga merupakan metode yang akurat dalam melakukan radiografi pembuluh darah (*angiography coronary*).

Penggunaan sinar-X dalam teknologi peralatan pencitraan memiliki manfaat yang besar dibidang kesehatan. Namun disisi lainnya mresiko tersendiri jika dosis paparan radiasi yang digunakan melebihi batas aman yang diizinkan. Diantaranya adalah dapat menyebabkan kanker di kemudian hari, berefek pada jaringan katarak, kemerahan kulit, dan rambut rontok, kemungkinan reaksi yang terkait dengan agen kontras yang disuntikkan secara intravena. Oleh karena itu dosis radiasi yang gunakan dan yang diterima pekerja radiasi tetaplah harus dikendalikan atau dibatasi. Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) telah mengeluarkan peraturan Nomor 5 Tahun 2016 tentang keselamatan radiasi dalam produksi barang konsumen [3]. Pada pasal 23 dinyatakan: untuk pekerja radiasi, dosis yang diterima lensa mata tidak boleh

melebihi 20 mSv pertahun rata-rata selama 5 (lima) tahun berturut-turut, dan 50 mSv dalam 1 (satu) tahun tertentu. Sebagaimana diketahui, efek radiasi yang ditimbulkan oleh organ mata dapat mengakibatkan kerusakan pada organ mata seperti mengakibatkan katarak dan kerusakan organ mata lainnya [4].

Permasalahan yang sering ditemukan dilapangan adalah masih banyak para pekerja radiasi belum mematuhi dan mengabaikan prinsip dan prosedur proteksi radiasi, saat mengoperasikan peralatan fluoroscopy. Oleh karena itu perlu dilakukan studi untuk mengevaluasidosis radisi yang diterima pekerja radiasi yang bertugas di ruang *Cath-Lab* saat melakukan tindakan radiologi intervensional dan kateterisasi jantung vaskular baik terapi maupun diagnosis, khususnya terhadap organ vital mata yang sangat sensitive terhadap radiasi sinar-X.

1.2 Kerangka Teoritis

Fluoroskopi adalah teknik pencitraan yang digunakan untuk mendapatkan gambar *real-time* dari struktur internal pasien. Teknik ini menggunakan sumber sinar-X yang digabungkan dengan penguat gambar dan perangkat perekam video. Hal ini memungkinkan citra sinar-X dapat dilihat secara *real time*, dan mendapatkan gambaran gerakan dinamis dari struktur internal, serta membantu melokalisasi lesi [6, 7]. Struktur mesin *C-Arm* berbentuk huruf C dengan komponen utamanya terdiri dari dua unit utama yaitu tabung sinar- X terletak di satu ujungnya dan detektor panel datar pada ujung yang lain. Flouroskopi modern menggunakan image intensifier atau kamera video CCD sebagai detektornya yang dapat merekam gambar dan ditampilkan di monitor [7 p. 15]

Alat ini memiliki banyak keunggulan dibanding alat sejenis lainnya, seperti *CT Scan*. Diantaranya adalah mudah mendeteksi dan dapat melihat langsung letak objek dalam tubuh yang ingin diperiksa. Objek ditampilkan secara tiga dimensi, sehingga terlihat lebih jelas dan utuh dari berbagai sisi dan posisi. Selain itu alat ini juga dapat memvisualisasikan; proses pelaksanaan tindakan medis,dan bagian dalam organ tubuh manusia lainnya secara *real time*. Kesalahan dalam memprediksi letak objek, diagnosis, dan tindakan medis lainnya dapat diminimalisir. Membuat proses operasi dan tindakan medis lainnya dengan demikian dapat berjalan mudah, cepat, akurat, aman, dan nyaman. Dengan kelebihanannya ini mesin *C-Arm Radiography Fluoroscopy* ini sering digunakan untuk menunjang prosedur medis seperti :pemeriksaan angiografi, studi terapeutik, jantung, prosedur ortopedi, gastrointestinal, dan prosedur Kardiovaskular [8]

Kuantitas fisik dasar yang digunakan dalam proteksi radiologikal adalah dosis serapan D_T , dirata-ratakan pada organ atau jaringan tertentu. Dosis serapan dinyatakan dalam unit grey (Gy), dengan 1 Gy sama dengan 1 joule per kilogram. Dosis efektif dan dosis ekuivalen adalah besaran dasar untuk tujuan proteksi radiasi misalnya, batas dosis yang dinyatakan. Batas dosis efektif dimaksudkan untuk membatasi kerugian kesehatan total dari paparan radiasi akibat efek stokastik. Batas dosis yang setara diperlukan untuk kulit dan lensa mata untuk memastikan bahwa efek deterministik di jaringan ini dihindari[9 p.300]

Tujuan dari program keselamatan radiasi adalah untuk menyediakan layanan konsultasi pengawasan regulasi, pendidikan dan regulasi yang melayani meminimalkan paparan radiasi ionisasi sambil mempromosikan penggunaan diagnosis, terapi dan penelitian sumber radiasi yang aman dan efektif. Salah satu tujuan dari program keselamatan radiasi adalah untuk menjaga risiko terhadap pekerja radiasi pada tingkat yang sebanding dengan risiko akupasi aman lainnya. Filosofi yang diangkat adalah “*as low as reasonably achievable*” (ALARA). Keamanan radiasi berarti meminimalkan paparan radiasi terhadap semua individu; termasuk pasien yang sedang diberi tindakan itu sendiri.

1.3 Permasalahan

Kebutuhan dan tuntutan akan peralatan diagnosis yang semakin akurat, waktu pemeriksaan yang semakin pendek, dan aman kian mengemuka. Hal ini mendorong para produsen peralatan kesehatan berlomba untuk menciptakan peralatan diagnostic maupun terapi yang mendekati tuntutan konsumen tersebut. Salah satunya adalah sistim peralatan fluoroskopi mobil atau pesawat *C-arm* yang mampu melakukan radiografi pembuluh darah atau katerisasi jantung. Sistem fluoroskopi mobil dikenal sebagai *C-arm*, terdiri dari dua unit utama yaitu generator sinar-X dan detektor (penguat gambar atau panel datar) yang dipasang dalam struktur beroda berbentuk busur (huruf C) dan unit stasiun kerja yang digunakan untuk memvisualisasikan, menyimpan, dan memanipulasi gambar.

Secara umum, fluoroskopi menggunakan pengaturan kVp (kilo-voltage peak) dan mAs (milli-ampere-seconds) yang jauh lebih rendah namun tetap memberikan gambar yang cukup baik dari semua tulang panjang yang di diagnostik. Sistim fluoroskopi memiliki faktor kVp berkisar antara 45 hingga 55 dengan nilai mA rendah 1,2 hingga 1,7. Dalam radiografi, nilai kVp berkisar antara 55 hingga 65 dengan nilai mAs konstan yaitu 10. Perbesaran gambar dalam fluoroskopi membantu dalam tampilan *close-up* tetapi ukuran tulang tidak seperti radiografi.

Kontras dan detail gambar fluoroskopi tidak sebaik gambar radiografi, tetapi sebagian besar gambar masih cukup diagnostic [10 p. 340].

Prosedur sinar-X secara khas melibatkan serangkaian eksposur sebagian tubuh. Prosedur ini menghasilkan pola deposisi energi yang kompleks pada pasien, dan oleh karena itu berbagai strategi pengukuran dosis harus digunakan. Dosis organ pada umumnya sulit untuk dinilai, dan dalam praktiknya pemantauan rutin pasien biasanya didasarkan pada kuantitas dosis yang dapat diukur secara langsung, seperti dosis permukaan masuk (dengan hamburan balik per radiograf dan, terutama untuk prosedur kompleks yang melibatkan fluoroskopi, produk area dosis per pemeriksaan) [11 p. 312]

Tingkat dosis untuk pasien yang menjalani pemeriksaan diagnostik dengan sinar X pada prinsipnya ditentukan oleh kualitas gambar yang diperlukan dan sejauh mana pemeriksaan yang diperlukan untuk memenuhi tujuan klinis tertentu. Dalam praktiknya, banyak faktor yang berkaitan dengan peralatan radiologi dan prosedur yang digunakan memiliki pengaruh pada proses pencitraan. Ukuran pasien, tentu saja, merupakan penentu tambahan dosis untuk pemeriksaan individu, meskipun faktor ini tidak dapat digunakan secara umum untuk meningkatkan praktik.

Meskipun fluoroskopi menggunakan pengaturan kVp (kilo-voltage peak) dan mAs (milli-ampere-seconds) yang jauh lebih rendah, namun lamanya penggunaan dan pemeriksaan fluoroskopi dengan *C-Arm* adalah menjadi faktor lain yang harus diperhitungkan, terkait tingkat penerimaan dosis radisi bagi pekerja radisai. Apakah hal ini akan berakibat tingkat dosis paparan radiasi pengion (sinar-X) yang dihasilkan oleh peralatan radiografi juga menjadi tinggi ?. Jika demikian halnya maka dosis radiasi yang diterima oleh pasien dan pekerja radiasi (dokter dan perawat) berpotensi semakin meningkat juga. Peningkatan dosis radiasi sinar-X yang diterima manusia akan berefek negatif pada organ *at risk* manusia, seperti organ mata, tyroid, gonad dan lain-lain. Efek yang ditimbulkannya bisa stokastik dan deterministik (non stokastik). Ini sangat bergantung pada jumlah dosis dan luas lapangan radiasi yang diterima oleh manusia.

1.4 Urgensi Penelitian

Penyakit jantung iskemik (ischaemic heart disease) yakni masalah jantung yang dipicu penyempitan pembuluh darah arteridan stroke masih menjadi pembunuh nomor satu di dunia. Menurut temuan terbaru yang dipublikasikan dalam *Journal of the American College of Cardiology* pada 9 Desember 2019 lalu, penyakit ini jadi penyebab sepertiga dari seluruh

kematian yang ada di dunia, dengan jumlah kematiannya juga terus meningkat. Selama periode 1990-2019, kasus penyakit jantung membengkak hampir dua kali lipat, dari 271 juta menjadi 523 juta kasus, dengan angka kematian meningkat, dari 12,1 juta menjadi 18,6 juta [12]. Sementara data di Indonesia dipaparkan dalam hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) tahun 2018. Dilaporkan, angka kejadian penyakit jantung dan pembuluh darah terus meningkat dari tahun ke tahun. Paling tidak terdapat 15 dari 1000 orang, atau sekitar 2.784.064 individu di Indonesia menderita penyakit jantung [13]

Di dunia kedokteran, metode mendiagnosa kelainan pembuluh darah arteri sebagai suplai utama darah ke jantung dikenal dengan metode Angiografi Koroner. Angiografi adalah pemeriksaan sinar-X khusus untuk memvisualisasikan pembuluh darah. Untuk melakukan radiografi pembuluh darah dibutuhkan sebuah sistem peralatan, *C-arm* nama peralatannya. Pada salah satu ujungnya terletak tabung sinar-X dan pada ujung lainnya ada detektor panel datar. Dengan bantuan media kontras tertentu yang disuntikkan melalui kateter ditempatkan sedekat mungkin dengan pembuluh darah yang akan divisualisasikan. Prosedur ini dilakukan dengan menggunakan sinar-X yang kemudian hasilnya ditampilkan melalui citra organ tubuh tertentu bersekel menyerupai video. Peralatan fluoroskopi *C-arm* memungkinkan bekerja dengan berbagai macam gerakan, dan karakteristik strukturnya memungkinkan penggunaannya dalam kasus intraoperatif, karena busur dapat ditempatkan di sekitar pasien sambil berbaring di meja pemeriksaan. *C-arm* juga dapat digunakan dalam berbagai prosedur bedah seperti kardiologi, ortopedi, dan urologi.

