ANALISIS PENENTUAN DOSIS EFEKTIF CT SCAN BERDASARKAN USIA PADA BAGIAN OTAK (*BRAIN*) DI INSTALASI RADIOLOGI RSI SULTAN AGUNG SEMARANG

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains
dalam Ilmu Fisika

Oleh :

Rizqi Amaliyah

NIM : 1508026020

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG

TAHUN 2020

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Rizqi Amaliyah

NIM : 1508026020

Jurusan : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

"Analisis Penentuan Dosis Efektif CT Scan pada Bagian Otak (*Brain*) Berdasarkan Usia di Instalasi Radiologi RSI Sultan Agung Semarang."

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang , 11 April 2020
Pembuat pernyataan,

Rizqi Amaliyah
NIM : 1508026020

KEMENTRIAN AGAMA R. I.
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Hamka (Kampus II) Ngaliyan Semarang
Telp. 024-76433366 Fax. 7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **Analisis Penentuan Dosis Efektif Ct Scan Berdasarkan Usia pada Bagian Otak (*Brain*) di Instalasi Radiologi RSI Sultan Agung Semarang.**
Penulis : Rizqi Amaliyah
NIM : 1508026020
Jurusan : Fisika

Telah diujikan dalam sidang *munaqasyah* oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana dalam Ilmu Fisika.

Semarang, 20 April 2020

DEWAN PENGUJI

Ketua

Edi Daenuri Anwar, M.Si
NIP:197907262009121002

Sekretaris

Joko Budi Poernomo, M.Pd
NIP:19760214 200801 011

Penguji I

Muhammad Fadhi Khalif, M.Sc
198210092011011010

Penguji II

Dr. Hamdan Hadi Kusuma, M.Sc
NIP:19770320 200912 1 002

Pembimbing I

Edi Daenuri Anwar, M.Si
NIP:197907262009121002

Pembimbing II

Arsini, M.Sc
NIP:198408122011012011

NOTA DINAS

Semarang , 07 April 2020

Kepada
Yth.Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo
di Semarang

Assalamu'alaikum. wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan :

Judul	: Analisis Penentuan Dosis Efektif CT Scan pada Bagian Otak (*Brain*) Berdasarkan Usia di Instalasi Radiologi RSI Sultan Agung Semarang.
Nama	: **Rizqi Amaliyah**
NIM	: 1508026020
Jurusan	: Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum. wr. wb.

Pembimbing I

Edi Daenuri Anwar, M.Si
NIP : 19790726 2009121 002

NOTA DINAS

Semarang , 11 April 2020

Kepada
Yth.Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo
di Semarang

Assalamu'alaikum. wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan :

Judul	: Analisis Penentuan Dosis Efektif CT Scan pada Bagian Otak (*Brain*) Berdasarkan Usia di Instalasi Radiologi RSI Sultan Agung Semarang.
Nama	: **Rizqi Amaliyah**
NIM	: 1508026020
Jurusan	: Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum. wr. wb.

Pembimbing II

Arsini, M.Sc

NIP : 19840812 2011012 011

ABSTRAK

Judul : **Analisis Penentuan Dosis Efektif CT Scan Berdasarkan Usia pada Bagian Otak (Brain) di Instalasi Radiologi RSI Sultan Agung Semarang.**

Peneliti : Rizqi Amaliyah

NIM : 1508026020

CT Scan merupakan instrumen kedokteran yang memanfaatkan radiasi sinar-X untuk mengetahui anatomi dalam tubuh tanpa harus melakukan tindakan pembedahan. Radiasi sinar-X menimbulkan efek bagi individu yang terpapar radiasi. Dosis sekecil apapun akan menimbulkan efek samping baik secara langsung ataupun jangka panjang. Dosis yang melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh lembaga yang berwenang. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dosis efektif pada CT Scan bagian otak (*Brain*). Dosis efektif diverifikasi sesuai peraturan Badan pengawas tenaga nuklir (Bapeten) dan *Association of Physicist in Medicine* (AAPM). Data dari 80 pasien yaitu 40 pasien laki-laki dan 40 pasien perempuan dari usia <10-80 tahun kemudian dikelompokkan dalam beberapa kelompok usia. Hasil *Computed Tomography Dose Index* (CTDI) rerata pada pasien laki-laki sebesar 55,32 mGy dan pada pasien perempuan sebesar 55,27 mGy. Nilai dosis Efektif pada pasien laki-laki sebesar 2,44 mSv dan pada pasien perempuan sebesar 2,25 mSv.

Kata kunci : CT Scan, Dosis Efektif, Otak.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas kehendaknya bumi masih berputar pada orbitnya, yang telah menjadikan siang dan malam, telah memberikan rahmat serta kasih sayangnya kepada hambaNya, sehingga skripsi ini mampu terselesaikan. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan ke pangkuan Nabi Muhammad SAW yang senantiasa kita harapkan syafaatnya di dunia hingga di akhirat, semoga kita semua diakui sebagai umatnya, Aamiin.

Penulis menyadari penyusunan skripsi yang berjudul judul "Analisis Penentuan Dosis Efektif CT Scan Berdasarkan Usia pada Bagian Otak (Brain) di Instalasi Radiologi RSI Sultan Agung Semarang " masih banyak kekurangan dan kesalahan baik secara tulisan maupun pemahaman. Sebagai makhluk yang memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan penulis banyak menemui hambatan dan kesulitan dalam penyusunan skripsi. Atas bantuan berbagai macam pihak, Alhamdulillah hambatan dan kesulitan dapat terselesaikan. Untuk itu ucapan terimakasi penulis haturkan kepada :

1. Prof. Dr. Imam Taufiq, M.Ag selaku rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Dr. H. Ismail, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.

3. Ketua Program Studi Fisika UIN Walisongo Semarang, Agus Sudarmanto, M.Si .
4. Dosen pembimbing I, Edi Daenuri Anwar, M.Si yang dengan sabar membimbing penulis dalam menyusun naskah skripsi.
5. Dosen pembimbing II, Arsini, M.Sc yang saran masukan dalam bimbingannya sangat membantu penulis untuk menyusun naskah skripsi.
6. Wali dosen penulis, Bapak M. Ardhi Khalif, M.Sc yang telah mengarahkan penulis selama masa kuliah.
7. Direktur RSI Sultan Agung Semarang yang telah mengijinkan penulis melakukan penelitian di RSI Sultan Agung Semarang.
8. Kepala Instalasi Radiologi RSI Sultan Agung Semarang, Slamet Riyanto, S.Si dan segenap staff di Instalasi Radiologi RSI Sultan Agung yang telah membantu penulis dari awal hingga akhir penelitian.
9. Heni Sumarti, M.Si dan segenap dosen Fisika UIN Walisongo yang telah membantu dan memberikan banyak ilmu kepada penulis selama belajar di UIN Walisongo Semarang. Semoga ilmu yang telah diberikan bermanfaat.
10. Segenap staff Tata Usaha yang telah membantu penulis selama belajar di UIN Walisongo Semarang.

11. Bapak Muhammad Nur, DEA , Pak Eko Yulianto, M.Si, Kak Ade Ika Susan, M.Si dan kakak-kakak dari PT Dipo Technology yang telah banyak membimbing, memotifasi dan memberi masukan pada penulis saat Kerja Praktir hingga penulisan skripsi.
12. Orang tua tercinta Bapak Nasikin dan Ibu Siti Khotijah yang telah membesarkan, mendoakan, mendidik,menyayangi, memberikan dukungan moril dan materiil kepada penulis yang tak terhingga nilainya.
13. Adik-adik penulis Naily Mona dan M. Khoirul Anam yang sedang berjuang menjadi amal jariyyah untuk orang tua tercinta.
14. Muhammad Khabibullah, yang telah menemani, menyemangati dan memberikan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
15. Siva Tahula Haba dan teman-teman Fisika 2015 khususnya peminatan Fisika medis yang telah berjuang bersama dan saling menyemangati.
16. Sahabat – sahabat penulis Nurul Malikah, Layyinatus Sifah, Luluk Nikmatul Khasanah, Siti Munawaroh, An Nisa Nur Afifah, Cici Lestari Ningrum,dan Agustina Dwi yang selalu memberi semangat kepada penulis.

17. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan skripsi yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis tidak dapat menyelesaikan skripsi ini tanpa bantuan semua pihak. Penulis hanya mampu mendoakan dan mengucapkan terimakasih karena tidak mampu membalas kebaikan semua pihak. Semoga bantuan dari semua pihak terkait menjadikan amalan baik dan dibalas oles Allah SWT dengan balasan yang sebaik-baiknya. Kritik dan saran penulis harapkan untuk kemajuan penulis saat menulis karya ilmiah dimasa yang akan datang. Sekian dari penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk semua pihak dan dapat dijadikan khazanah keilmuan. Aamiin.