Metode fluoroskopi mampu menampilkan gerakan rangkaian gambar secara terus menerus dengan kecepatan maksimum 25-30 gambar per detik, serupa dengan kecepatan televisi normal [14, p. 34]. Sedangkan paparan sinar-X yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu citra fluoroskopik tergolong rendah (dibandingkan radiografi). Pada prosedur fluoroskopi, eksposur yang tinggi pada pasien akan menghasilkan banyak citra. Oleh karena itu, waktu total pengoperasian fluoroskopi merupakan salah satu faktor utama yang menentukan tingkat paparan dosis radiasi yang diterima pasien. Pekerja radiasi medis (dokter, perawat, maupun teknisi) yang mengoperasikan peralatan fluoroskopi *C-arm* dalam jangka waktu yang lama akan berpotensi menerima paparan radiasi yang tinggi.

Salah satu organ vital yang berpotensi menerima paparan radiasi dalam penoperasian peralatan fluoroskopi *C-arm* adalah organ mata. Sebagaimana diketahui, organ mata (lensa mata) bersifat radiosensitif. Mata sangat peka dan rentan terhadap kerusakan sebagai akibat terpapar

radiasi pengion. Resiko terburuknya yang bisa terjadi adalah pembentukan opasitas lensa dan katarak, yang mengakibatkan hilangnya atau menurunnya fungsi utama lensa mata. Oleh karena itu, penegakan prosedur proteksi radiasi sebagaimana yang telah ditetapkan, seperti memakai pelindung mata yang tepat dan pelindung organ-organ vital lainnya (tyroid, dan gonad) adalah suatu keharusan yang tak dapat diabaikan begitu saja. Pekerja radiasi di bagian intervensi berpotensi menerima paparan radiasi pada lensa mata yang cukup signifikan. Untuk itu perlu dilakukan studi untuk mengetahui tingkat terimaan dosis pada organ mata bagi para pekerja radiasi terutama dokter dan perawat yang mengoperasikan peralatan flouroskopi *C-arm*.

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, maka ditentukanlah tujuan penelitian, yaitu sebagai berikut:

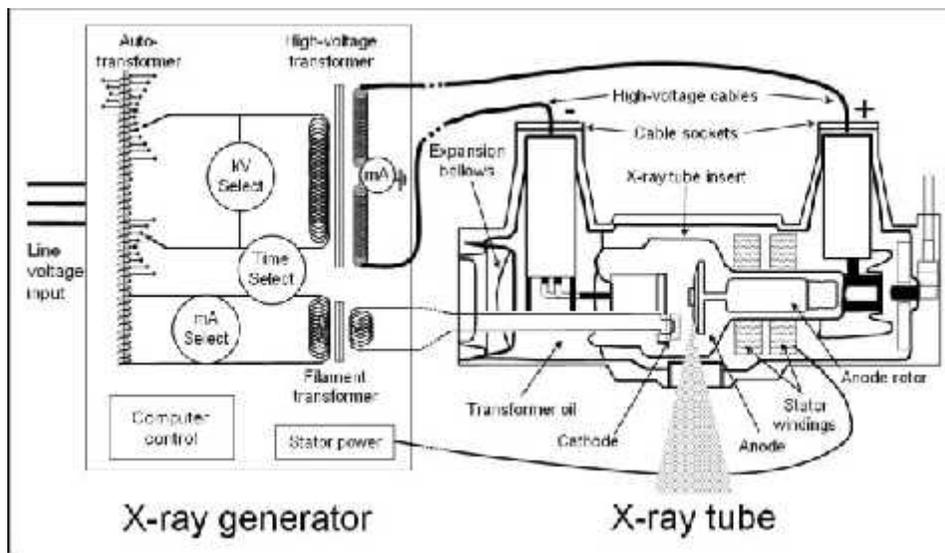
1. Mendapatkan nilai dosis radiasi efektif yang di terima organ mata, untuk tenaga dokter dan perawat saat tidak menggunakan kacamata pelindung radiasi.
2. Mendapatkan nilai dosis radiasi efektif yang terima organ mata, untuk tenaga dokter dan perawat saat menggunakan kacamata pelindung radiasi.
3. Mendapatkan nilai dosis efektivitas dari kacamata pelindung radiasi

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sinar-X

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik yang sejenis dengan gelombang radio, panas, cahaya, dan sinar ultraviolet, tetapi dengan panjang gelombang yang sangat pendek yaitu hanya 10^{-8} panjang gelombang cahaya tampak, karena panjang gelombang yang pendek itu sinar-X dapat menembus objek atau bahan. Sinar-X bersifat heterogen, panjang gelombangnya bervariasi dan tidak terlihat. Perbedaan sinar-X dan sinar elektromagnetik lainnya juga terletak pada panjang gelombang sinar-X dan sinar elektromagnetik sangat pendek dan dinyatakan dalam

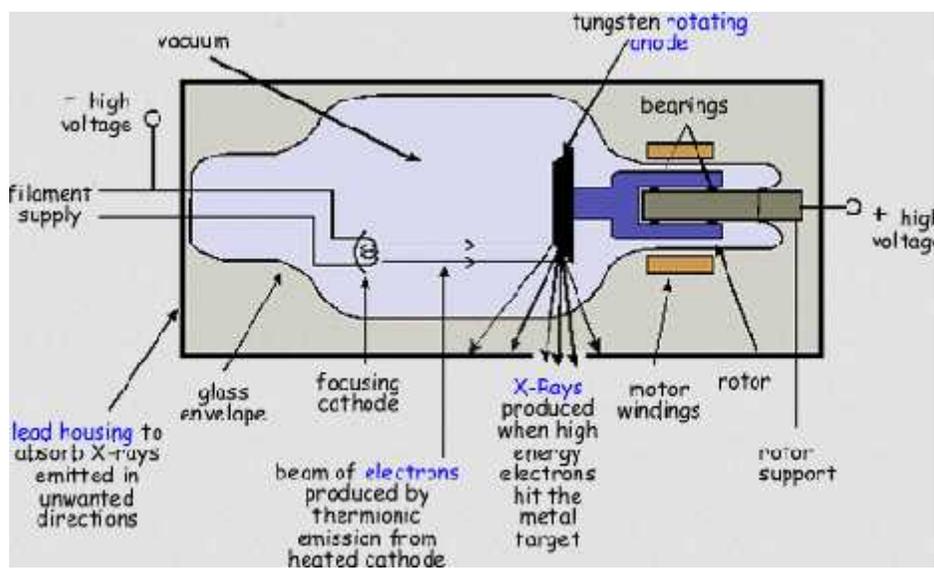
satuan “angstrom”. Ada dua komponen utama untuk menghasilkan sinar-X, yaitu komponen pembangkit sinar-X dan tabung sinar-X, seperti terlihat pada gambar 2.1 .



Gambar 2.1 Komponen penghasil sinara-X: generator sinar-X dan tabung sinar-X[15]

Secara teknis syarat-syarat terbentuknya sinar-X adalah :

1. Adanya generator sebagai pembangkit tegangan tinggi minimal 220 Volt
2. Adanya beda tegangan yang tinggi antara anoda katoda
3. Adanya filamen yang mampu membangkitkan awan *nelektron*
4. Adanya *electron* yang berpindah dari orbit atom anoda (target)
5. Pancaran energi radiasi sinar-X dari suatu titik *focus*.



Gambarm 2.2 Proses pembangkitan sinar-X [16]

Sifat-Sifat Sinar-X

1. Daya tembus

Sinar-X dapat menembus bahan atau massa yang padat dengan daya tembus yang sangat besar dan digunakan dalam radiografi. Semakin tinggi tegangan tabung yang digunakan (kV), maka semakin besar daya tembusnya.

2. Pertebaran

Apabila berkas sinar-X melalui suatu bahan zat atau obyek, maka berkas sinar tersebut akan bertebaran keseluruhan arah, menimbulkan radiasi sekunder (radiasi hambur).

3. Penyerapan

Sinar-X dapat diserap oleh zat atau bahan yang dilaluinya sesuai dengan berat atom atau kepadatan zat. Makin tinggi nomor atom atau makin tinggi makin padat zat tersebut maka makin besar penyerapannya.

4. Fluoresensi (Pendar Flour)

Sinar-X menyebabkan bahan-bahan tertentu seperti kalsium-tungs atau zink-sulfide memancarkan cahaya (luminisensi), bila bahan tersebut dikenai radiasi sinar-X.

5. Ionisasi

Sinar-X dengan energi yang sangat tinggi bila melalui obyek akan menimbulkan ionisasi partikel-partikel atau zat tersebut.

6. Efek Fotografik

Dapat menghitamkan film rontgen sehingga dapat digunakan pada pemeriksaan radiologi.

7. Efek Biologi Radiasi

Efek biologi adalah efek yang timbul akibat penyerapan energi foton oleh sel- sel biologis. Setiap jenis sel dalam tubuh manusia memiliki ketahanan tertentu terhadap sejumlah penyinaran sinar-X [1]. Efek biologi radiasi digolongkan menjadi 4 jenis, yaitu sebagai berikut:

- a) Efek pewarisan atau efek genetik adalah efek radiasi yang dirasakan oleh keturunan dari orang yang menerima radiasi tersebut.
- b) Efek stokastik adalah efek radiasi yang tak mengenal nilai dosis ambang. Efek ini akan timbul setelah melalui masa tenang yang cukup lama.
- c) Efek radiasi somatik adalah suatu efek radiasi yang dirasakan secara langsung oleh orang yang menerima radiasitersebut.
- d) Efek non-stokastik adalah efek radiasi yang kualitas keparahannya bervariasi menurut dosis

dan hanya timbul bila dosis ambang dilalui. Umumnya timbul saat setelah radiasi, adanya penyembuhan secara langsung (tergantung dari tingkat keparahannya dosisradiasi)

2.2 Angiografi Koroner

Angiografi Koroner atau Katerisasi Koroner adalah sebuah prosedur pemeriksaan invasif menggunakan teknologi pencitraan sinar-X. Tujuannya adalah untuk dapat melihat penyempitan atau penyumbatan atau struktur pembuluh darah koroner pada pasien yang diduga mempunyai penyakit jantung koroner. Prosedurnya adalah dengan cara memasukkan pipa tipis dan lentur yang diistilahkan sebagai kateter kedalam pembuluh darah dibagian tubuh tertentu misalnya lengan, paha, atau leher. Untuk mempermudah pemeriksaan digunakan zat pewarna kontras yang disuntikkan kedalam aliran darah melalui pipa atau kateter. Kemudian, dengan bantuan pesawat pencitraan sinar-X gambaran aliran zat pewarna kontras yang mengalir dalam arteri koroner dicitrakan dan ditampilkan pada monitor.

Angiografi koroner merupakan pemeriksaan yang paling akurat dan sesuai standar untuk mengidentifikasi penyempitan pembuluh darah yang berhubungan dengan proses aterosklerosis di arteri koroner jantung. Selain itu, angiograf koroner merupakan pemeriksaan yang paling andal untuk memberikan informasi anatomi koroner pada pasien penyakit jantung koroner pasca pengobatan medik maupun revaskularisasi, seperti *Percutaneous Coronary Intervention (PCI)*, or *Coronary Artery Bypass Graft (CABG)*. Angiograf koroner dilakukan jika hasil pemeriksaan noninvasif kurang informative atau karena ada kontra indikasi pemeriksaan non invasif.

Berdasarkan daerah pembuluh darah yang diperiksa, angiografi dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

- *Coronary angiography*, untuk memeriksa pembuluh darah koroner di jantung
- *Cerebral angiography*, untuk memeriksa pembuluh darah di otak
- *Renal angiography*, untuk memeriksa pembuluh darah di ginjal
- *Pulmonary angiography*, untuk memeriksa pembuluh darah di paru-paru
- *Fluorescein angiography*, untuk memeriksa pembuluh darah di mata
- *Extremity angiography*, untuk memeriksa pembuluh darah di lengan dan tungkai

Selain menggunakan teknik foto Rontgen, angiografi juga dapat menerapkan teknik pemindaian melalui *computerized tomography (CT) angiography* atau *magnetic resonance (MR) angiography*.

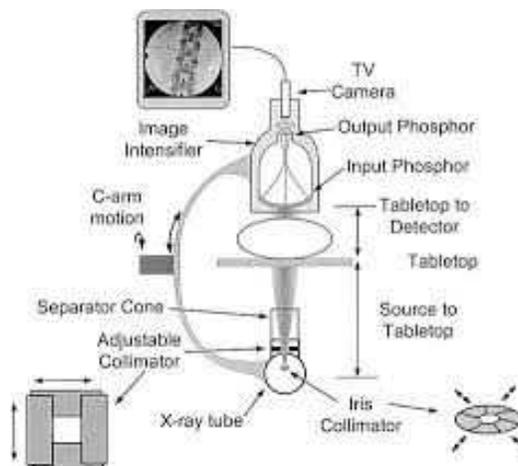
2.2 Sistem Fluoroscopi

Pesawat rontgen adalah alat atau modalitas medik yang dapat menghasilkan sinar-X, baik untuk keperluan fluoroskopi maupun radiografi dalam pelayanan kesehatan untuk membantu menegakkan diagnosa. Sistem fluoroskopi mobil dikenal sebagai C-arm (Gambar 1-27), terdiri dari dua unit, yaitu generator sinar-X dan detektor (image intensifier atau panel datar) dipasang bentuk pada struktur busur beroda dan unit workstation yang digunakan untuk visualisasi, menyimpan, dan memanipulasi citra.



Gambar 2.3 Mesin C-Arm mobile [17]

Fluoroscopi adalah pesawat radiologi yang memperlihatkan gambaran struktur tubuh melalui pemanfaatan paparan sinar-X secara *real time*. Paparan sinar-X secara terus-menerus pada bagian tubuh dan diteruskan pada monitor agar dapat terlihat bagian dan gerak organ secara terperinci.



Gambar 2.4: Struktur Sistem Mesin C-Arm [18]

2.7 Proteksi Radiasi

Proteksi radiasi atau keselamatan radiasi adalah cabang ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan teknik kesehatan lingkungan yaitu tentang perlindungan yang perlu diberikan kepada seseorang atau sekelompok orang tertentu terhadap kemungkinan diperolehnya dampak negatif dari radiasi pengion, sementara kegiatan yang diperlukan dalam pemakaian sumber radiasi pengion masih tetap dilaksanakan. Dampak negatif ini disebut Somatik apabila diderita oleh orang yang terkena radiasi, dan disebut akibat genetik apabila dialami oleh keturunannya. falsafah “ALARA”

a. Prinsip Proteksi Radiasi

Prinsip proteksi radiasi berdasarkan *Basic Safety Standard* (BSS) terdiri atas 3 unsur [8]:

b. Justifikasi

Justifikasi ialah semua kegiatan yang berkaitan dengan paparan radiasi yang hanya dilakukan ketika menghasilkan nilai lebih dan memberikan manfaat yang nyata. Justifikasi dapat ditentukan dengan mempertimbangkan kerugian dan keuntungan dengan menggunakan analisa untung-rugi untuk meyakinkan bahwa akan terdapat keuntungan lebih dari dilakukannya kegiatan tersebut.

c. Optimasi

Pada optimasi, semua paparan harus diusahakan serendah yang layak dicapai (*As Low As Reasonably Achievable* – ALARA) dengan mempertimbangkan faktor sosial dan ekonomi. Syarat ini menyatakan bahwa kerusakan atau kerugian dari suatu kegiatan yang melibatkan radiasi harus ditekan serendah mungkin dengan cara menerapkan peraturan proteksi. Dalam pelaksanaannya, syarat ini biasanya dapat dipenuhi dengan penentuan nilai batas acuan bagi tindakan yang akan dilakukan.

d. Pembatasan

Semua dosis ekivalen yang diterima seseorang tidak boleh melampaui Nilai Batas Dosis (NBD) yang ditetapkan. Pembatasan nilai dosis tersebut dimaksud bertujuan untuk menjamin bahwa tidak adanya seseorang yang terkena resiko radiasi baik efek stokastik maupun efek non-stokastik akibat dari penggunaan radiasi maupun zat radioaktif dalam keadaan normal.

2.8 Nilai Batas Dosis (NBD) untuk Pekerja Radiasi

Dosis Efektif sebesar 20 mSv (dua puluh milisievert) pertahun rata-rata selama 5 (lima) tahun berturut turut, Dosis Efektif sebesar 50 mSv (lima puluh milisievert) dalam 1 (satu) tahun

tertentu, Dosis Ekuivalen untuk lensa mata sebesar 20 mSv (dua puluh milisievert) pertahun rata-rata selama 5 (lima) tahun berturut-turut dan 50 mSv (lima puluh milisievert) dalam 1 (satu) tahun tertentu dan Dosis Ekuivalen untuk tangan dan kaki, atau kulit sebesar 500 mSv (lima ratus milisievert) dalam 1 (satu) tahun[9]

2.9 Nilai Batas Dosis (NBD) Pada Anggota Masyarakat

Nilai Batas Dosis untuk anggota masyarakat sebagaimana dimaksud dalam Pasal 22 ayat (3) huruf b tidak boleh melampau Dosis Efektif sebesar 1 mSv (satu milisievert) dalam 1 (satu) tahun tertentu; Dosis Ekuivalen untuk lensa mata sebesar 15 mSv (lima belas milisievert) dalam 1 (satu) tahun tertentu dan Dosis Ekuivalen untuk kulit sebesar 50 mSv (lima puluh milisievert) dalam 1 (satu) tahun[9].

2.10 Alat Pelindung Diri

Alat Pelindung Diri (APD) adalah kelengkapan yang wajib digunakan saat bekerja sesuai bahaya dan resiko kerja untuk menjaga keselamatan pekerja itu sendiri dan orang di sekelilingnya. Alat Pelindung Diri atau Perlengkapan proteksi yang biasa digunakan oleh pekerja radiasi adalah :



Gambar Alat Pelindung Diri (apron)[19]

a) Aprone

Aprone adalah pakaian proteksi tubuh yang digunakan untuk prosedur-prosedur pemeriksaan fluoroskopi ataupun radiografi dengan tabung sinar-X sehingga 15 kVp harus menyediakan

sekurang-kurangnya setara 0,5mm lempeng Pb. Tebal kesetaraan timah hitam harus diberi tandas secara permanen dan jelas pada apron. Pakaian proteksi yang tersedia, sebagian besar 0,25 mm, 0,3 mm dan 0,5 mm Pb apron secara lengkap cukup. Apron 1,0 mm Pb terlalu berat untuk digunakan radiografer atau keluarga pasien pada setiap pemeriksaan fluoroskopi. Tiap unit portable sinar-X harus menggunakan alat proteksi berupa apron dan harus tetap berada di unit radiologi setiap saat.

b) Pelindung Kepala dan Rambut

c) Kaca Mata

Kaca mata yang terbuat dari bahan yang setara dengan 1 mm (satu milimeter)

d) Pelindung Tiroid

Pelindung tiroid yang terbuat dari bahan yang setara dengan 1 mm (satu milimeter) Pb.

e) Sarung Tangan

Proteksi Sarung tangan proteksi yang digunakan untuk fluoroskopi harus memberikan kesetaraan atenuasi sekurang-kurangnya 0,25 mm Pb pada 150 kVp. Proteksi ini harus dapat melindungi secara keseluruhan, mencakup jari dan pergelangan tangan.

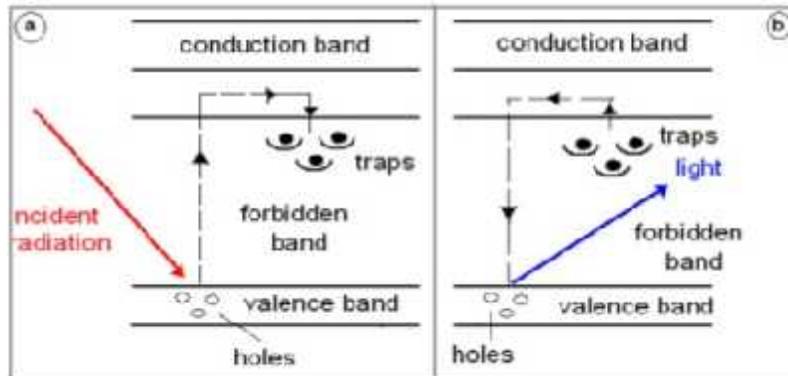
f) Penahan Radiasi Gonad

Penahan radiasi gonad jenis kontak yang digunakan untuk radiologi diagnostik rutin harus mempunyai lempengan Pb, tebal sekurang-kurangnya setara 0,25 mm dan hendaknya mempunyai tebal setara lempengan Pb 0,5 mm pada 150 Kvp. Proteksi ini harus dengan ukuran dan bentuk yang sesuai untuk mencegah gonad secara keseluruhan dari paparan berkas utama.

2.11 *Thermo Luminescence Dosimeter (TLD)*

TLD digunakan untuk mengukur dosis yang di terima pekerja radiasi pada waktu pekerja melakukan pekerjaan radiasi yang berhadapan langsung dengan radiasi. TLD (*Thermo Luminescence Dosimeter*) adalah dosimeter yang bekerja berdasarkan fenomena termoluminesensi. Proses diawali ketika TLD menyerap energi radiasi yang datang, menyebabkan terbentuk elektron bebas melalui proses fotolistrik ataupun Hamburan Compton, elektron berpindah dari pita valensi ke konduksi dalam pita konduksi elektron bergerak bebas selanjutnya elektron terperangkap kedalam perangkap elektron, perpindahan elektron meninggalkan lubang (*hole*) yang bergerak bebas kedalam pita valensi, *hole* ini kemudian terperangkap kedalam perangkap elektron, elektron maupun lubang akan tetap terperangkap hingga memperoleh energi panas yang cukup untuk keluar dari perangkat tersebut. Jika diberikan energi panas yang cukup

maka elektron dan *hole* terlepas dari perangkat masing-masing, elektron dan *hole* selanjutnya akan berkombinasi kembali dipusat luminesensi disertai dengan pancaran cahaya tampak yang disebut cahaya luminesensi



Gambar 2.8. Prinsip Dasar Thermoluminesensi

Cahaya tampak hasil proses thermoluminesensi yang akan ditangkap oleh penguat cahaya PMT (*Photo Multiplayer Tube*). PMT berfungsi menangkap cahaya luminesensi serta mengubah menjadi sinyal listrik, dan memperkuat sinyal akhir, elektrometer berfungsi mencatat sinyal PMT dalam satuan arus atau muatan. Intensitas total thermoluminesensi sebanding dengan jumlah elektron yang terjebak dan sebanding pula dengan energi radiasi yang terserap. Dengan demikian, intensitas cahaya yang diemisikan dari kristal thermoluminesensi akan berbanding lurus pula dengan dosis radiasi.

TLD LiF:Mg,Ti, LiF:Mg,Cu,P, sebelum digunakan harus dipanaskan terlebih dahulu pada suhu tertentu untuk menghapus energi yang masih tersisa didalam TLD. TLD yang dipilih untuk melakukan pengukuran dosis adalah lithium fluoride yang memiliki kepekaan yang cukup respon energi datar dalam rentang kuantitas berkas sinar-X yang digunakan dalam radiologi diagnostik. Keuntungan dalam penggunaan TLD adalah mudah dalam pengoperasian, mampu memantau radiasi dari rentang dosis dari rendah hingga tinggi, dapat dipakai ulang dan tidak peka terhadap faktor lingkungan. Informasi dosis akan langsung hilang setelah proses pembacaan, sehingga tidak dapat dilakukan pembacaan ulang apabila ditemukan hal-hal yang meragukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, dimana dalam penelitian ini dilakukan pengukuran penerimaan dosis serap pada pemakaian kaca mata google di mata dalam pemeriksaan angiografi koroner untuk pekerja radiasi yang diukur dari penggunaan *Thermo Luminescence Dosimeter* (TLD)

3.2 Tempat penelitian

Penelitian untuk pengambilan data menggunakan TLD dilakukan di Rumah Sakit Hermina Depok dibagian instalasi Cath Lab. Dan pembacaan respon TLD dilakukan di Lab Dosimetri Bidang Keselamatan Kerja dan Dosimetri PTKMR BATAN.