Semarang, 11 April 2020
Penulis

Rizqi Amaliyah
NIM:1508026020

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

PERNYATAAN KEASLIAN ii

PENGESAHAN iii

NOTA DINAS iv

ABSTRAK vi

KATA PENGANTAR vii

DAFTAR ISI xi

DAFTAR GAMBAR xiv

DAFTAR TABEL xv

DAFTAR LAMPIRAN xvi

BAB I PENDAHULUAN 1

A.Latar Belakang 1

B.Rumusan Masalah 5

C.Tujuan Penelitian 6

D.Manfaat Penelitian 6

E.Batasan Masalah 8

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9

A.Kajian Teori 9

1.Radiasi 9

2.Interaksi Foton dengan Materi 10

3.Sinar-X 14

4.Efek Radiasi Pada Tubuh 17

5.CT Scan.....21
6.Prinsip Kerja CT Scan.....24
7.Sistem pada KOmponen CT Scan.....26
8.Dosis pada CT Scan.....28
9.Dose Length Product (DLP).....31
10.Dosis Efektif.....31
11.Anatomi Otak (*Brain*).....33
12.Nilai Batas Dosis (NDB).....37
B.Kajian Pustaka.....41

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....46
A.Jenis Penelitian.....46
B.Tempat dan Waktu Penelitian.....46
C.Objek Penelitian.....47
D.Alat Penelitian.....47
E.Teknik Pengumpualan Data.....48
F.Teknik Analisis Data.....51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....53
A.Uji Kualitas Radiasi.....53
B.Analisis Dosis Efektif.....63
BAB V PENUTUP.....73
A.Kesimpulan.....73
B.Saran.....74
DAFTAR PUSTAKA..... **75**

LAMPIRAN-LAMPIRAN 78

DAFTAR GAMBAR

Gambar **Judul** **Hlm**

Gambar 2.1 Skema Terjadinya Efek Fotolistrik.....11

Gambar 2.2 Skema Terjadinya Hamburan Compton.....12

Gambar 2.3 Skema Terjadinya Produksi Pasangan 13

Gambar 2.4 Tabung Sinar-X.....15

Gambar 2.5 Kurva Energi Sinar-X 16

Gambar 2.6 Skema Prinsip Kerja CT Scan.....24

Gambar 2.7 Komponen CT Scan.....26

Gambar 2.8 Anatomi Otak Manusia.....34

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 49

Gambar 4.1 Perbandingan Dosis Efektif Laki-laki dan Perempuan.....70

DAFTAR TABEL

Tabel **Judul** **Hlm**

Tabel 2.1 Perkembangan rekomendasi penerimaan dosis maksimum yang diijinkan untuk seluruh tubuh bagi pekerja radiasi 38
Tabel 2.2 Tingkat panduan dosis Tomografi Komputer untuk setiap pemeriksa pada orang dewasa 39
Tabel 2.3 Nilai dosis efektif pada pencitraan beberapa CT 40
Tabel 4.1 Perbandingan nilai CTDI 55
Tabel 4.2 Hubungan CTDIvol dan tegangan (kV) pada pasien laki-laki 58
Tabel 4.3 Hubungan CTDIvol dan tegangan (kV) pada pasien perempuan 58
Tabel 4.4 Hubungan CTDIvol dan arus-waktu(mAs) pada pasien laki-laki 60
Tabel 4.5 Hubungan CTDIvol dan arus-waktu (mAs) pada pasien perempuan 61
Tabel 4.6 Hubungan CTDIvol dan panjang *scan* pada pasien laki-laki 62
Tabel 4.7 Hubungan CTDIvol dan panjang *scan* pada pasien perempuan 62
Tabel 4.8 Perbandingan nilai dosis efektif 66

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. : Data Hasil Penelitian

Lampiran 2. : Hasil Citra CT *Brain*

Lampiran 3. : Dosis yang Dilaporkan pada *Image Processor*

Lampiran 4. : Perhitungan Dosis Efektif

Lampiran 5. : Surat Penunjukan Pembimbing

Lampiran 6. : Surat Permohonan Izin Riset

Lampiran 7. : Surat Izin Riset

Lampiran 8. : Surat Selesai Riset

Lampiran 9 :Dokumentasi

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Teknologi dibidang kesehatan terus mengalami perkembangan yang pesat. Beberapa alat kedokteran yang digunakan untuk mendiagnosis suatu penyakit maupun untuk kebutuhan terapi semakin beragam. Kelainan dalam tubuh dapat dideteksi dengan peralatan diagnostic seperti pesawat sinar-X, CT Scan, MRI, USG yang ditunjang dengan peralatan komputer yang semakin canggih(Soediatmoko, 2011).

Pemanfaatan sinar-X pada bidang kesehatan yaitu untuk radiodiagnostik, radioterapi dan kedokteran nuklir (Bapeten, 2011). Radiodiagnostik merupakan sebuah cara untuk mengetahui penyakit didalam tubuh menggunakan radiasi pengion yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X bertegangan tinggi tanpa harus melakukan tindakan operasi pembedahan(Bapeten, 2011). Hasil pemeriksaan yang berupa film atau gambaran tubuh hitam putih atau yang sering disebut sebagai citra. Radiasi pengion yang menghasilkan sinar-X di manfaatkan untuk beberapa alat di radiodiagnostik di antaranya pesawat

sinar-X konvensional dan mobile X-ray, CT Scan, mammografi, fluoroskopi, panoramic (Bapeten, 2011).

CT Scan saat ini telah menjadikan komponen utama pada dunia kesehatan khususnya di bidang pemeriksaan radiologi. Perkembangannya yang semakin pesat kini menjadikan CT Scan menjadi pesawat yang sangat penting perananannya. Teknologi CT Scan yang menggunakan tabung X-ray bertegangan tinggi, arus yang besar dengan komputasi yang sangat canggih dan multi detektor yang menghasilkan irisan berukuran milimeter sehingga gambaran anatomi tubuh yang semakin luas dapat diselesaikan dengan waktu yang lebih cepat (ICRP, 2007).

Pesawat CT Scan dapat memberikan informasi gambar yang lebih rinci dari pesawat sinar-X kobvensional karena *source* dan multi detektor yang mampu berotasi secara penuh sehingga dapat melihat objek secara axial dari berbagai sudut. Hasil irisan-irisan CT-Scan mampu direkonstruksi ke potongan coronal. Hal ini merupakan kelebihan dari CT-Scan yang tidak dapat dilakukan oleh pesawat sinar-X konvensional(Irnawati, 2018). Kualitas dosis yang diberikan pada masing-masing jaringan harus menggunakan metode yang telah ditetapkan oleh Bapeten diantanya menggunakan metode

Multi Scan Average Dose (MSAD), Compted Tomography Dose Index (CTDI) dan juga *Dose Length Product* (DLP) (Bapeten, 2003).

Objek radiasi menjadi salah satu perhatian para ilmuan untuk dianalisis. Perbedaan struktur jaringan dan kerapatan yang berbeda-beda pada setiap organ tubuh menjadikan tiap-tiap jaringan memiliki tingkat sensitifitas berbeda- beda terhadap radiasi. Dosis yang dikenakanpun berbeda-beda disetiap organ ataupun jaringan pada tubuh (Munir, 2011). Kepala menjadi bagian tubuh yang sangat penting dimana didalam kepala terdapat system syaraf pusat yaitu otak (*Brain*). Otak merupakan system syaraf pusat yang mengatur kendali pada tubuh manusia. Kelainan pada otak dapat diakibatkan oleh beberapa sebab diantaranya adalah kerusakan sel syaraf yang dapat mengakibatkan stroke. Kelainan pada otak (*Brain*) juga dapat disebabkan oleh benturan akibat kecelakaan dan adapula yang sampai memiliki tumor pada otak. Kelainan-kelainan pada otak dapat diketahui dan diperiksa tanpa melakukan operasi bedah yaitu dengan pemeriksaan menggunakan CT Scan (Pearce, 2011).

Salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya dosis adalah karena adanya faktor bobot jaringan yang

berbeda-beda pada setiap organnya(AAPM, 2008). Radiasi pengion selain dapat membantu dalam mendiagnosis penyakit yang ditampilkan dalam bentuk *image* dapat memberikan efek stokastik (perubahan sel secara biologis) dan efek deterministic (kematian sel). Hal tersebut terjadi ketika dosis yang diberikan melebihi batas ambang dosis yang telah ditetapkan oleh lembaga-lembaga berwenang. Kerusakan sel dan kematian sel dapat mengakibatkan kerusakan pada organ tubuh dalam jangka pendek atau jangka panjang terlebih lagi juga dapat mengakibatkan timbulnya tumor atau kanker akibat radiasi pengion (Mukhlis, 2000). Dosis efektif merupakan dosis yang merefleksikan sensitivitas biologis organ yang berbeda-beda (Munir, 2011). Dosis efektif diberikan kepada pasien dengan tujuan mendapatkan hasil gambaran yang bagus dengan dosis yang serendah-rendahnya. Kajian mengenai dosis pada pemeriksaan CT-Scan sangatlah penting dilakukan mengingat pesawat CT Scan ini menggunakan tegangan tinggi dan arus yang besar dibandingkan dengan pesawat radiodiagnostik yang lain (Ibrahim, 2018).

Penelitian tentang dosis pada CT Scan telah dilakukan oleh Johan (2014) tentang dosis radiasi CT Scan bagian kepala yang merujuk pada aturan

International Commission on Radiological Protection (ICRP). Hasil penelitian menunjukan bahwa dosis efektif pada kepala masih dibawah ambang batas yang ditentukan oleh ICRP yaitu sebesar 1-2 mSv. Penelitian lain juga telah dilakukan oleh Ajeng (2018) tentang estimasi dosis efektif CT Scan pada pemeriksaan abdomen sesuai dengan anjuran ICRP. Hasil dari penelitian masih sesuai dengan ambang batas yang dianjurkan oleh ICRP.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besaran dosis efektif pada CT Scan pada bagian *Brain* berdasarkan usia untuk memastikan bahwa dosis yang diberikan kepada pasien masih dibawah nilai ambang dosis yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dan *American Associatios of Physicist in Medicine* (AAPM).

B. Rumusan Masalah

1. Berapakah nilai dosis efektif dari CT Scan bagian Brain pada instalasi radiologi di RSI Sultan Agung Semarang?
2. Apakah nilai *Computed Tomography Dose Index* (CTDI) CT Scan bagian otak (*Brain*) sesuai dengan nilai

ambang dosis yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)?

3. Apakah nilai dosis efektif CT Scan bagian otak (Brain) sesuai dengan aturan komisi Internasional *American Association of Physicists in Medicine* (AAPM)?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui nilai dosis efektif CT Scan bagian *Brain* pada instalasi radiologi RSI Sultan Agung Semarang.
2. Untuk memverifikasi nilai *Computed Tomography Dose Index* (CTDI) CT Scan pada otak (*Brain*) sudah sesuai dengan nilai ambang dosis yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN).
3. Untuk memverifikasi nilai dosis efektif CT Scan bagian otak (*Brain*) sesuai dengan aturan komisi Internasional *American Association of Physicists in Medicine* (AAPM).

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat untuk Universitas

Penelitian ini bermanfaat bagi Universitas UIN Walisongo pada umumnya dan khususnnya untuk Fakultas Sains dan Teknologi. Adapun manfaatnya sebagai berikut :

a. Dapat menjalin kerja sama dengan instansi diluar kampus dalam penelitian ini adalah kerja sama yang terjalin dengan RSI Sultan Agung.
b. Menambah kontribusi ilmu pengetahuan di lingkungan UIN Walisongo terutama pada peningkatan kualitas sumber daya manusia.
c. Dapat dijadikan bahan bacaan di perpustakaan UIN Walisongo dan menjadi bahan referensi bagi mahasiswa lain di UIN Walisongo.