3.3 Alat dan Bahan

1. Alat Penelitian

a. Pesawat C-Arm

Pesawat yang digunakan pada pemeriksaan Angiografi Koroner memiliki spesifikasi;

Merk	: Phillips
Type	: MRC 2000407
No Seri	: 9890 000 86501
Jenis Radiasi	: Sinar-X
No Seri Tabung	: 9890 000 86491
kV Max	: 125KV



Gambar 3.1 Mesin C-Arm Philips tipe Alura Centro[20]

b. Keping Detektor TLD

Model : TLD-100H dan TLD-100
Jumlah digunakan : TLD-100H = 27 pcs
:TLD-100 = 12 pcs



Gambar 3.2 Keping detector TLD

c. Peralatan annealing TLD

- i. Oven
- ii. Furnace
- iii. Plat Alumunium

d. Peralatan pembacaan TLD,

- i. TLD Reader Harshaw Model 3500
- ii. 1 Set Komputer
- iii. Perangkat lunak WinREMS
- iv. Gas Nitrogen
- v. Thermometer
- vi. Higrometer



Gambar 3.3 TLD Reader Harshaw Model 3500

e. Kacamata medis

Tahun Produksi	: 2016
Ketebalan	: 0.5 mm
Jumlah digunakan	: 2 buah



Gambar Kacamata medis

2. Bahan penelitian

Penelitian ini tidak menggunakan bahan aktif atau bahan kimia lainnya

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Prosedur Pelaksanaan di Cath Lab

Pesawat sinar-X dilengkapi *Image Intensifier C-Arm*

- Persiapkan Pesawat C-Arm
- Tempelkan TLD di daerah sekitar organ mata pekerja radiasi sebelum pemeriksaan Angiografi koroner dilakukan.
- Jalankan atau hidupkan Pesawat C-Arm. Petugas melakukan pemeriksaan Angiografi Koroner terhadap pasien (volunteer).
- Setelah pemeriksaan selesai TLD dilepas dan dibaca di Laboratorium Dosimetri PTKMR BATAN setelah didiamkan selama 12 jam atau lebih.

3.4.2 Prosedur Pelaksanaan di BATAN

Untuk mengetahui nilai dosis yang terekam pada TLD dilakukan pembacaan dengan menggunakan TLD Reader Harshaw Model 3500. TLD dimasukkan kedalam TLD reader, kemudian hasil bacaannya ditampilkan dalam bentuk grafik pada layar komputer. Proses pembacaan diperlukan suhu maksimum 220°C untuk TLD-100H dan 260°C untuk TLD 100 serta suhu minimum 50°C .

Sebelum TLD-100H dan TLD-100 dipakai untuk penelitian terlebih dahulu dilakukan proses *annealing* dengan tujuan agar dosis yang sebelumnya tercatat dalam TLD-100H dan TLD-100 terhapus hingga mendekati 0.

a. Proses *Annealing* pada TLD-100H

Proses *annealing* TLD-100H dilakukan dalam *oven*. TLD disusun di wadah aluminium kemudian dimasukkan ke dalam *oven* dengan prosedur pemanasan *oven* dari suhu kamar ke 200°C. Setelah suhu mencapai 200°C dibiarkan selama 10 menit lalu *oven* dimatikan, agar TLD dapat didinginkan sampai mencapai suhu ruang dengan cara pintu *oven* dibuka.



Gambar 3.3 *Oven* untuk *annealing* TLD

b. Proses *Annealing* TLD-100

Proses *annealing* TLD-100 dilakukan dalam *furnace*. TLD disusun di wadah aluminium kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* dengan suhu pemanasan mula-mula dari temperatur kamar (28°C) sampai 400°C dengan waktu yang dibutuhkan kurang lebih 15 menit. Selanjutnya dibiarkan setelah suhu mencapai 400°C dalam waktu 1 jam. Setelah TLD dipanaskan, pada proses selanjutnya alat *furnace* dengan otomatis suhunya akan turun dari suhu 400°C ke 100°C dalam waktu kurang lebih 2 jam, kemudian *furnace* dibuka agar proses pendinginan lebih cepat.

Setelah didinginkan, proses *annealing* selanjutnya dilakukan dalam *oven*. Caranya hampir sama dengan TLD-100H. Perbedaannya adalah jeda lama pemanasan di *oven* sebelum pendinginan. Jika di TLD-100H setelah mencapai suhu 200°C diberikan jeda 10 menit sebelum *oven* dimatikan dan didinginkan, namun untuk TLD-100 dibutuhkan waktu lama pemanasan 1 jam dan proses selebihnya sama.



Gambar 3.4 *Furnace* untuk proses *annealing* TLD-10

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Penerimaan radiasi tanpa kaca mata goggle

Penelitian pada pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* (PCI) ini dilakukan di instalasi radiologi Rumah Sakit Hermina Depok. Penelitian dilakukan dimulai dari masuknya kateter kedalam arteri dengan bantuan arahan dari penggunaan sinar-X. Penerimaan dosis yang akan diteliti menggunakan dua jenis TLD (*Thermoluminescence Dosimeter*) yang berbeda yaitu 10 paket TLD-100 dan 20 paket TLD-100H serta ditambah satu paket TLD-100 dan satu paket TLD-100H untuk digunakan sebagai *background*. Pada penelitian ini mengambil 10 *sample* pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* (PCI). Adapun banyaknya sampel yang digunakan dalam penelitian ini dikarenakan keterbatasan waktu, keterbatasan alat TLD-100 dan keterbatasan sampel pemeriksaan di rumah sakit.

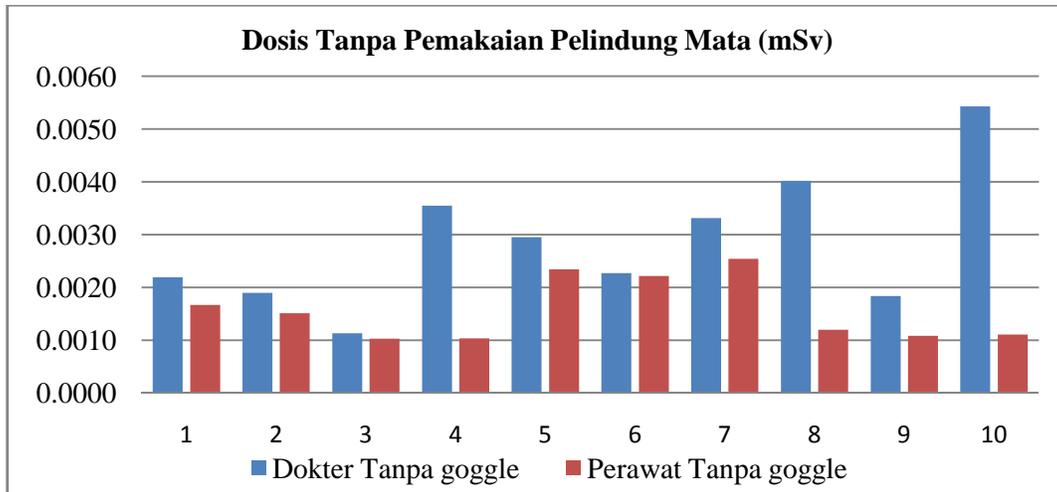
Penelitian ini dilakukan dengan menempelkan TLD-100 di kolimator pesawat C-Arm, dan masing-masing TLD-100H di kaca mata dokter dan perawat pada pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* (PCI). Pengukuran dilakukan untuk mengetahui dosis pada organ mata tanpa dan dengan penggunaan kaca mata goggle. Pengaturan faktor eksposi yang digunakan dalam penelitian ini adalah faktor eksposi otomatis dengan kV dan nilai mAs yang berbeda untuk

ketebalan pada objek yang akan dilihat pada proses pemilihan arteri dengan masuknya kateter disertai kontras. Kemudian setelah pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* (PCI) dilakukan, TLD yang sudah digunakan akan dibaca dengan menggunakan TLD reader di Laboratorium Dosimetri Bidang Keselamatan Kerja dan Dosimetri (KKD) PTKMR BATAN. Setelah dilakukan penelitian dan penghitungan nilai dosis yang didapat dari TLD lalu dilakukan penghitungan dosis ekivalen dan dosis efektif. Hasil penerimaan dosis pada organ mata jika tidak menggunakan kacamata pelindung tersajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Dosis radiasi dokter dan Perawat tanpa pemakaian kacamata goggle

Tindakan Pemeriksaan	Waktu Pemeriksaan (menit)	Tanpa Goggle		Dosis Per jam (mSv)	
		Dokter	Perawat	Tanpa Goggle	
				Dokter	Perawat
1	28	0,0022($\pm 0,00094$)	0,0017($\pm 0,0012$)	0,0047	0,0036
2	36	0,0019($\pm 0,00128$)	0,0015($\pm 0,0012$)	0,0032	0,0025
3	18	0,0011($\pm 0,00078$)	0,001($\pm 0,0009$)	0,0037	0,0033
4	27	0,0036($\pm 0,00082$)	0,001($\pm 0,0009$)	0,008	0,0022
5	23	0,003 ($\pm 0,00011$)	0,0023($\pm 0,00017$)	0,0078	0,006
6	15	0,0023($\pm 0,00194$)	0,0022($\pm 0,00015$)	0,0092	0,0088
7	37	0,0033($\pm 0,00173$)	0,0025($\pm 0,00017$)	0,0054	0,0041
8	19	0,004 ($\pm 0,00035$)	0,0012($\pm 0,0007$)	0,0126	0,0038
9	15	0,0018($\pm 0,00105$)	0,0011($\pm 0,0007$)	0,0072	0,0044
10	14	0,0054($\pm 0,00059$)	0,0011($\pm 0,00011$)	0,0231	0,0047

Gambar 4.1. menyajikan diagram dosis efektif yang diterima oleh organ mata sampel dokter dan perawat tanpa pemakaian pelindung mata pada pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* (PCI).. Pada gambar terlihat bahwa hampir semua grafik berwarna biru muda, terutama nomor 4, 5, 7, 8 dan 10 nyata terlihat lebih tinggi dari pada grafik berwarna merah tua. Hal ini menunjukkan dosisi efektif yang diterima sampel dokter lebih tinggi dari pada sampel perawat, jika tanpa menggunakan kacamata pelindung radiasi.



Gambar 4.1 Dosis efektif tanpa kaca mata pelindung

4.1.2. Penerimaan dosis dengan pemakaian kaca mata pelindung

Untuk mengetahui dosis radiasi yang diterima organ mata dengan penggunaan kaca mata goggle maka dilakukan ekspos terhadap kaca mata goggle yang telah ditempelkan TLD di posisi sebelah luar dan sebelah dalam kaca mata. Tujuannya adalah untuk mengetahui besarnya pelemahan dosis akibat adanya kacamata pelindung radiasi. Hasil pengukuran dan persentase pengurangan dosis karena kacamata pelindung radiasi tersusun dan tersajikan dalam Tabel 4.2

Tabel 4.2 Terimaan dosis dengan pemakaian kaca mata pelindung

Sampel	Dosis Luar (mSv)	Dosis Dalam (mSv)	Pengurangan Pemakaian Goggle	Efektivitas	Terimaan Dosis
1	2,0712(±0,1334)	0,0922(±0,0720)	1,979(±0,1791)	95,55%	4,45%
2	2,111(±0,0372)	0,1006(±0,0250)	2,0104(±0,0609)	95,23%	4,77%
3	0,7578(±0,0,0276)	0,0317(±0,0020)	0,7261(±0,0255)	95,82%	4,18%
4	0,7509(±0,0366)	0,0312(±0,0084)	0,7197(±0,0449)	95,84%	4,16%
5	0,6207(±0,0222)	0,0358(±0,0106)	0,5849(±0,0268)	94,23%	5,77%
6	0,6436(±0,0198)	0,0187(±0,0090)	0,6249(±0,0211)	97,09%	2,91%
Rata-rata	1,1592(±0,0461)	0,0517(±0,0212)	1,1075 (±0,0597)	95,63%	4,37%

Pemakaian kaca mata pelindung radaisi saat pemeriksaan atau tindakan medis tertentu yang dilakukan oleh tenaga medis (tim dokter, dan perawat) akan dapat mengurangi dosis efektif sebesar 95,63%. Persentase dosis yang diterima oleh organ mata jika memakai kacamata pelindung hanya sebesar 4,37% saja dari dosis efektif (dosis luar/langsung) yang diterima saat melakukan pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* (PCI).

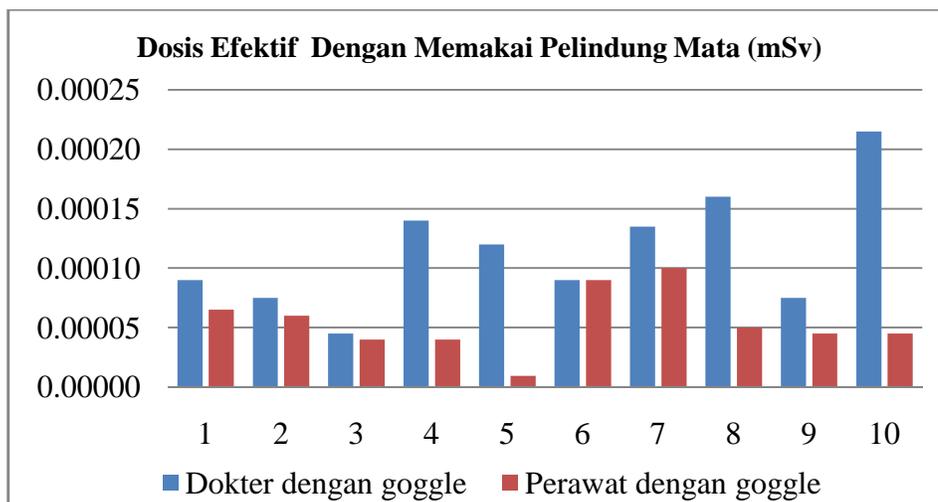
4.1.3. Terimaan dosis radiasi dengan kaca mata pelindung

Data hasil penerimaan dosis pada organ mata jika tidak menggunakan kacamata pelindung tersajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Dosis radiasi diterima Dokter dan Perawat dengan kacamata goggle

Tindakan Pemeriksaan	Waktu Pemeriksaan (menit)	Dosis (dengan kacamata Goggle)		Dosis Per jam (mSv)	
		Dokter	Perawat	Dokter	Perawat
1	28	0,00009(±0,000038)	0,00007(±0,000048)	0,0002	0,0002
2	36	0,00008(±0,000051)	0,00006(±0,000048)	0,0001	0,0001
3	18	0,00005(±0,000031)	0,00004(±0,000038)	0,0002	0,0001
4	27	0,00014(±0,000033)	0,00004(±0,000037)	0,0003	0,0001
5	23	0,00012(±0,000045)	0,00001(±0,000066)	0,0003	0,00003
6	15	0,00009(±0,000078)	0,00009(±0,000061)	0,0004	0,0004
7	37	0,00014(±0,000069)	0,0001(±0,000066)	0,0002	0,0002
8	19	0,00016(±0,000014)	0,00005(±0,000028)	0,0005	0,0002
9	15	0,00008(±0,000042)	0,00005(±0,00003)	0,0003	0,0002
10	14	0,00022(±0,000024)	0,00005(±0,000043)	0,0009	0,0002

Gambar 4.2. adalah dosis efektif yang diterima organ mata dokter dan perawat. Terlihat diagram berwarna biru muda nomor 4, 5, 7, 8 dan 10 terlihat nyata lebih tinggi dari pada diagram berwarna merah tua. Ini menunjukkan dosis efektif yang diterima sampel dokter lebih tinggi dari pada sampel perawat, jika tanpa menggunakan kacamata pelindung radiasi.



Gambar 4.2 Dosis efektif dengan pemakaian Goggle

4.2. Pembahasan

4.2.1 Dosis Diterima Organ Mata

Dosis radiasi ini diukur saat tindakan *Percutaneous Coronary Intervention* dilakukan menggunakan alat *C-Arm* merek Philips di Instalasi Cath Lab Rumah Sakit Hermina Depok. Berdasarkan hasil penghitungan, terlihat nilai dosis efektif yang terpapar pada organ mata dokter dan perawat bervariasi sesuai dengan lamanya pemeriksaan. Lamanya waktu tindakan tidak sama untuk setiap pasien, dan sangat bergantung pada kondisi pasien. Dalam penelitian ini jumlah sampel pasien yang terlibat adalah 10 orang.

Dosis efektif yang diterima organ mata dokter pada keadaan tanpa menggunakan kacamata pelindung berkisar pada rentang 0,0011–0,0054 mSv, dan 0,0010–0,0025 mSv untuk perawat. Sementara itu dosis efektif yang diterima organ mata dokter pada keadaan menggunakan kacamata pelindung berkisar pada rentang antara 0,00005–0,00022 mSv dan, 0,00001–0,00010 mSv untuk perawat. Nilai tersebut masih dikategorikan dalam batas aman dan masih jauh dibawah batas toleransi yang ditetapkan oleh PERKA BAPETEN No. 8 Tahun 2011, yaitu sebesar 20 mSv [6].

Menurut *International Commission of Radiological Protection (ICRP) 103*, nilai ambang batas mata untuk resiko katarak sebesar 0,5 Sv atau 500 mSv pertahun. Jika nilai rata-rata dosis efektif yang diterima organ mata tanpa menggunakan kaca mata goggle dikalikan dalam waktu 1 tahun yaitu dengan rentang 1,168–8,4315 mSv/jam untuk dokter serta dengan rentang 0,803–1,7155 mSv/jam untuk perawat, hasilnya akan berbeda jika menggunakan proteksi radiasi diri dengan memakai kacamata pelindung. Jika dosis efektif yang diterima organ mata dikalikan selama waktu 1 tahun maka diperoleh dosis antara 0,0365–0,3285 mSv/jam untuk dokter dan 0,0109–0,1460 mSv/jam untuk perawat.

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian ini terbukti bahwa pemakaian alat proteksi radiasi khususnya kacamata pelindung goggle telah mampu mengurangi dosis efektif yang diterima kurang lebih 95,63% dari dosis efektif yang diterima langsung tanpa pemakaian kaca mata goggle. Saat pengukuran, posisi dokter selama melakukan tindakan *Percutaneous Coronary Intervention* selalu dekat dengan *image intensifier* (detektor) akan memiliki risiko lebih besar. Saat pengambilan citra pada posisi AP (*Anterior Posterior*) diperkirakan posisi dokter hanya berjarak kurang lebih 30 cm. Penerimaan dosis pada mata untuk dokter lebih besar dibandingkan perawat yang posisinya relatif lebih jauh dari keluaran sinar-x dan detektor.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan di atas tentang dosis yang diterima oleh dokter dan perawat pada pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* di instalasi Cath Lab Rumah Sakit Hermina Depok, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dosis efektif yang diterima organ mata tanpa memakai kaca mata pelindung radasi pada pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* bervariasi pada kisaran 0,0011–0,0054 mSv untuk dokter dan kisaran antara 0,0010–0,0025 mSv untuk perawat. Dalam kurun waktu 1 tahun dokter menerima dosis dengan kisaran antara 1,168–8,4315 mSv/jam dan kisaran 0,803-1,7155 mSv/jam untuk perawat.
2. Pemakaian kaca mata pelindung radasi saat melakukan pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* efektif mengurangi dosis efektif hingga 95,63%, menjadikan persentase dosis yang diterima oleh organ mata jika memakai kaca mata pelindung hanya sebesar 4,37% saja dari tingkat dosis efektif (dosis luar/langsung) yang diterima.
3. Dosis efektif yang diterima organ mata jika menggunakan kaca mata pelindung radiasi, berkisaran antara 0,00005–0,00022 mSv bagi dokter. Sedangkan dosis efektif yang diterima organ mata berkisar antara 0,00001–0,00010 mSv bagi perawat. Jika di kalikan dalam waktu 1 tahun seorang dokter menerima dosis antara 0,0365-0,3285 mSv/jam dan untuk perawat kisaran antara 0,0109-0,1460 mSv/jam pada pemakaian goggle, dosis ini masih dikategorikan dalam batas normal.
4. Dapat dikatakan bahwa, pemakaian kaca mata pelindung radiasi dalam pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* cukup efektif menurunkan radiasi yang diterima oleh organ mata.

5.2 Saran

Guna menghindari munculnya efek stokastik, perlu untuk memakai alat proteksi diri pada saat akan dilakukannya pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* untuk melindungi

organ *at risk* seperti kacamata goggle untuk melindungi organ mata dan *shielding* untuk leher dengan ukuran yang memadai agar maksimal dalam memproteksi dari paparan radiasi secara langsung maupun dari hamburan radiasi itu sendiri.

Kekurangan penelitian ini adalah tidak adanya variabel mata kanan dan kiri untuk mengetahui penerimaan dosis mata kanan dan kiri bagi pekerja radiasi serta kendala peletakan TLD bagi pekerja radiasi dokter dan perawat saat pemeriksaan berlangsung.

BAB VI PERKIRAAN BIAYA DAN JADWAL PENELITIAN

4.1 Perkiraan Biaya Penelitian

Kegiatan penelitian ini diperkirakan akan membutuhkan biaya sebesar **Rp. 5.100.000,-** (lima juta seratus ribu rupiah). Adapun penggunaan biaya akan dialokasikan sesuai rincian seperti dijabarkan berikut;

Tabel 4-1 Rincian penggunaan biaya penelitian

No.	Jenis Kebutuhan	Biaya (Rp)
1	Sewa peralatan utama	4.550.000
2	Insentif volunteer + operator	300.000
3	Biaya perjalanan	150.000
4	Lain-lain	100.000
	Jumlah	5.100.000

Rincian penggunaan anggaran untuk masing-masing sub bidang anggaran diberikan pada tabel 4 berikut.