2. Manfaat untuk Rumah Sakit

Adapun manfaat penelitian ini bagi Rumah Sakit adalah :

a. Dapat menjalin kerja sama antar instansi yaitu dengan UIN Walisongo Semarang.
b. Dapat menambah referensi acuan dalam mencari sebab akibat apabila terjadi kesalahan atau kecelakaan radiasi dalam sistem pelayanan di Rumah Sakit terutama di bidang radiologi.
c. Hasil penelitian yang didapatkan dapat dijadikan sarana dalam menyusun strategi pelayanan dan pemeriksaan di Rumah sakit.

3. Manfaat bagi Mahasiswa

Penelitian ini tentunya sangat bermanfaat bagi peneliti diantaranya :

a. Menambah wawasan berpikir dalam penerapan teori yang telah didapatkan di bangku perkuliahan.
b. Menambah saran belajar untuk mengintegrasi keterampilan dan pengetahuan dengan terjun langsung ke lembaga atau instansi dilakukannya penelitian.
c. Dapat menambah referensi pribadi dalam ilmu pengetahuan untuk dapat dikembangkan dimasa yang akan datang.

E. Batasan Masalah

1. Objek perhitungan dosis efektif hanya pada bagian otak (*Brain*).
2. Pengambilan data pada pasien laki-laki sebanyak 40 pasien dan pasien perempuan sebanyak 40 pasien.
3. Usia pasien dari 0 tahun hingga 80 tahun dan masing masing dikelompokkan menjadi 8 kelompok usia baik pada pasien laki-laki maupun perempuan.
4. Analisis hanya sampai dosis efektif dan diverifikasi dengan aturan AAPM dan Bapeten.

BAB II
Tinjauan Pustaka

A. Kajian Teori

1. Radiasi

Radiasi secara umum diartikan sebagai pancaran. Radiasi sudah sering berhubungan dengan aktifitas sehari-hari di alam ini. Misalnya pada matahari dikatakan sebagai sumber radiasi dikarenakan matahari mampu memancarakan radiasi berupa cahaya tampak. cahaya mampu sampai kebumi tanpa melalui media rambat(Mukhlis, 2000). Radiasi adalah pancaran energi melalui suatu meteri atau ruang dalam bentuk panas, partikel atau gelombang elektro magnetik. Bila radiasi melewati materi membentuk partikel bermuatan positif dan negatif (ion), proses ini disebut radiasi ionisasi(Ervin, 2005). Tidak semua radiasi dapat mengubah ion atau partikel yang dilaluinya, radiasi ini disebut sebagai radiasi non pengion(Beyzadeoglu, 2010). Sinar-α, sinar-β, sinar-γ dan sinar-X adalah beberapa contoh radiasi pengion karena sifatnya yang dapat mengubah ion-ion atau pertikel- partikel yang dilaluinya. Partikel ini memiliki kemampuan untuk menimbulkan kerusakan biologi pada manusia dengan cara merusak sel-sel jaringan tubuh yang terkena radiasi. Gelombang

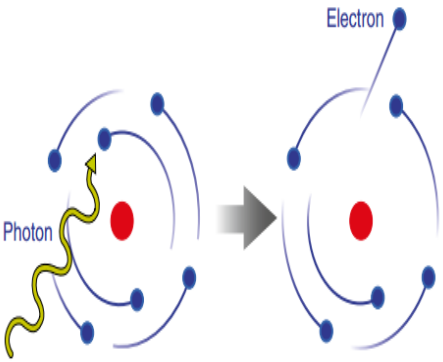
radio, sinar inframerah, cahaya tampak dan sinar ultraviolet adalah beberapa contoh radiasi non-pengion yang tidak merubah ion-ion atau partikel-partikel yang dilaluinya sehingga tidak berbahaya bagi kesehatan. Penggunaan zat-zat radioaktif (Gelombang radio, cahaya inframerah, cahaya tampak, sinar ultraviolet, sinar-α, β, γ dan X-ray)(Wiyatmo, 2009).

2. Interaksi Foton Dengan Materi

a. Efek Fotolistrik

Teori efek fotolistrik diterikan oleh Albert Einsein pada tahun 1905. Heinrich Rudolf Hertz sebenarnya sudah melakukan penelitian ini sejak tahun 1887, karena itu efek foto listrik juga dikenal sebagai efek Hertz (Beyzadeoglu, 2010). Sederhananya, ketika radiasi elektromagnetik mencapai permukaan (umumnya permukaan logam), kemudian ditransfer energinya ke elektron permukaan itu, yang kemudian tersebar. Pada tingkat atom, radiasi yang masuk menabrak sebuah elektron dari orbital atom bagian dalam, yang kemudian mendorongnya keluar dari atom. Efek fotolistrik dominant terjadi pada energy 35 kV dan pada atom dengan nomor atom (Z) yang tinggi. Nomor atom tulang lebih tinggi dari jaringan lunak, tulang menyerap lebih banyak radiasi daripada

jaringan lunak. Perbedaan daya serap inilah yang menjadi dasar dari radiology diagnostic. Peristiwa ini juga menjelaskan mengapa logam dengan nomor atom tinggi (misalnya : timbal) digunakan untuk menyerap sinar-X (berenergy rendah) dan sinar gamma(Beyzadeoglu, 2010).

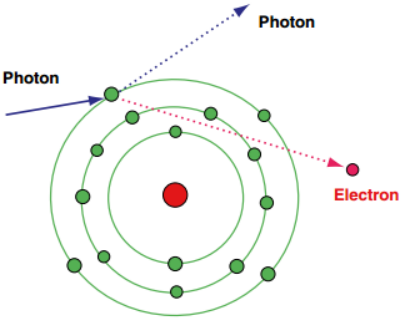


Gambar 2.1. Skema Terjadinya Efek Fotolistrik (Beyzadeoglu, 2010)

b. Hamburan Compton

Peristiwa hamburan Compton, foton bertabrakan dengan elektron pada kulit terluar, kemudian foton dan elektron tersebut terhambur pada arah yang berbeda (dimana θ adalah sudut yang terbentuk antara keduanya). Energi foton

yang datang di transfer ke electron dalam bentuk energi kinetic. Electron yang terhambur juga berinteraksi dengan electron lain di kulit atom terluar. Setelah berinteraksi, energy foton menjadi berkurang dari sebelum berinteraksi. Efek Compton sangat dominan di berbagai spectrum energy, seperti 35 kV – 50 MV. Efek Compton tidak bergantung pada nomor atom (Z) pada serapan suatu bahan. Penyerapan radiasi yang masuk sama untuk tulang dan juga jaringan lunak(Beyzadeoglu, 2010).

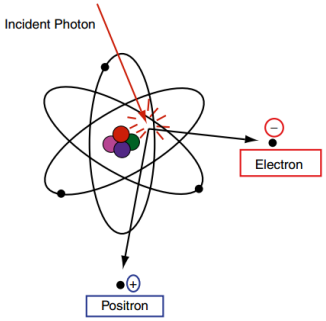


Gambar 2.2. Skema Terjadinya Hamburan Compton (Beyzadeoglu, 2010)**.**

c. Produksi Pasangan

Peristiwa ini jarang sekali terjadi. Produksi pasangan terjadi ketika foton di transformasikan

menjadi electron dan positron yang berdekatan dengan inti. Elektron melepaskan semua energinya dari proses tersebut. Disisi lain positron menyebar melalui atom yang memiliki tingkat ionisasi sedang, sampai energinya jatuh ke tingkat yang sangat rendah sehingga menarik electron bebas yang cukup dekat untuk bergabung dengannya dalam proses yang disebut penghancuran. Proses pengahancuran tersebut menyebabkan terbentuknya sepasang foton yang bergerak berlawanan arah, masing-masing dengan energy 0,511 MeV. Penghancuran foton ini diserap melalui proses fotolistrik atau Compton (Beyzadeoglu, 2010).



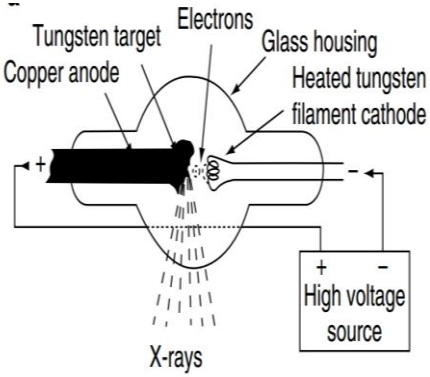
Gambar 2.3. Skema Terjadinya Produksi Pasangan (Beyzadeoglu, 2010)

3. Sinar-X

Fisikawan Jerman Wilhelm C Roentgen merupakan seorang ilmuan yang telah berhasil menemukan sinar-X. Penemuan sinar-X pertama kali ditemukan pada 8 November 1895(Rasad, 1990). Roentgen melakukan penetian sinar katoda, saat menyalakan arus pada tabung katoda. Roentgen menemukan sebuah cahaya yang berpendar di layar yang terbuat dari bahan *barium platino cyanide*(Rasad, 1990). Ketika arus yang dialirkan pada tabung katoda dipadamkan sinar tersebut akan hilang. Roentgen menyadari adanya seberkas sinar yang tidak tampak muncul pada tabung sinar katoda. Roentgen yang menyadari bahwa sinar tersebut belum pernah dijumpainya maka dinamainya sinar-X. Selain disebut sebagai sinar-X para ilmuan seringkali menyebutnya dengan sinar Roentgen yang bermaksut untuk menghargai jasa beliau(Mukhlis, 2000).