Tabel 4-2 Rincian biaya penelitian

No	Jenis Pengeluaran	Satuan	Jumlah (Rp)
A	Sewa Peralatan utama		
1	Pesawat C-Arm merk Phillips	2 hr/1 unit	2.000.000,00
2	Chip TLD-100-H	2 hr/27kpg	1.000.000,00
3	Chip TLD-100	2 hr/12 kpg	750.000,00
4	<i>TLDReader</i> Harshaw Model 3500	2 hr/1 bh	500.000,00
5	<i>Furnace</i> merk PTW-TLDO Pemanas TLD chip	2 hr/1 bh	150.000,00
6	<i>Oven Memmert</i> Pemanas TLD chip	2 hr//1 bh	150.000,00
B	Insentif Tenaga Pendukung		
1	Tenaga volunteer	1 org/paket	150.000,00
2	Tenaga operator dan teknisi	1 org/paket	150.000,00
C	Biaya Perjalanan		
1	Kampus ke Rumah Sakit X	2kali	75.000,00
2	Kampus ke PTKMR Batan	2kali	75.000,00
D	Lain-lain		
1	Penggandaan + penjilidan	1 lot	50.000,00
2	Burning CD	1 kpg	15.000,00
3	Materai	4 bh	35.000,00
	Total Biaya (Rp)		5.100.000,00

4.2 Jadwal Penelitian

Kegiatan penelitian ini diperkirakan berlangsung selama empat bulan yakni antara bulan April sampai dengan bulan Juli 2021 **Tabel 4-3** Matrik rencana kegiatan dan waktu pelaksanaan

No	Jenis Kegiatan	Bulan ... Tahun 2021			
		Apr	Mei	Jun	Jul
1	Mengurus permohonan pengambilan data				
2	Permohonan pemakaian peralatan flluoroscopi C-Arm				
3	Peminjaman chip TLD + TLD reader				
4	Petugas menjalankan pemeriksaan Angiografi koroner dengan C-Arm				
5	Melakukan proses pembacaan data TLD. Tabulasi dan analisis data				
6	Mengolah data penelitian dan pembahasan				
7	Menyusun laporan akhir penelitian dan menulis artikel penelitian				

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Medical X-ray imaging, FDA U.S. Food and Drug, 09/28/2020 Tersedia di <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/medical-imaging/medical-x-ray-imaging> Diakses pada 23 Feb 2021
- [2] C Arm Radiography Fluoroscopy, Redaksi Halodoc, Tersedia di :<https://www.halodoc.com/kesehatan/c-arm-radiography-fluoroscopy>, Diakses pada 18 Feb 2021
- [3] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 5 Tahun 2016 tentang Keselamatan Radiasi dalam Produksi Barang Konsumen
- [4] Liyas, S. 2011. *Ilmu Penyakit Mata. Edisi 11. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.* Jawa Barat:Depok.
- [5] Sources And Effects Of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume I Source, Annexes D: Medical radiation exposures, United Nations New York, 2000
- [6] Shivali Sharma, M.S. and Kanwar, S.P., Tyagi and Sheikh Imran, Comparison of fluoroscopic and radiographic imaging of long bones in healthy dogs, *Journal of Applied*

- Animal Research*, 2013, Vol. 41, No. 3, 339_346, <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2013.782874>].
- [7] Labora, M.P., Calibration Of A C-Arm X-Ray System For Its Use In Tomography, 2013, Departamento De Bioingeniería E Ingeniería Aeroespacial, Universidad Carlos III deMadrid
- [8] Willy, T.,Kenali Apa Itu Fluoroskopi, Terakhir Diperbaharui 6 Juli 2018, Tersedia di : <https://www.alodokter.com/kenali-apa-itu-fluoroskopi>, Diakses pada pada 18 Feb 2021
- [9] SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, Volume I Source, Annexes D: Medical radiation exposures, United Nations New York, 2000, p. 300
- [10]Shivali Sharma, M.S. and Kanwar, S.P., Tyagi and Sheikh Imran, Comparison of fluoroscopic and radiographic imaging of long bones in healthy dogs, *Journal of Applied Animal Research*, 2013, Vol. 41, No. 3, 339_346, p. 340<http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2013.782874>.
- [11] SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, Volume I Source, Annexes D: Medical radiation exposures, United Nations New York, 2000, **p. 312**
- [12]. Perkasa, G, Penyakit Jantung Penyebab Kematian Utama di Dunia, Editor: Lusiana Kus Anna,KOMPAS.com, 14/12/2020, 10:16 WIB, Tersedia di :[https://lifestyle.kompas.com/read/2020/12/14/101607520/penyakit-jantung-penyebab-kematian-utama-di-dunia?page = all](https://lifestyle.kompas.com/read/2020/12/14/101607520/penyakit-jantung-penyebab-kematian-utama-di-dunia?page=all).Diakses : 6 Pebruari 2021
- [13] Firdaus, I,Press Release,World Heart Day PERKI 27 September 2019,– Tersedia di: http://www.inaheart.org/news_and_events/news/2019/9/26/press_releaseworld_heart_day_perki_2019,Diakses pada : 6 Pebruari 2021
- [14] Labora, M.P., Calibration Of A C-Arm X-Ray System For Its Use In Tomography, 2013, Departamento De Bioingeniería E Ingeniería Aeroespacial, Universidad Carlos III deMadrid, p. 34
- [15] Komponen penghasil sinar-X: Generator sinar-X dan Tabung sinar-X. Tersedia di https://www.researchgate.net/figure/X-ray-generator-and-x-ray-tube-components-are-illustrated-The-x-ray-generator-provides_fig2_8365056/download Diakses pada 15 Pebruari 2021
- [16] Proses pembangkitan sinar-X. Tersedia di <https://teachmeanatomy.info/the-basics/imaging/x-ray/>Diakses pada 15 Pebruari 2021
- [17] Mesin C-Arm mobile. Tersedia di : <https://www.itnonline.com/content/philips-launches-zenition-mobile-c-arm-platform> Diakses pada 15 Pebruari 2021

- [18] Struktur Sistem Mesin C-Arm. Tersedia di <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2241010646>Diakses pada 15 Pebruari 2021
- [19] Alat pelindung diri (apron). Tersedia di <https://www.prnewsprime.com/wp-content/uploads/2019/07/0-35mmpb-X-ray-protective-suit-clothing-Y-ray-protective-apron-hospital-clinic-business-protection-gloves.jpg> 640x640.jpgDiakses pada 15 Pebruari 2021
- [20] Mesin *C-Arm* Philips tipe Alura Centro.Tersedia di www.philips.com.auDiakses pada 15 Pebruari 2021

Lampiran 1

RINCIAN PENGGUNAAN DANA

Tabel 1 Rincian penggunaan biaya penelitian

No.	Jenis Kebutuhan	Biaya (Rp)
1	Sewa peralatan utama	4.550.000
2	Insentif volunteer + operator	300.000
3	Biaya perjalanan	150.000
4	Lain-lain	100.000
	Jumlah	5.100.000

Rincian penggunaan anggaran untuk masing-masing sub bidang anggaran diberikan pada tabel 4 berikut.

Tabel 2 Rincian biaya penelitian

No	Jenis Pengeluaran	Satuan	Jumlah (Rp)
A	Sewa Peralatan utama		
1	Pesawat C-Arm merk Phillips	2 hr/1 unit	2.000.000,00
2	Chip TLD-100-H	2 hr/27 kpg	1.000.000,00
3	Chip TLD-100	2 hr/12 kpg	750.000,00
4	<i>TLD Reader</i> Harshaw Model 3500	2 hr/1 bh	500.000,00
5	<i>Furnace</i> merk PTW-TLDO Pemanas TLD chip	2 hr/1 bh	150.000,00
6	<i>Oven Memmert</i> Pemanas TLD chip	2 hr//1 bh	150.000,00
B	Insentif Tenaga Pendukung		
1	Tenaga volunteer	1 org/paket	150.000,00
2	Tenaga operator dan teknisi	1 org/paket	150.000,00
C	Biaya Perjalanan		
1	Kampus ke Rumah Sakit X	2 kali	75.000,00
2	Kampus ke PTKMR Batan	2 kali	75.000,00
D	Lain-lain		

1	Penggandaan + penjilidan	1 lot	50.000,00
2	Burning CD	1 kpg	15.000,00
3	Materai	4 bh	35.000,00
	Total Biaya (Rp)		5.100.000,00

Evaluasi Dosis Radiasi Pada Organ Mata Pekerja Radiasi Selama Tindakan Katerisasi Jantung

Muzilman Muslim¹, Ari Mutanto¹, Putu Wisnu Ardi Ferdina²

¹Jurusan Fisika Universitas Nasional

²Unit Cat Lab Rumah Sakit Hermina Depok

ABSTRAK

Permasalahan: Sekitar 75% informasi yang diterima manusia secara visual atau melalui mata. Namun, mata tidak dapat mendeteksi semua jenis sinar, diantaranya radiasi sinar-X. Organ mata sangat sensitif terhadap radiasi sinar-X, karena beresiko merusak lensa mata dan memicu menyebabkan katarak. Dewasa ini, sinar-X telah menjadi tulang punggung perkembangan peralatan radiologi khususnya untuk menghasilkan. Salah satunya adalah teknologi peralatan *C-Arm*, yang mampu mencitrakan objek pasien tiga dimensi secara *real time* dengan teknik fluoroskopi. **Penelitian ini bertujuan** mendapatkan dan mengevaluasi dosis radiasi efektif yang diterima organ mata pekerja radiasi saat tindakan katerisasi jantung dilakukan. Pengamatan dilakukan dalam dua skenario, yaitu menggunakan kacamata pelindung radiasi dan tanpa kacamata pelindung. Alat utama menggunakan modalitas *C-Arm*, *chip detector* TLD dan kacamata google. Objek pengamatan adalah organ mata pekerja radiasi terdiri satu orang dokter dan satu perawat. Tindakan katerisasi dilakukan terhadap 10 orang pasien dengan waktu pemeriksaan berbeda-beda. **Hasil penelitian:** pada skenario tanpa kacamata pelindung; dosis efektif terimaan organ mata **dokter** berkisar antara 0,0011 hingga 0,0054 mSv, sementara perawat berkisar antara 0,0010 mSv hingga 0,0025 mSv. Dalam waktu 1 tahun, dosis diterima organ mata dokter berkisar 1,168 hingga 8,4315 mSv/jam, dan perawat antara 0,803 mSv hingga 1,7155 mSv. Pada skenario dengan kacamata pelindung; dosis efektif terimaan organ mata dokter berkisar antara 0,00005 mSv hingga 0,00022 mSv, sementara perawat berkisar antara 0,00001 mSv hingga 0,00010 mSv. Dalam waktu 1 tahun, dosis diterima organ mata dokter antara 0,0365 hingga 0,3285 mSv/jam, dan untuk perawat berkisar 0,0109 hingga 0,1460 mSv/jam. **Ditemukankan** bahwa; dosis efektif terimaan organ mata untuk kedua skenario lebih rendah dari nilai dosis yang ditetapkan oleh PERKA BAPETEN No. 8 Tahun 2011 yaitu 20 mSv dan ICRP 203 yaitu 500 mSv pertahun.

Kata kunci: *C-Arm*, dosis efektif, fluoroskopi, katerisasi jantung, kacamata pelindung, mata

Pendahuluan

Penyakit jantung koroner masih menjadi penyebab kematian utama di dunia. Amerika Serikat mencatat 1,2 juta kematian per tahunnya akibat penyakit ini. Hasil survey Kementerian Kesehatan RI menyebutkan, penyakit jantung dan pembuluh darah adalah penyebab nomor satu kematian di Indonesia, dan penyakit arteri koroner merupakan kontributor utamanya. Kateterisasi jantung (cardiac catheterization) adalah tindakan medis yang paling populer dilakukan dewasa ini. Tindakan kateterisasi jantung di unit *Cath Lab* menggunakan metode fluoroskopi sinar-X dengan alat *C-Arm* [1]. *C-Arm* bekerja memancarkan sinar-X ke bagian tubuh tertentu, menjadikannya sebagai teknik yang akurat dalam melakukan radiografi pembuluh darah (angiography coronary). Citra objek dalam bentuk 3 dimensi ditampilkan ke monitor dengan utuh, jelas dan kontinyu. Alat ini akan menuntun dokter dalam menempatkan kateter diposisi yang tepat, memprediksi letak objek, mendiagnosa, dan tindakan medis lainnya, sehingga dapat meminimalkan kesalahan tindakan.

Penggunaan sinar-X dalam teknologi peralatan pencitraan memiliki manfaat yang besar dibidang kesehatan. Namun disisi lain jika dosis paparan radiasi yang digunakan melebihi batas aman yang diizinkan maka akan memberikan resiko tersendiri bagi pengguna. Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) telah mengeluarkan peraturan Nomor 5 Tahun 2016 tentang keselamatan radiasi dalam produksi barang konsumen [3]. Pada pasal 23 dinyatakan: untuk pekerja radiasi, dosis yang diterima lensa mata tidak boleh melebihi 20 mSv pertahun rata-rata selama 5 (lima) tahun berturut-turut, dan 50 mSv dalam 1 (satu) tahun tertentu. Akibat terpapar radiasi pengion di atas ambang yang diizinkan dan berlangsung dalam waktu lama dapat menyebabkan kanker, memicu terbentuknya katarak pada lensa mata hingga kebutaan [4], ruam kulit, kerontokan rambut, dan kemungkinan reaksi yang terkait dengan agen kontras yang disuntikkan secara intravena.

Penggunaan peralatan medis yang menghasilkan radiasi pengion untuk kepentingan medis harus mempertimbang keberadaan pekerja radiasi seperti dokter spesialis atau radiolog, perawat, teknisi, serta pasien itu sendiri. Oleh karena itu dosis radiasi yang gunakan dan yang diterima pekerja radiasi tetaplah harus dikendalikan atau dibatasi. Untuk memastikan keamanan radiasi dan azas-azas proteksi radasi sudah dijalankan sesuai standar prosedur yang ditetapkan bagi pekerja radiasi di unit *Cath Lab* dan evaluasi tingkat dosis radasi yang diterima oleh organ mata dokter dan perawat, maka studi ini perlu dilakukan. Studi ini difokuskan hanya untuk tenaga

dokter dan perawat yang sedang bertugas melakukan tindakan radiologi intervensional dan kateterisasi jantung vaskular di unit *Cath Lab*

Metodologi

Studi ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimen.. Data penerimaan dosis serap pada organ mata dibaca dari chip detektor *Thermo Luminescence Dosimeter* (TLD) yang ditempatkan pada beberapa posisi, saat tindakan angiografi koroner dilaksanakan oleh dokter dan dibantu oleh perawat. Jumlah sampel pasien yang dilakukan tindakan angiografi koroner sebanyak 10 orang. Namun terhadap pasien tidak di ukur dosis radasi yang diterima, melainkan hanya kepada 1 (satu) orang dokter dan 1 (satu) orang perawat. Pengamatan dilakukan dalam dua keadaan berbeda, yaitu ketika tidak menggunakan kaca mata pelindung dan saat menggunakan kaca mata pelindung radasi. Pengambilan data dilakukan di instalasi *Cath Lab* Rumah Sakit Hermina Depok. Sementara itu data yang terekam pada chip detector TLD dibaca di fasilitas pembacaan TLD milik Pusat PTKMR BATAN. Sedangkan modalitas yang digunakan sebagai sumber pembangkit sinar-X nya adalah pesawat *C-Arm* merek Phillips, tipe MRC 2000407, Nomor Seri 9890 000 86501 dengan tegangan tabung (kV) maksimum 125 KV seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Mesin *C-Arm* Philips tipe MRC 2000407 [20]

Sedangkan untuk alat ukur radasi yang digunakan adalah TLD Model TLD-100H dan TLD-100 yang berbahan dasar lithium fluoride (LiF). Alat pembaca TLD menggunakan TLD Reader Harshaw Model 3500 seperti ditunjukkan pada gambar 2



Gambar 2 TLD Reader Harshaw Model 3500

Kacamata pelindung radiasi menggunakan kaca mata medis produksi 2016, dengan ketebalan 0.5 mm sebanyak 2 (dua) buah.



Gambar 3 Kacamata pelindung radiasi

1. Penerimaan dosis tanpa kaca mata pelindung

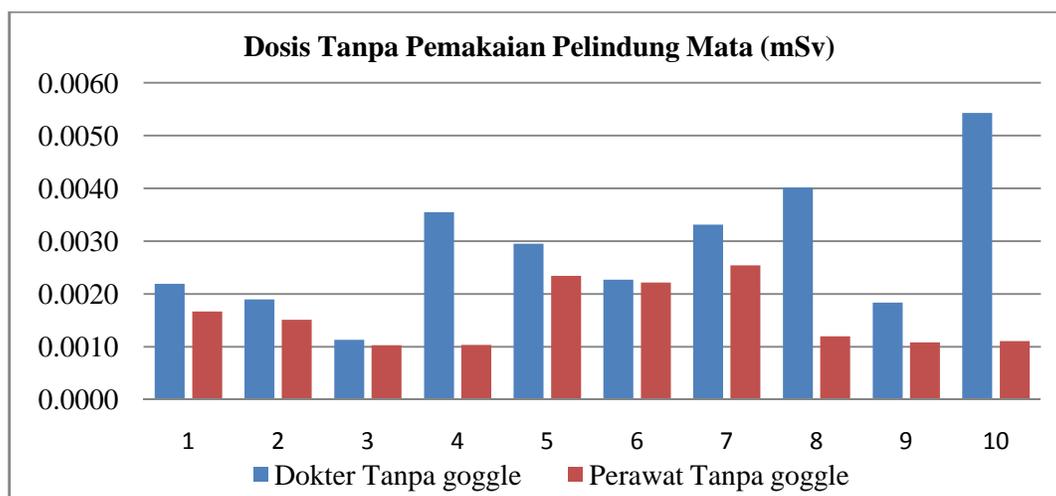
Pengamatan dilakukan dengan cara menempelkan detector TLD-100 di ujung kolimator pesawat *C-Arm*, dan TLD-100H masing-masing ditempel pada kacamata pelindung radiasi yang dipakai dokter dan perawat saat tindakan kateterisasi jantung berlangsung. Pengaturan faktor eksposi yang digunakan dalam pengamatan ini adalah faktor eksposi otomatis dengan tegangan tabung (kV) dan arus tabung (mAs) berbeda, sesuai ketebalan objek yang akan dilihat pada proses pemilihan arteri dengan masuknya kateter disertai kontras. Setelah tindakan katerisasi

selesai dilakukan, TLD yang sudah digunakan kemudian dilepaskan dan lalu dibaca pada TLD *reader* di Laboratorium Dosimetri Bidang Keselamatan Kerja dan Dosimetri (KKD) PTKMR BATAN. Setelah data dosis dari TLD terbaca lalu dilakukan penghitungan dosis efektif. Hasil penerimaan dosis pada organ mata tanpa menggunakan kacamata pelindung tersajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Dosis radiasi dokter dan Perawat tanpa pemakaian kacamata pelindung

Tindakan Pemeriksaan	Waktu Pemeriksaan (menit)	Dosis (tanpa kacamata pelindung)		Dosis Per jam (mSv)	
		Dokter	Perawat	Tanpa Goggle	
				Dokter	Perawat
1	28	0,0022(±0,00094)	0,0017(±0,0012)	0,0047	0,0036
2	36	0,0019(±0,00128)	0,0015(±0,0012)	0,0032	0,0025
3	18	0,0011(±0,00078)	0,001(±0,0009)	0,0037	0,0033
4	27	0,0036(±0,00082)	0,001(±0,0009)	0,008	0,0022
5	23	0,003 (±0,00011)	0,0023(±0,00017)	0,0078	0,006
6	15	0,0023(±0,00194)	0,0022(±0,00015)	0,0092	0,0088
7	37	0,0033(±0,00173)	0,0025(±0,00017)	0,0054	0,0041
8	19	0,004 (±0,00035)	0,0012(±0,0007)	0,0126	0,0038
9	15	0,0018(±0,00105)	0,0011(±0,0007)	0,0072	0,0044
10	14	0,0054(±0,00059)	0,0011(±0,00011)	0,0231	0,0047

Gambar 4.1. menyajikan diagram dosis efektif yang diterima oleh organ mata sampel dokter dan perawat tanpa pemakaian pelindung mata saat tindakan kateterisasi jantung..



Gambar 4.1 Dosis efektif tanpa kacamata pelindung

Pada gambar terlihat bahwa hampir semua grafik berwarna biru muda, terutama nomor 4, 5, 7, 8 dan 10 nyata terlihat lebih tinggi dari pada grafik berwarna merah tua. Hal ini menunjukkan dosis efektif yang diterima sampel dokter lebih tinggi dari pada sampel perawat, jika tanpa menggunakan kacamata pelindung radiasi.

2. Penerimaan dosis dengan pemakaian kaca mata pelindung

Untuk mengetahui dosis radiasi yang diterima organ mata dengan penggunaan kaca mata pelindung radiasi, maka dilakukan ekspos terhadap kaca mata goggle yang telah ditempelkan TLD pada posisi sebelah luar dan sebelah dalam kacamata. Tujuannya adalah untuk mengetahui besarnya pelemahan dosis akibat adanya kacamata pelindung radiasi. Hasil pengukuran dan persentase pengurangan dosis karena kacamata pelindung radiasi tersajikan dalam Tabel 4.2

Tabel 4.2 Terimaan dosis radiasi pada kacamata pelindung

Sampel	Dosis Luar (mSv)	Dosis Dalam (mSv)	Pengurangan Pemakaian Goggle	Efektivitas	Terimaan Dosis
1	2,0712(\pm 0,1334)	0,0922(\pm 0,0720)	1,979(\pm 0,1791)	95,55%	4,45%
2	2,111(\pm 0,0372)	0,1006(\pm 0,0250)	2,0104(\pm 0,0609)	95,23%	4,77%
3	0,7578(\pm 0,0276)	0,0317(\pm 0,0020)	0,7261(\pm 0,0255)	95,82%	4,18%
4	0,7509(\pm 0,0366)	0,0312(\pm 0,0084)	0,7197(\pm 0,0449)	95,84%	4,16%
5	0,6207(\pm 0,0222)	0,0358(\pm 0,0106)	0,5849(\pm 0,0268)	94,23%	5,77%
6	0,6436(\pm 0,0198)	0,0187(\pm 0,0090)	0,6249(\pm 0,0211)	97,09%	2,91%
Rata-rata	1,1592(\pm 0,0461)	0,0517(\pm 0,0212)	1,1075 (\pm 0,0597)	95,63%	4,37%

Pemakaian kaca mata pelindung radaisi saat pemeriksaan atau tindakan medis tertentu yang dilakukan oleh tenaga medis (tim dokter, dan perawat) akan dapat mengurangi dosis efektif sebesar 95,63%. Persentase dosis yang diterima oleh organ mata jika memakai kacamata pelindung hanya sebesar 4,37% saja dari dosis efektif (dosis luar/langsung) yang diterima saat melakukan pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* (PCI).