Tertarik dengan penemuannya yang tidak disengaja, kemudian Roentgen memfokuskan penelitiannya pada sinar-X. Pendalaman penelitian sinar-X oleh Roentgen bahwa sinar-X dapat memendarkan berbagai bahan kimia. Sinar-X dapat menembus beberapa materi yang tidak mampu

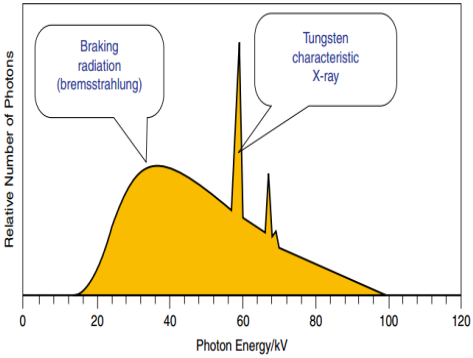
ditembus oleh sinar tampak yang lebih dulu dikenal. Roentgen juga menyatakan saat ia memposisikan tangannya diantara tabung katoda dengan layar, bayangan tangannya terlihat pada layar yang berpendar. Setelah didalami ternyata sinar-X merambat lurus tidak terbelokan oleh medan magnet ataupun medan listrik (Mukhlis, 2000).



Gambar 2.4. Tabung sinar-X (Ervin, 2005)

Produksi sinar-X dapat terjadi dengan cara menembakkan electron kepada targen logam dengan cepat dalam suatu tabung vakum katoda. Electron dihasilkan dari filament juga berfungsi sebagai katoda diberi diberi tegangan tinggi sekitar 10^2-10^6 agar elektron dapat bergerak cepat. Elektron yang dipancarkan dari filament tersebut kemudian bertabrakan dengan target logam bernomor atom

tinggi juga memiliki titik leleh tinggi yang berfungsi sebagai anoda. Elektron yang ditembakkn dari filament menuju target logam akan memancarkan sinar-X dari permukaan logam (Mukhlis, 2000). Interaksi Coulomb terjadi antara electron dengan inti atom material logam yang dapat membelokkan electron setelah mendekati inti atom dan terjadi perlambatan pada peergerakan electron. Proses pengereman tersebut electron memancarkan sinar-X yang disebut sinar-X *Bremsstrahlung.*



Gambar 2.5. Kurva Energy Sinar-X (Ervin, 2005)

Sinar-X juga dapat terbentuk melalui proses perpindahan electron atom pada tingkat energi yang lebih tinggi ke energi yang lebih rendah untuk mengisi kekosongan elektron pada kulit tertentu. Dalam proses perpindahannya sinar-X akan terpancar, di karenakan

perpindahan electron tersebut dari tingkatan kulit yang berbeda-beda maka sinar-X tersebut dinamakan sinar-X karakteristik. Energi pada sinar-X karakteristik bersifat diskrit sedangkan energi dari sinar-X bremsstrahlung bersifat kontinyu(Ervin, 2005).

4. Efek Radiasi Pada Tubuh

Studi intensif efek radiasi terhadap jaringan tubuh manusia terus dilakukan oleh ahli biologi radiasi(radiobiologi). Radiasi tersebut diketahui dapat menimbulkan kerusakan somatik berupa kerusakan sel-sel jaringan tubuh dan kerusakan genetik berupa mutasi sel-sel reproduksi. Resiko kerusakan somatic dialami langsung oleh orang yang sel somatiknya terkena penyinaran. Sedangkan resiko dari kerusakan genetik tidak dialami oleh yang bersangkutan, melainkan keturunannya mempunyai peluang untuk terkena resikonya(Ervin, 2010).

Allah berfirman dalam al-Qur'an surat Yunus (10:24)

اِنَّمَا مَثَلُ الْحَيٰوةِ الدُّنْيَا كَمَآءٍ اَنْزَلْنٰهُ مِنَ السَّمَآءِ فَاخْتَلَطَ بِهٖ نَبَاتُ الْاَرْضِ مِمَّا يَأْكُلُ النَّاسُ وَالْاَنْعَامُ ۗحَتّٰٓى اِذَآ اَخَذَتِ الْاَرْضُ زُخْرُفَهَا وَازَّيَّنَتْ وَظَنَّ اَهْلُهَآ اَنَّهُمْ قٰدِرُوْنَ عَلَيْهَآ اَتٰىهَآ اَمْرُنَا لَيْلًا اَوْ نَهَارًا فَجَعَلْنٰهَا حَصِيْدًا كَاَنْ لَّمْ تَغْنَ بِالْاَمْسِ ۗ كَذٰلِكَ نُفَصِّلُ الْاٰيٰتِ لِقَوْمٍ يَّتَفَكَّرُوْنَ - ٢٤

Artinya : Sesungguhnya perumpamaan kehidupan duniawi itu, hanya seperti air (hujan) yang Kami

turunkan dari langit, lalu tumbuhlah tanaman-tanaman bumi dengan subur (karena air itu), di antaranya ada yang dimakan manusia dan hewan ternak. Hingga apabila bumi itu telah sempurna keindahannya, dan berhias, dan pemiliknya mengira bahwa mereka pasti menguasainya (memetik hasilnya), datanglah kepadanya azab Kami pada waktu malam atau siang, lalu Kami jadikan (tanaman)nya seperti tanaman yang sudah disabit, seakan-akan belum pernah tumbuh kemarin. Demikianlah Kami menjelaskan tanda-tanda (kekuasaan Kami) kepada orang yang berpikir (kemenag, 2007).

Telah dijelaskan pada tafsir Ibnu Katsir, tafsir surat Yunus (10:24) bahwasanya Allah mengumpamakan kehidupan seperti air yang diturunkan dari langit sehingga dengan air tersebut akan tumbuh bermacar-macam tumbuhan sejenisnya untuk kebutuhan makanan manusia dan juga makhluk hidup lain seperti hewan. Setelah mereka merasa menguasai dan mampu memetik hasilnya, tiba-tiba Allah menjadikan tanaman-tanaman tersebut seperti tanaman yang sudah disabit seakan-akan belum pernah tumbuh segar. Sesungguhnya itu adalah sebuah kehancuran. Perumpamaan tersebut juga bisa

dikaitkan pada sinar-X yang telah Allah ciptakan dan dimanfaatkan manusia pada bidang kesehatan, akan tetapi sinar-X tersebut juga dapat membahayakan karena paparan radiasinya.

Menurut *International Comission on Radiation Protection*(ICRP) efek radiasi terhadap tubuh manusia terbagi menjadi efek stokastik dan efek deterministic.

a. Efek Stokastik

Efek stokastik merupakan efek yang kemunculannya belum bisa dipastikan pada masing-masing individu, akan tetapi kemunculannya dapat diperkirakan berdasarkan data statistik yang telah ada. Efek stokastik berhubungan dengan paparan radiasi berenergi rendah yang dapat mengakibatkan munculnya kanker (kerusakan somatik) atau cacat pada keturunan (kerusakan genetik)(Rasad, 1990). Efek stokastik tidak mengenal dosis ambang didalamnya. Sekecil apapun dosis radiasi yang terpapar pada tubuh akan ada kemungkinan menjadikan rusaknya sel somatik ataupun sel genetik. Dosis rendah yang dimaksud adalah antara 0,25 – 1.000 μSv.(Mukhlis, 2000)

Efek stokastik mungkin akan tejadi jika telah memenuhi hubungan probabilistik antara dosis dengan

efek. Frekuensi terjadinya efek stokastik berbanding lurus dengan dosis yang terpapar pada individu atau kelompok. Efek stokastik ini akan ini akan muncul pada beberapa kelompok tertentu secara acak. Tinggi rendahnya dosis yang terpapar tidak berpengaruh pada keparahan efek stokastik yang diterima suatu kelompok, melainkan hanya berpengaruh pada frekuensi kejadian terterntu yang akan diterima oleh kelompok tertentu. Jadi ada empat ciri efek stokastik yaitu tidak mengenal dosis ambang, timbulnya efek setelah melalui masa tunda yang lama, keparahan tidak bergantung pada dosis radiasi, dan tidak ada penyembuhan spontan(Mukhlis, 2000).

b. Efek Deterministik

Efek deteministik adalah efek yang pasti muncul pada jaringan tubuh ketika terpapar radiasi dengan dosis tertentu. Efek deterministic berkaitan dengan paparan radiasi dengan dosis tinggi, dimana kemunculannya langsung dapat dirasakan atau dilihat oleh individu yang terkena paparan radiasi(Mukhlis, 2000). Efek ini mengenal adanya dosis ambang karena efek tersebut akan muncul seketika atau beberapa minggu setelah terpapar radiasi. Hanya pada dosis tertentu (melebihi batas ambang) akan menimbulkan

efek deterministik, sedangakan dosis yang masih dibawah batas ambang tidak menimbulkan efek deterministic tertentu(Mukhlis, 2000).

Efek deterministik ini dicirikan oleh hubungan sebab akibat yang bersifat pasti antara dosis yang diterima (sebab) dengan efek yang ditimbulkan (akibat). Untuk jenis efek tertentu dan untuk individu tertentu serta dalam kondisi penyinaran tertentu ada harga dosis ambang tertentu. Efek yang ditimbulkan juga bersifat segera dengan kemunculannya bergantung pada besarnya dosis yang terpapar. Berbanding terbalik dengan efek stokastik, efek deterministik memiliki ciri yaitu mempunyai dosis ambang, umumnya akan timbul beberapa saat setelah terpapar radiasi, dapat dilakukan penyembuhan spontan tergantung pada tingkat keparahannya, serta keparahan yang ditimbulkan bergantung pada besarnya dosis yang terpapar(Mukhlis, 2000).

5. CT Scan

Sejak tahun 1972 telah diperkenalkan suatu alat canggih meskipun tergolong sangat mahal, namun dapat merebut pasaran dan dapat menempati tempat teratas dalam waktu yang sangat singkat yaitu alat

tomogram yang dapat dikendalikan melalui computer, yang dikenal dengan *computer assistant tomography* (CAT) atau *computerized tomography* (CT)(Rasad, 1990). Pada CT, computer dikerahkan untuk menggantikan peranan film –kaset dan peranan kamar gelap dengan cairan-cairan developer serta fiksirnya. Semua data secepat kilat dikirim ke komputer yang mengolahnya (mengerjakan kalkulasi) secepat kilat pula. Hasil pengolahan muncul dalam layar TV yang bekerja sebagai monitor. Hasilnya merupakan penampang bagian tubuh yang diputari itu dan disebut *scan*. Jelaslah untuk dapat membaca *scan* dengan baik, maka perlu dikuasai pengetahuan mengenai penampang-penampang anatomik tubuh(Rasad, 1990).