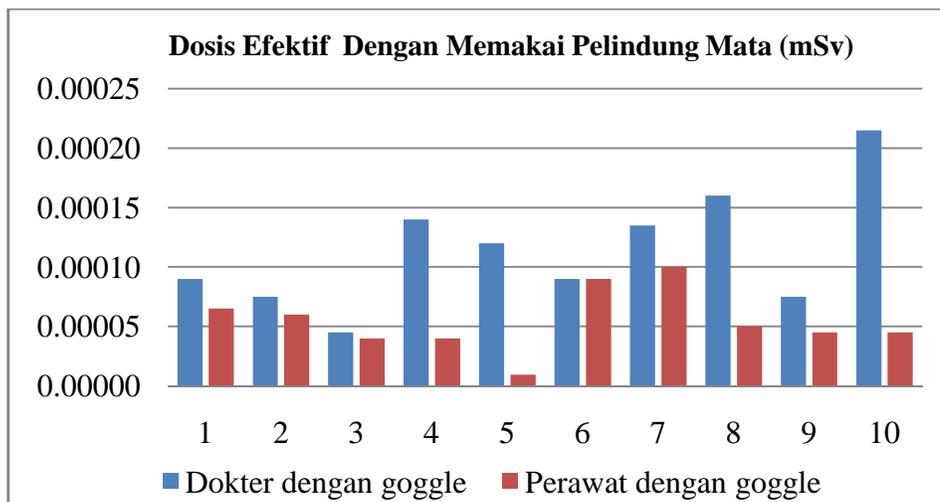
3. Terimaan dosis radiasi dengan kacamata pelindung

Data hasil penerimaan dosis pada organ mata dengan menggunakan kacamata pelindung tersajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Terimaan dosis radiasi organ mata dengan kacamata pelindung

Tindakan Pemeriksaan	Waktu Pemeriksaan (menit)	Dosis (dengan kacamata pelindung)		Dosis Per jam (mSv)	
		Dokter	Perawat	Dokter	Perawat
1	28	0,00009(\pm 0,000038)	0,00007(\pm 0,000048)	0,0002	0,0002
2	36	0,00008(\pm 0,000051)	0,00006(\pm 0,000048)	0,0001	0,0001
3	18	0,00005(\pm 0,000031)	0,00004(\pm 0,000038)	0,0002	0,0001
4	27	0,00014(\pm 0,000033)	0,00004(\pm 0,000037)	0,0003	0,0001
5	23	0,00012(\pm 0,000045)	0,00001(\pm 0,000066)	0,0003	0,00003
6	15	0,00009(\pm 0,000078)	0,00009(\pm 0,000061)	0,0004	0,0004
7	37	0,00014(\pm 0,000069)	0,0001(\pm 0,000066)	0,0002	0,0002
8	19	0,00016(\pm 0,000014)	0,00005(\pm 0,000028)	0,0005	0,0002
9	15	0,00008(\pm 0,000042)	0,00005(\pm 0,00003)	0,0003	0,0002
10	14	0,00022(\pm 0,000024)	0,00005(\pm 0,000043)	0,0009	0,0002

Gambar 4.2. adalah diagram dosis efektif yang diterima organ mata dokter dan perawat. Terlihat diagram berwarna biru muda nomor 4, 5, 7, 8 dan 10 terlihat nyata lebih tinggi dari pada diagram berwarna merah tua. Ini menunjukkan dosis efektif yang diterima sampel dokter lebih tinggi dari pada sampel perawat, jika tanpa menggunakan kacamata pelindung radiasi.



Gambar 4.2 Dosis efektif dengan pemakaian Goggle

Pembahasan

Dosis Diterima Organ Mata

Dosis radiasi ini di ukur saat tindakan *Percutaneous Coronary Intervention* dilakukan

menggunakan alat *C-Arm* merek Philips di Instalasi Cath Lab Rumah Sakit Hermina Depok. Berdasarkan hasil penghitungan, terlihat nilai dosis efektif yang terpapar pada organ mata dokter dan perawat bervariasi sesuai dengan lamanya pemeriksaan. Lamanya waktu tindakan tidak sama untuk setiap pasien, dan sangat bergantung pada kondisi pasien. Dalam penelitian ini jumlah sampel pasien yang terlibat adalah 10 orang.

Dosis efektif yang diterima organ mata dokter pada keadaan tanpa menggunakan kaca mata pelindung berkisar pada rentang 0,0011–0,0054 mSv, dan 0,0010–0,0025 mSv untuk perawat. Sementara itu dosis efektif yang diterima organ mata dokter pada keadaan menggunakan kaca mata pelindung berkisar pada rentang antara 0,00005–0,00022 mSv dan, 0,00001–0,00010 mSv untuk perawat. Nilai tersebut masih dikategorikan dalam batas aman dan masih jauh dibawah batas toleransi yang ditetapkan oleh PERKA BAPETEN No. 8 Tahun 2011, yaitu sebesar 20 mSv [6].

Menurut *International Commission of Radiological Protection (ICRP) 103*, nilai ambang batas mata untuk resiko katarak sebesar 0,5 Sv atau 500 mSv pertahun. Jika nilai rata-rata dosis efektif yang diterima organ mata tanpa menggunakan kaca mata goggle dikalikan dalam waktu 1 tahun yaitu dengan rentang 1,168–8,4315 mSv/jam untuk dokter serta dengan rentang 0,803–1,7155 mSv/jam untuk perawat, hasilnya akan berbeda jika menggunakan proteksi radiasi diri dengan memakai kaca mata pelindung. Jika dosis efektif yang diterima organ mata dikalikan selama waktu 1 tahun maka diperoleh dosis antara 0,0365–0,3285 mSv/jam untuk dokter dan 0,0109–0,1460 mSv/jam untuk perawat.

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian ini terbukti bahwa pemakaian alat proteksi radiasi khususnya kaca mata pelindung goggle telah mampu mengurangi dosis efektif yang diterima kurang lebih 95,63% dari dosis efektif yang diterima langsung tanpa pemakaian kaca mata goggle. Saat pengukuran, posisi dokter selama melakukan tindakan *Percutaneous Coronary Intervention* selalu dekat dengan *image intensifier* (detektor) akan memiliki risiko lebih besar. Saat pengambilan citra pada posisi AP (*Anterior Posterior*) diperkirakan posisi dokter hanya berjarak kurang lebih 30 cm. Penerimaan dosis pada mata untuk dokter lebih besar dibandingkan perawat yang posisinya relatif lebih jauh dari keluaran sinar-x dan detektor.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan di atas tentang dosis yang diterima oleh dokter dan perawat pada pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* di instalasi Cath Lab Rumah Sakit Hermina Depok, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dosis efektif yang diterima organ mata tanpa memakai kaca mata pelindung radasi pada pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* bervariasi pada kisaran 0,0011–0,0054 mSv untuk dokter dan kisaran antara 0,0010–0,0025 mSv untuk perawat. Dalam kurun waktu 1 tahun dokter menerima dosis dengan kisaran antara 1,168–8,4315 mSv/jam dan kisaran 0,803-1,7155 mSv/jam untuk perawat.
2. Pemakaian kaca mata pelindung radasi saat melakukan pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* efektif mengurangi dosis efektif hingga 95,63%, menjadikan persentase dosis yang diterima oleh organ mata jika memakai kaca mata pelindung hanya sebesar 4,37% saja dari tingkat dosis efektif (dosis luar/langsung) yang diterima.
3. Dosis efektif yang diterima organ mata jika menggunakan kaca mata pelindung radiasi, berkisaran antara 0,00005–0,00022 mSv bagi dokter. Sedangkan dosis efektif yang diterima organ mata berkisar antara 0,00001–0,00010 mSv bagi perawat. Jika di kalikan dalam waktu 1 tahun seorang dokter menerima dosis antara 0,0365-0,3285 mSv/jam dan untuk perawat kisaran antara 0,0109-0,1460 mSv/jam pada pemakaian goggle, dosis ini masih dikategorikan dalam batas normal.
4. Dapat dikatakan bahwa, pemakaian kaca mata pelindung radiasi dalam pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* cukup efektif menurunkan radiasi yang diterima oleh organ mata.

Saran

Guna menghindari munculnya efek stokastik, perlu untuk memakai alat proteksi diri pada saat akan dilakukannya pemeriksaan *Percutaneous Coronary Intervention* untuk melindungi organ *at risk* seperti kaca mata goggle untuk melindungi organ mata dan *shielding* untuk leher dengan ukuran yang memadai agar maksimal dalam memproteksi dari paparan radiasi secara langsung maupun dari hamburan radiasi itu sendiri.

Kekurangan penelitian ini adalah tidak adanya variabel mata kanan dan kiri untuk mengetahui penerimaan dosis mata kanan dan kiri bagi pekerja radiasi serta kendala peletakan TLD bagi pekerja radiasi dokter dan perawat saat pemeriksaan berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Medical X-ray imaging, FDA U.S. Food and Drug, 09/28/2020 Tersedia di <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/medical-imaging/medical-x-ray-imaging> Diakses pada 23 Feb 2021
- [2] C Arm Radiography Fluoroscopy, Redaksi Halodoc, Tersedia di : <https://www.halodoc.com/kesehatan/c-arm-radiography-fluoroscopy>, Diakses pada 18 Feb 2021
- [3] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 5 Tahun 2016 tentang Keselamatan Radiasi dalam Produksi Barang Konsumen
- [4] Liyas, S. 2011. *Ilmu Penyakit Mata. Edisi 11. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia*. Jawa Barat:Depok.
- [5] Sources And Effects Of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume I Source, Annexes D: Medical radiation exposures, United Nations New York, 2000
- [6] Shivali Sharma, M.S. and Kanwar, S.P., Tyagi and Sheikh Imran, Comparison of fluoroscopic and radiographic imaging of long bones in healthy dogs, *Journal of Applied Animal Research*, 2013, Vol. 41, No. 3, 339_346, <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2013.782874>].
- [7] Labora, M.P., Calibration Of A C-Arm X-Ray System For Its Use In Tomography, 2013, Departamento De Bioingeniería E Ingeniería Aeroespacial, Universidad Carlos III de Madrid
- [8] Willy, T., Kenali Apa Itu Fluoroskopi, Terakhir Diperbaharui 6 Juli 2018, Tersedia di : <https://www.alodokter.com/kenali-apa-itu-fluoroskopi>, Diakses pada 18 Feb 2021
- [9] SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, Volume I Source, Annexes D: Medical radiation exposures, United Nations New York, 2000, p. 300
- [10] Shivali Sharma, M.S. and Kanwar, S.P., Tyagi and Sheikh Imran, Comparison of fluoroscopic and radiographic imaging of long bones in healthy dogs, *Journal of Applied Animal Research*, 2013, Vol. 41, No. 3, 339_346, p. 340 <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2013.782874>.

- [11] SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, Volume I Source, Annexes D: Medical radiation exposures, United Nations New York, 2000, p. 312
- [12]. Perkasa, G, Penyakit Jantung Penyebab Kematian Utama di Dunia, Editor: Lusiana Kus Anna, KOMPAS.com, 14/12/2020, 10:16 WIB, Tersedia di : <https://lifestyle.kompas.com/read/2020/12/14/101607520/penyakit-jantung-penyebab-kematian-utama-di-dunia?page=all>. Diakses : 6 Februari 2021
- [13] Firdaus, I, Press Release, World Heart Day PERKI 27 September 2019,– Tersedia di: http://www.inaheart.org/news_and_events/news/2019/9/26/press_releaseworld_heart_day_perki_2019, Diakses pada : 6 Februari 2021
- [14] Labora, M.P., Calibration Of A C-Arm X-Ray System For Its Use In Tomography, 2013, Departamento De Bioingeniería E Ingeniería Aeroespacial, Universidad Carlos III de Madrid, p. 34
- [15] Komponen penghasil sinar-X: Generator sinar-X dan Tabung sinar-X. Tersedia di https://www.researchgate.net/figure/X-ray-generator-and-x-ray-tube-components-are-illustrated-The-x-ray-generator-provides_fig2_8365056/download Diakses pada 15 Februari 2021
- [16] Proses pembangkitan sinar-X. Tersedia di <https://teachmeanatomy.info/the-basics/imaging/x-ray/> Diakses pada 15 Februari 2021
- [17] Mesin C-Arm mobile. Tersedia di : <https://www.itnonline.com/content/philips-launches-zenition-mobile-c-arm-platform> Diakses pada 15 Februari 2021
- [18] Struktur Sistem Mesin C-Arm. Tersedia di <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2241010646> Diakses pada 15 Februari 2021
- [19] Alat pelindung diri (apron). Tersedia di https://www.prnewsprime.com/wp-content/uploads/2019/07/0-35mmpb-X-ray-protective-suit-clothing-Y-ray-protective-apron-hospital-clinic-business-protection-gloves.jpg_640x640.jpg Diakses pada 15 Februari 2021
- [20] Mesin C-Arm Philips tipe Alura Centro. Tersedia di www.philips.com.au Diakses pada 15 Februari 2021