Komponen CT Scan umumnya dapat dikelompokkan menjadi 4 bagian yaitu:

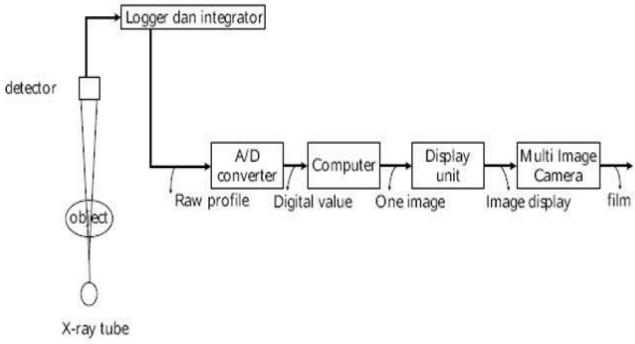
1. Unit *Scanning* yang terdiri atas gantry dengan tabung sinar-X dan detector didalamnya.
2. Meja pasien yang digunakan untuk memposisikan pasien saat proses *scanning*.
3. *Image processor* yang digunakan untuk merekonstruksi hasil citra *scanning.*
4. Meja konsol yang merupakan *interface* yang dirancang multifungsi sebagai meja

pengontrol, pengawas pasien dan tempat untuk mengolah hasil *scanning*(Munir, 2011).

Pada dasarnya CT Scan ini sama dengan alat-alat radiologi lainnya yaitu dengan mamanfaatkan radiasi sinar-X untul menembus suatu objek yang akan diteruskan untuk membentuk suatu citra. Perbedaan CT Scan dengan alat-alat radiologi lainya adalah pada teknik pengambilan citra dan hasil citra yang dihasilkan(Ramadhani, 2006). Teknik pengambilan citra pada CT Scan menggunakan multidetektor yang mampu berputar mengelilingi objek sejauh 360^0. Pada pesawat sinar-X konvensional hanya mampu meneruskan radiasi dalam satu bidang yaitu tegak lurus dengan objeknya. Hasil citra yang dihasilkan oleh CT Scan tidak mengalami *overlap* atau tumpang tindih sehingga hasil citra yang diamati tidak hanya pada bidang tegak lurus tapi juga mampu mengamati citra pada penampang melintang. Dibandingkan dengan pesawat sinar-X konvensional yang hanya mempu mengahsilkan satu citra dalam dua dimensi, CT Scan juga mampu mengamati kerapatan struktur internal pada objek karena mampu menghasilkan citra dalam bentuk irisan tipis sehingga lebih rinci dan lebih mudah dianalisis (Ramadhani, 2006).

6. Prinsip Kerja CT Scan

Prinsip kerja CT Scan hampir mirip dengan prinsip kerja pesawat sinar-X pada umumnya. Sumber radiasi pesawat CT Scan menggunakan tabung sinar-X dimana berkas sinar-X keluar dari kolimator kemudian menembus tubuh kemudian ditangkap oleh detektor.



Gambar 2.6. Skema Prinsip Kerja CT Scan

(Ramadhani, 2006)

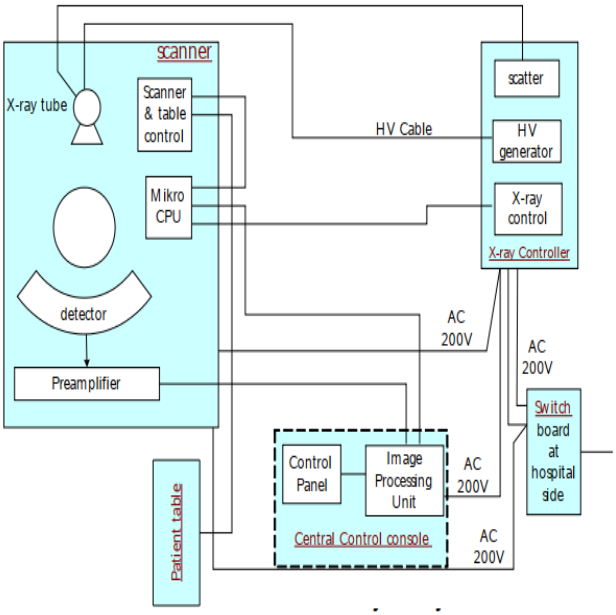
Intensitas berkas sinar-X yang diterima detektor dapat barubah-ubah disesuaikan dengan kepadatan objek yang ditembus oleh berkas sinar-X. Berkas sinar-X yang diterima oleh detector akan diubah menjadi arus listrik yang kemudian oleh integrator akan dijadikan tegangan listrik analog. Tegangan yang diterima kemudian dikonversikan menjadi besaran

digital oleh ADC (*Analog to Digital Converter*) yang selanjutnya akan terekam oleh computer. Data yang telah terekam oleh computer diolah menggunakan *image processor* kemudian ditampilkan pada *display monitor* dalam bentuk citra. Citra yang dihasikan dapat diubah kebentuk film menggunakan Laser Imager atau Multi Imager(Ramadhani, 2006).

Intensitas sebuah berkas akan mengalami pelemahan ketika dilewatkan melalui objek tertentu yang memiliki kerapatan dan ketebalan yang berbeda(Ramadhani, 2006). Pelemahan intensitas terjadi dikarenakan adanya interaksi-interaksi berkas radiasi dengan materi yang dilaluinya berupa penyerapan atau hamburan yang kemungkinan terjadinya bergantung pada energi dan jenis bahan radiasi yang dipancarkan. Pada CT Scan berkas sinar-X diproyeksikan pada objek dalam beberapa sudut untuk dapat mengahasilkan citra dalam objek tersebut. Hasil dari proyeksi beberapa sudut kemudian dikumpulkan dan dicatat sebagai masukan untuk diolah dengan komputer. Data yang telah diolah pada komputer akan menghasilkan citra dengan metode rekonstruksi(Ramadhani, 2006).

7. Sistem Pada Komponen CT Scan

Sistem pada CT Scan pada setiap komponennya memiliki micro CPU diamana komponen-komponen tersebut terhubung melewati serial communication. Sistem pada CT Scan dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu sistem *image processing* yang terdiri atas *image processing unit* dan panel-panelnya. Kemudian yang bagian kedua adalah sistem *scanner* yang terdiri dari X-ray controller dan patient Tabel(Ramadhani, 2006).



Gambar 2.7. Komponen pada CT Scan(Ramadhani, 2006)

Panel kontrol digunakan sebagai *interface* antara sistem CT dan operator pengendali sistem yang kemudian meneruskan instruksi ke *image processing unit*. Sub micro CPU pada *scanner* berfungsi untuk menginformasikan sinyal dari masing-masing komponen CT Scan yang akan diteruskan ke IP sesuai dengan permintaan IP melalui *communication line*(Ramadhani, 2006).

Secara sistematis, citra CT Scan dapat dilihat sebagai distribusi spasial parameter fisis *f(x,y)* pada tampang melintang suatu objek pada bidang dua dimensi yang tegak lurus terhadap sumbu *z.* parameter fisis yang besaranya akan ditampilkan dalam bentuk suatu nilai (angka) dalam representasi warna yang dalam hal ini biasanya ditampilkan dalam skala derajat keabuan (*grayscale*) yang akan menampilkan citra dalam bentuk hitam putih pada monitor. Bagian citra yang memiliki derajat keabuan paling tinggi atau berwarna gelap berarti mempresentasikan nilai parameter fisisnya kecil, sebaliknya bagian citra yang memiliki tingkat keabuan yang rendah atau berwarna terang mempresentasikan nilai parameter fisisnya besar. Parameter fisis yang ditampilkan akan sesuai dengan besaran fisis yaitu koefisien atenuasi linear

(*mu*). Nilai *mu* bergantung pada jenis bahan yang mana tergantung pada nomor atom (Z), besarnya energi radiasi (*E*) dan ketebelan bahan(Ramadhani, 2006).

8. Dosis Pada CT Scan

a. Computed Tomography Dose Index (CTDI)

Indeks dosis pada CT Scan atau yang biasa disebut CTDI (*Computed Tomography Dose Index*) merupakan konsep utama dalam perhitungan dosis pada CT Scan. CTDI mempresentasikan integral dari profil dosis D (z) dari sumbu tunggal scan sepanjang garis tegak lurus terhadap bidang tomografi (z-axis) dibagi dengan produk dari irisan nominal Ketebalan (T) :

$$\text{CDTI} = \frac{1}{T}\int_{-\infty}^{+\infty} D\,(z)dz \qquad (2.1)$$

Untuk kasus CT scanner Multislice dimana N irisan T ketebalan yang diperoleh selama single axial scan, dua definisi CTDI diperkenalkan:

$$\text{CDTI}_{\text{FDA}} = \frac{1}{NT}\int_{-7}^{+7} D\,(z)dz \qquad (2.2)$$

dan

$$\text{CDTI}_{100} = \frac{1}{NT}\int_{-50mm}^{+50mm} D\,(z)dz \qquad (2.3)$$

Dari kedua model tersebut yang paling sering di gunakan adalah $CTDI_{100}$, yang diukur dengan menggunakan detektor pencil *ion chamber* dengan panjang aktif detector 100 mm, pengukuran dilakukan pada udara dan dalam phantom selinder (PMMA) dengan diameter 16 cm dan 32 cm. $CTDI_{100}$ diposisikan di udara bebas di pusat rotasi disebut sebagai CTDIair. Sedangkan CTDIc dan CTDIp masing masing didefinisikan sebagai $CTDI_{100}$ diukur dengan ionisasi chamber di pusat dan empat posisi jam 12, 3, 6, 9 pada phantom. (AAPM, 2008)

b. **CTDIw**

CTDI bervariasi di seluruh bidang pandang atau *Field of View*(FOV). Misalnya, untuk pencitraan CT tubuh, CTDI biasanya satu atau dua faktor lebih tinggi di permukaan daripada di pusat FOV. CTDI rata-rata di seluruh FOV diperkirakan oleh CTDI tertimbang (CTDIw). Nilai 1/3 dan 2/3 mendekati area relatif yang diwakili oleh nilai tengah dan tepi.(AAPM, 2008).

$$\text{CTDw} = \frac{1}{3} CTDI_{100,centre} + \frac{2}{3} CTDI_{100,edge} \qquad (2.4)$$

c. **CTDIvol**

Pengukuran CTDI semua diukur menggunakan bilik ionisasi yang ditempatkan pada meja

pemeriksaan dengan kondisi tidak bergerak. CTDIvol merupakan hasil perhitungan CTDIw dalam suatu volume. CTDIvol berfungsi untuk megetahui perhitungan pada suatu protokol pemeriksaan tertentu.

CTDIvol penentuannya bergantung pada spiral CT Scan, dimana rasio perputan meja dibagi dengan putaran tabung (*I*) dengan jumlah nominal lebar berkas (*NT*) direfensikan sebagai pitch. CTDIvol didefinisikan sebagai CTDIw dibagi dengan pitch. CTDIvol mewakili dosis dari scan volume dari protokol tertentu pada phantom standart. CTDIvol menampilkan hasil keluaran CT Scan bukan dosis pasien. Berdasarakan IEC 60601-2-44 CTDIvol harus ditampilkan pada monitor alat CT Scan modern(Soediatmoko, 2011).

$$CTDIvol = \frac{NT}{I}\ x\ CTDIw \qquad (2.5)$$

Atau

$$CTDIvol = \frac{1}{pitch\ x\ CTDIw} \qquad (2.6)$$

dimana :

N T :Nominal lebar berkas (mm)

I :Pergerakan meja pada satu putaran(mm)

Pitch :*I/NT*

9. *Dose Length Product* (DLP)

Untuk menghitung total keseluruhan energi yang diberikan pada saat proses *scanning* terjadi, dosis serap dapat di integrasikan dengan menghitung total keseluruhan panjang daerah yang diradiasi(AAPM, 2008) .

$$DLP = CTDIvol\ x\ panjang\ scan \quad (2.7)$$

DLP merepresentasikan energi total yang diserap (efek potensial biologi) yang disebabkan oleh akuisisi dosis dari *scanning* secara keseluruhan. Efek yang ditimbulkan berkaitan dengan DLP, bergantung pada panjang daerah yang teradiasi. Untuk scan *heliks* yang relative pendek maka dosis efektifnya akan berkurang begitun sebaliknya(AAPM, 2008).

10. Dosis Efektif(E)

Efek biologis dari radiasi tidak hanya disebabkan oleh dosis radiasi yang dikenakan pada organ ataupun jaringan. Sensitifitas dari organ atau jaringan juga menjadi faktor penyebab timbulnya efek biologis. Dosis efektif (E) didiskripsikan sebagai dosis yang mencerminkan perbedaan sensitivitas pada masing-masing jaringan ataupun organ. Dosis efektif (E)

merupakan parameter tunggal untuk mengetahui resiko dari paparan radiasi yang tidak seragam terhadap paparan seluruh tubuh yang setara(AAPM, 2008).

Dosis efektif (E) telah dikonsep oleh para pekerja radiasi untuk kepentingan proteksi radiasi. Dosis efektif (E) mencerminkan kerusakan jaringan ataupun organ akibat dari rata-rata radiasi berdasarkan usia dan jenis kelamin dimana nilai dari dosis efektif (E) memiliki batas ketika diterapkan pada kelompok medis. Penggunaan dosis efektif (E) dapat digunakan untuk menginformasikan kepada pasien bahaya dari pemeriksaan medis yang menggunakan radiasi pengion(AAPM, 2008).

Untuk meminimalisir kontroversi perbedaan dalam menentukan nilai dosias efektif yang murni dari hasil penelitian dan perhitungan data, metode estimasi generik ditawarkan oleh sekelompok ilmuan Eropa dalam penentuan kualitas pada *Computed Tomography* (CT).

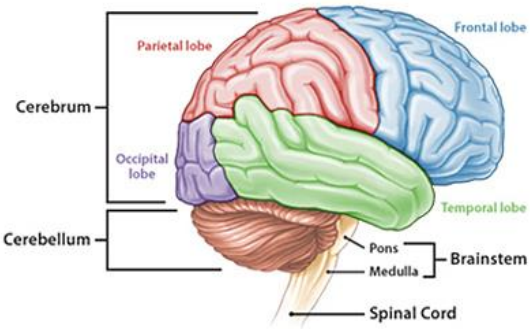
$$E\ (mSv) = k\ x\ DLP \qquad (2.8)$$

Nilai dosis efektif dihitung dari koefisien organ dari NRPB *Monte Carlo* dibandingkan dengan nilai DLP untuk menentukan satu set koefisien *k*, dimana nilai *k* hanya bergantung pada daerah tubuh yang dipindai (kepala, leher, dada, perut, atau panggul), dengan menggunakan metode ini, dosis efektif (*E*) dapat diperkirakan dari nilai DLP. Nilai dosis efektif (*E*) yang diprediksi dengan DLP dan menggunakan perhitungan yang konsisten akan dapat meminimalisir standart deviasinya. Oleh karena itu, penggunaan DLP menjadi metode yang cukup kuat untuk memperkirakan dosis efektif(AAPM, 2008).

11. Anatomi Otak (*Brain*)

Otak merupakan salah satu organ terpenting pada tubuh manusia. Otak berada didalam tulang tengkorak menjadi pusat dari sistem syaraf yang mampu mengatur seluruh pergerakan manusia. Otak pada manusia menerima 1,5 % pada curah jantung, menerima oksigen sebesar 25% dari tubuh dan beratnya mencapai 2% dari berat tubuh secara keseluruhan(Pearce, 2011).

Ada tiga bagian utama yang terdapat pada otak yaitu otak besar (*Cerebrum*), otak kecil (*Cerebellum*) dan juga batang otak(Pearce, 2011).



Gambar 2.8. Anatomi otak manusia (Wahyuningsih, 2017)

a. Otak Besar (*Cerebrum*)

Otak besar (*Cerebrum*)mengisi bagian depan dan atas rongga tengkorak, yang masing-masing disebut fosa kranialis anterior dan fosa kranialis tengah. Otak besar (*Cerebrum*) terdiri atas dua belahan (*hemisfer)* besar sel saraf (substansi kelabu) dan serabut saraf (substansi putih). Lapisan luar substansi kelabu disebut korteks. Kedua *hemisfer* otak itu dipisahkan celah yang dalam, tapi bersatu kembali pada bagian bawahnya melalui *korpus kolosum*, yaitu masa substansi putih yang terdiri atas serabut saraf(Pearce, 2011).

Otak besar (*Cerebrum*) menjadi pengontrol semua kegiatan tubuh secara sadar melihat, mendengar, berbicara dan pergerakan lainnya. Belahan otak besar bagian kanan mengendalikan

pergerakan tubuh bagian kiri dan belahan otak besar bagian kanan akan mengendalikan pergerakan tubuh bagian kiri(Wahyuningsih, 2017).

b. Otak Kecil (*Cerebellum*)

Otak kecil (*Cerebellum*) menempati fosa kranialis posterior dan diatapi *tentorium-serebeli,* yang merupakan lipatan dua meter yang memisahkannya dari lobus oksipital serebri. Otak kecil (*Cerebellum*) memounyai hubungan dengan berbagai lain sistem persarafan terutam dengan hemisphere serebri pada sisi yang lain pada batang otak. Selain itu, otak kecil (*Cerebellum*) menerima seraebut dari sumsum tulang belakang yang berhubungan dengan pusat-pusat reflek pengelihatan pada otak tengah, thalamus dan dengan serabut-serabut saraf pendengaran(Pearce, 2011).

Fungsi otak kecil (*Cerebellum*) adalah mengatur sikap dan aktifitas sikap badan yang berperan penting dalam koordinasi otot dalam menjaga keseimbangan. Bila serabut kortiko-spinal yang melintas dari korteks serebri ke sumsum tulang belakang mengalami penyilangan, dan dengan demikian mengendalikan bagian sisi lain tubuh, hemisfer serebeli mengendalikan tonus otot dan sikap pada sisinya sendiri(Pearce, 2011).

c. Batang Otak

Batang otak terdiri atas otak tengah (diensefalon) pons varoli dan medulla oblongata. Otak tengah (diensefalon) merupakan bagian atas batang otak. Akuaduktus serebri yang menghubungkan ventrikel ketiga dan keempat melintasi melalui otak tengah. Otak tengah mengandung pusat-pusat yang mengendalikan keseimbangan dan gerakan-gerakan mata. Pans Varoli merupakan bagian tengah batang otak yang memiliki jalur lintas naik dan turun seperti pada otak tengah. Selain itu juga terdapat banyak serabut yang berjalan menyilang pons untuk menghubungkan kedua lobus *cerebellum* dan menghubungkan *cerebellum* dengan korteks serebri (Pearce, 2011).

Medula oblongata membentuk bagian bawah batang otak serta menghubungkan pons dengan sumsum tulang belakang. Medulla oblongata terletak dalam fosa kranialis posterior dan bersatu dengan sumsum tulang belakang tepat dibawah foramen magnum tulang oksipital. Medula oblongata mengandung nucleus dari berbagai saraf otak yang penting. Medulla oblongata juga mengandung pusat-pusat vital yang berfungsi mengendalikan pernapasan

dan sistem kardiovaskuler. Karena itu, suatu cedera yang terjadi pada bagian ini dalam batang otak dapat membawa akibat yang sangat serius(Pearce, 2011).

12. Nilai Batas Dosis (NBD)

Pengaturan dan perhitungan nilai dosis pada awalnya dikukan secara sukarela, tidak mengharuskan adanya peraturan hukum untuk melakukan perhitungan dosis radiasi. Namun, seiring berjalannya waktu masyarakat menyadari dampak yang ditimbulkan oleh radiasi sangatlah besar, maka dibentuklah komisi atau organisasi – organisasi proteksi radiasi baik secara nasional ataupun internasional. Setiap negara berhak menentukan batas nilai dosisnya, dengan catatan tidak boleh melebihi batas yang telah ditetapkan(Mukhlis, 2000).

Tabel 2.1 Perkembangan rekomendasi penerimaan dosis maksimum yang diijinkan untuk seluruh tubuh bagi pekerja radiasi(Mukhlis, 2000).

Dosis maksimum yang dianjurkan	**Tahun**	**Keterangan**
30 R / tahun sinar-X 100 kV atau 70 R / tahun sinar-X 200 kV	1925	Direkomendasikan oleh : A Mutscheller dan R.M Sievert
0,2 R / hari atau 1 R / minggu	1934	Direkomendasikan oleh : Komisi Internasional untuk proteksi terhadap sinar-X dan Radium
15 rem / tahun atau 0,3 rem / minggu	1950	Direkomendasikan oleh ICRP
5 rem /tahun atau 0,3 rem / minggu	1958	Direkomendasikan oleh ICRP
50 mSv / tahun	1977	Direkomendasikan oleh ICRP dengan mengikuti konsep ALARA
20 mSv / tahun	1990	-Direkomendasikan oleh - dirata-ratakan untuk 5 tahun -tidak boleh melebihi 50 mSv/th

Berikut adalah beberapa lembaga atau organisasi yang menangani proteksi radiasi :

a. Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)

Pembentukan Bapeten dilatarbelakangi oleh kekhawatiran negara Indonesia karena adanya percobaan peledakan nuklir di beberapa negara tak terkecuali Amerika pada tahun 1950-an(Hiswara, 2015). Bapeten merupakan badan pengawas tenaga nuklir yang bertugas melaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. Dalam penentuan dan perhitungan dosis pada pasien bapeten hanya berwenang memberikan ijin penggunaan alat dan memberitahukan metode perhitungan dosis pada pasien. (Bapeten, 2003).

Tabel 2.2. Tingkat panduan dosis Tomografi Komputer untuk setiap pemeriksa pada orang dewasa(Bapeten, 2003)

Jenis Pemeriksaan	Dosis rata-rata multiple scan (mGy)
Kepala	50
Lumbal	35
Abdomen	25

b. *American Association of Physicists in Medicine* (AAPM).

Asosiasi fisika medis Amerika (AAPM) merupakan sebuah organisasi non komirsil yang bertujuan untuk mempromosikan aplikasi fisika untuk bidang kedokteran dan biologi untuk mendorong minat juga pelatihan dibidang yang terkait dengan fisika medis. AAPM juga bertujuan untuk menginformasikan terkait teknis-teknis dalam fisika medis(AAPM, 2008).

Tabel 2.3. Nilai dosis efektif pada pencitraan beberapa CT(AAPM, 2008)

Jenis pemeriksaan	Dosis efektif pada CT (mSv)
Head CT	1-2
Chest CT	5-7
Abdomen CT	5-7
Pelvis CT	3-4
Abdomen and Pelvis CT	8-14
Coronary artery calcium CT	1-3
Coronary CT angiography	5-15

Penelitian ini akan merujuk pada ketentuan AAPM yaitu besaran dosis efektif pada otak(*Brain*),

dimana otak termasuk pada pemeriksaan *Head* CT atau CT Kepala.

B. Kajian Pustaka

1. Penelitian Irnawati(2018) tentang studi dosis radiasi pemeriksaan CT Scan dengan nilai *computed tomography dose index*(CTDI) di rumah sakit Bhayangkara Makassar. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai dosis radiasi yang diterima oleh pasien dengan menggunakan nilai CTDI dan apakah dosis yang dikeluarkan sudah sesuai dengan standart yang ditetapkan oleh BAPETEN. Penelitian dilakukan dengan menghitung nilai CTDI di udara dan menggunakan fantom. Nilai tegangan di variasikan yaitu 100 kV, 120 kV dan 135 kV. Ketebalan irisan yaitu 2mm, 4 mm, dan 10 mm. Arus dan waktu penyinaaran diatur secara konstan yaitu sebesar 10 mA dan 1 s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai CDTI pada udara tertinggi pada tegangan 135 kV dengan ketebalan irisan 10 mm sebesar 49.76 mGy. Pada fantom didapatkan hasil nilai CTDI tertinggi yaitu pada tegangan 135 kV dengan ketebalan irisan 10 mm yaitu sebesar 41.74 mGy.

2. Penelitian yang dilakuan oleh Elia Soediatmoko (2011) tentang estimasi dosis radiasi pada pemeriksaan CT Scan Kepala. Penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besar dosis yang diterima pada *organ at risk* pada pemeriksaan CT Scan kepala. Penelitian dilakukan dengan fantom CTDI untuk uji kualitas berkas dan uji kesesuaian. Ada 15 pasien yang diestimasikan dosisnya pada tyroid, kelenjar ludah, otak dan kepala. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai besar dosis dipengaruhi oleh mAs, panjang scan dan pitch.
3. Penelitian lain dilakukan oleh Misbahul Munir(2011) tentang dosis radiasi dan fator resiko pada pemeriksaan computed tomography scan whole abdomen 3 fase. Penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan untuk menghitung dosis radiasi pada pasien, faktor resiko yang ditimbulkan serta mengananalisi penyebab munculnya factor teersebut pada pemeriksaan CT Scan whole abdomen 3 fase. Uji kesusuaian pesawat untuk kualitas citra CT Scan, akurasi CTDIvol antara pengukuran dan konsol. Hasil yang didapatkan perbedaan nilai CTDIvol pengukuran dan CTDIvol pada consol ada perbedaan sebesar 4,62-

9,40%. Dosis efektif yang diterima diseluruh tubuh berkisar 15 mSv – 64 mSv. Potensi resiko tertinggi dosis efektif yang diterima oleh pasien sebesar 64 mSv adalah sebesar 0,32%. Penggunaan mode AEC dilansir merupakan slah satu faktor yang dapat digunakan untuk mengurangi dosis pada pasien.

4. Helga Sivia dkk, telah melakukan penelitian tentang estimasi nilai dosis efektif pasien bagian head, thorax, dan abdomen hasil pemeriksaan CT-Scan merk brilliance 6. Penelitian dilakukan dengan mengukur diameter efektif pada pasien yang kemudian didistribusikan pada persamaan CTDI kemudian menentuakan nilai dosis efektif yang dihitung menggunakan software ImPACT. Hasil penelitian menunjukkan nilai CTDI pada bagian Head sebesaar 21,09 mGy – 26,98 mGy, pada bagian abdomen nilai CTDI sebesar 7,72 mGy – 19.38 mGy dan pada bagian thorax nilai CTDI berkisar 11.26 mGy – 32.55 mGy. Dosis efektif yang yang terdistribusi pada pasien bagian head sebesar 1 mSv – 2,8 mSv, pada bagian abdomen sebesar 8,14 mSv – 15 mSv dan pada thorax sebesar 9,14 mSv – 14 mSv. Perbedaan nilai CTDI dan dosis efektif di masing masing organ disebabkan oleh

beberapa factor, salah satunya karena panjang masing-masing scan length-nya berbeda-beda.

5. Firdy Yuana dkk,(2011) melakukan penelitian mengenai dosis efekif pada perlakuan Computed Tomograpyh Scan (CT Scan) Kepala. Penelitan dilakukan untuk menentukan dosis efektif pada CT Scan kepala yang sesuai dengan *International Commision of Radiological Protection* (ICRP). Hasil peneltian menunjukkan kalkulasi dosis effektif pada ICRP 103 dan ICRP 60 dengan perhitungan menggunakan software ImPACT megalami perbedaan. Dosis efektif pada ICRP 103 diperoleh nilai sebesara 1,2 mSv hingga 1,4 mSv. Pada ICRP 60 sebesar 1,2 mSv. Perbedaan hasil antara ICRP 103 dan 60 disebabkan karena factor bobot jaringan berbeda antara ICRP 103 dan ICRP 60.
6. Ajeng Anggreny Ibrahim(2018), telah melakukan penelitian mengenai estimasi dosis efektif pasien bagian abdomen dari hasil pemeriksaan CT-Scan merek Siemens SOMATOM. Penelitian ini dilakukan untuk menghitung dosis efektif yang diterima pasien yang malukakan pemeriksaan perut menggunakan CT Scan. Penelitian dilakukan dengan pengumpulan data pasien sebanyak 80 pasien di departemen Radiologi

salah satu rumah sakit di kota Makassar. Hasil penelitian yang didapatkan bahwasnya nilai rata-rata CTDI dan dosis efektif pada pasien laki-laki sebesar 7,87 mGy dan 5,52 mSv. Pada pasien perempuan didapatkan nilai CTDI rata-rata sebesar 7,53 mGy dan nilai dosis efektif rata-rata sebesar 4,97 mSv. Dosis yang diterima telah di verifikasi terhadap nilai batas dosis yang telah ditetapkan oleh BAPETEN dan dosis yang terdistribusi masih dalam ambang batas.

BAB III
METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan sebuah penelitian eksperimen yang bertujuan untuk menentukan nilai dosis efektif pada CT Scan bagian otak (*Brain*). Penelitian dilakukan dengan menggunakan hasil pemeriksaan pasien CT Scan otak(*Brain*) laki-laki dan perempuan yang dikelompokkan dengan beberapa kelompok (*range)* usia dan dikelompokkan pada masing-masing jenis kelamin. Masukan yang dilakukan oleh radiografer akan dilaporkan pada komputer ketika proses penyinaran selesai. Dari data yang telah dilaporkan nantinya akan muncul nilai *Computed Tomography Dose Index* (CTDI) dan nilai *Dose Length Product* (DLP). Kedua komponen dosis tersebut kemudian digunakan untuk mencari nilai dosis efektifnya.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di instalasi radiologi RSI Sultan Agung Semarang. Penelitian dilakukan pada tanggal 05 September 2019 – 05 Oktober 2019.

C. Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah pasien yang memliki kelainan pada otak (*Brain*) yang akan melakukan penyinaran menggunakan pesawat CT Scan. Pasien berjumlah 80 yaitu terdiri dari 40 pasien laki-laki dan 40 pasien perempuan. Pasien dikelompokkan pada beberapa kelompok berikut:

1. Pasien laki-laki/perempuan usia <10 tahun.
2. Pasien laki-laki/perempuan usia 11-20 tahun.
3. Pasien laki-laki/perempuan usia 21-30 tahun.
4. Pasien laki-laki/perempuan usia 31-40 tahun.
5. Pasien laki-laki/perempuan usia 41-50 tahun.
6. Pasien laki-laki/perempuan usia 51-60 tahun.
7. Pasien laki-laki/perempuan usia 61-70 tahun.
8. Pasien laki-laki/perempuan usia 71-80 tahun.

D. Alat Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

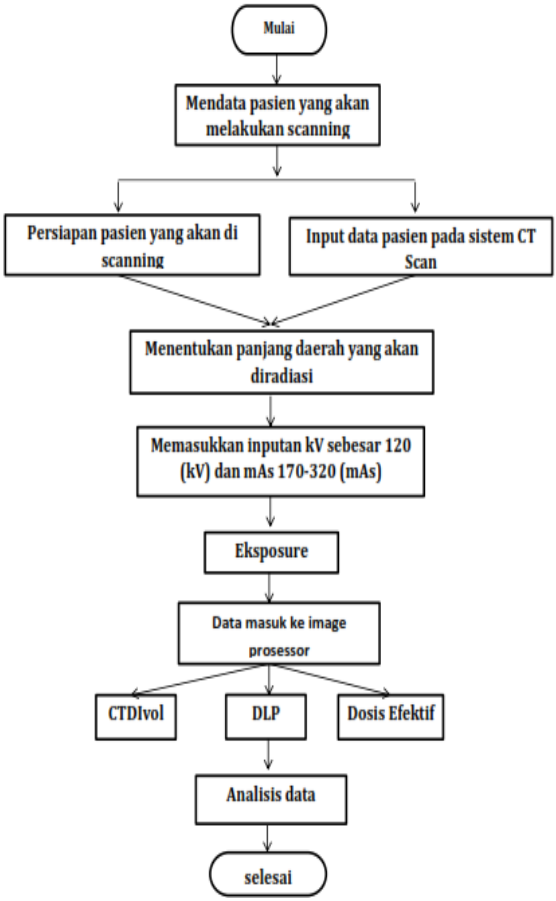
1. Pesawat CT Scan, dengan spesifikasi sebagai berikut:
   - Merk pesawat : GE Optima 660 (A-004559)
   - Tahun : 2015
   - Tabung : Performix 40 Plus (DOM 2015)
   - Scan speed : 360^0 rotasi scan

- Helical pitch : 0.516:1, 0.984:1, 1.375:1
- kVp : 80-140 kV
- mA : 5-560 mA
- Power : 0.8 – 72 kW

2. Meja pasien untuk tempat tidur pasien saat proses penyinaran berlangasung.
3. Pemroses Gambar (*Image Processor*)untuk mengolah citra hasil scan.
4. Meja pemantau (*console*) untuk komunikasi interface antara pekerja dan pasien.
5. Alat tulis berupa Bolpoin, kertas, dan buku tulis.

E. Teknik Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data pada pasien dilakukan secara bertahap, mulai dari pendataan identitas pasien, kemudian persiapan hingga tahap pemeriksaan. Berikut diagram alir dari prosedur pengumpulan data.



Gambar 3.9. Diagram Alir Penelitian

Metode penelitian ini dilakukan pada masing – masing pasien dengan langkah – langkah sebagai berikut:

1. Petugas pada instalasi radiologi mendata identitas pasien.

2. Melakukan persiapan di ruangan CT Scan dengan memakaikan perlengkapan pasien dibantu oleh petugas.
3. Melakukan persiapan atau pengarahan kepada pasien dengan mengatur posisi pasien ketika akan melakukan penyinaran.
4. Semua petugas atau pekerja radiasi keluar ruangan pasien dan komunikasi dengan pasien hanya melalui speaker yang dan dapat dipantau pada meja pemantau (*console)*.
5. Melakukan input data pasien.
6. Sebelum dilakukan penyinaran terlebih dahulu membuat rekonstruksi batas area yang akan diradiasi.
7. Memamsukkan nilai kV sebesar 120 kV.
8. Memasukkan nilai arus sebesar 160 – 170 mA.
9. Memasukkan waktu scanning 1-2 s
10. Memasukkan nilai tebal irisan (*slice thickness*) sebesar 5 mm.
11. Prosses penyinaran dilakukan dengan menekan tombol *expose* pada meja pantau.
12. Data akan dikirim dan di tampilkan pada *image processor.*

13. Data masukan dicatat dan kemudian dihitung CTDIvol DLP dan dosis efektifnya (*E*).
14. Ulangi langkah – langkah tersebut pada masing – masing pasien.

F. Teknik Analisis Data

1. Menentukan Nilai CTDIvol

CTDIvol dianalisis berdasarkan parameter yang didapatkan diantaranya kV, mAs tebal irisan dan jumlah irisan dari hasil *scanning* pada bagian otak (*brain*). Kemudian nilai CTDIvol dikelompokkan berdasarkan usia. Dihitung dengan persamaan berikut :

$$CTDIvol = \frac{N/T}{I} \; x \; CTDIw$$

2. Menentukan Nilai DLP

Nilai DLP didapatkan dari hasil CTDIvol masing-masing pasien dikalikan faktor bobot jaringannya dimana di CT Scan menggunakan factor *k.* setelah didapatkan nilai DLP kemudian dianalisis dan dibandingkan berdasarkan pengelompokkan masing-masing rentan usia. Kemudian dicari dengan persamaan berikut :

$$DLP = CTDIvol \; x \; panjang \; scan$$

3. Menentukan Dosis Efektif

Dosis efektif didapatkan dari DLP dan panjang daerah *scanning*. Dari perhitungan dosis efektif kemudian dibandingkan dikelmpokkan berdasarkan rentan usia dan jenis kelaminnya. Analisis dosis efektif berdasarkan pengelompokkan tersebut kemudian dihitung dengan persamaan berikut :

$$E = k\ x\ DLP$$

4. Analisis Dosis dan Verifikasi Dosis

Nilai *Computed Tomography Dose Index* (CTDI) dianalisis dan diverifikasi sesuai dengan aturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) yaitu sebesar 50 mGy. Kemudian nilai Dosis Efektif dianalisis dan diverifikasi dengan aturan *American Association of Physicist in Medicine* (AAPM).

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Kualitas Radiasi

1. Evaluasi CTDI

Pesawat CT Scan harus dilakukan uji kesesuaian secara berkala untuk menjaga alat agar tetap aman digunakan sesuai dengan aturan lembaga yang berwenang. Dosis yang di distibusikan ke pasien harus dibawah nilai batas dosis (NBD) yang ditetapkan oleh lembaga berwenang.

Bapeten telah menetapkan untuk menentukan nilai dosis pada pasien harus menggunakan metode *Multi Scan Average Dose(MSAD), Computed Tomography Dose Index(CTDI),* dan *Dose Length Product(DLP).* (Bapeten, 2003).

Hasil dari penelitian dibahas dan di analisis dalam bab ini. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai dosis efektif pada CT Scan bagian otak atau diantaranya yaitu besar tegangan (kV), kuat arus (mA), waktu rotasi (s), panjang daerah yang diradiasi (cm) dan lain sebagainya.

CT Scan yang digunakan adalah tipe GE Optima 660 (A-004559) yang digunakan untuk meradiasi pasien yang mengalami kelainan pada otak. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan data pasien CT Scan otak

pada *console* dan komputer (*Image Processor*) yang terhubung dengan CT Scan. Data yang diambil sebanyak 80 pasien, terdiri dari 40 pasien laki-laki dan 40 pasien perempuan dari usia 0-80 tahun.

Kerusakan sel salah satunya diakibatkan oleh agen genotoksik yang ditandai dengan meningkatnya jumlah Mikronuklei (MN) pada sel. Mikronuklei merupakan penanda rusaknya sel akibat paparan radiasi genotoksik yang keberadaanya mampu merusak tatanan kromosom pada sel. Sel tumor memiliki lebih banyak Mikronuklei daripada sel sehat(Purnami, 2018). Penelitian Purnami (2018) tentang deteksi pembentukan mikronuklei sel darah limfosit akibat paparan radiasi dosis bertingkat pada responden dengan jenis kelamin dan usia berbeda menunjukkan hasil bahwasanya jumlah Mikronuklei meningkat seiring bertambahnya usia. Perbedaan jenis kelamin juga berpengaruh pada jumlah Mikronuklei pada sel. Jumlah Mikronuklei pada perempuan lebih besar daripada laki-laki. Hal ini disebabkan karena pada perempuan, hormon esterogen yang dihasilkan ketika menstruasi akan berpengaruh pada jumlah Mikronuklei pada sel(Purnami, 2018). Untuk itu data pada penelitian ini dikelompokkan berdasarkan usia dan jenis kelamin.

Nilai CTDI diperoleh pada *console* yang merupakan hasil penyinaran pasien CT Scan bagian otak (*Brain)*. Metode CTDI ini merupakan metode yang telah disarankan oleh Bapeten dan AAPM. CTDI merupakan konsep utama perhituungan dosis pada CT Scan. CTDI merepresentasikan rata-rata dosis serap sepanjang sumbu *z* axis dari total keseluruhan penyinaran.

Tabel 4.4. Perbandingan nilai CTDIvol.

Usia (th)	CTDIvol (mGy)	
	Laki-laki	Perempuan
<10	40,2	46,3
11-20	57,6	57,6
21-30	57,1	57,3
31-40	57,5	57,4
41-50	57,6	57,4
51-60	57,3	57,3
61-70	57,5	57,1
70-80	57,4	57,3

Tabel 4.1 Menunjukkan nilai CTDI pada pasien CT Scan bagian otak (*Brain*) yang dikelompokkan berdasarkan jenis kelamin pada beberapa rentang usia. Nilai CTDI diperoleh dari hasil rata-rata MSAD (*Multiple Scan Average Dose*) yang merupakan parameter dosis rata-rata yang digunakan Bapeten dalam eksaminasi CT

Scan. Bapeten menetapkan nilai ambang batas MSAD pada orang dewasa yaitu 50 mGy. Nilai CTDI untuk usia <10 tahun pada pasien laki-laki dan perempuan sudah memenuhi nilai ambang MSAD yang telah ditetapkan oleh Bapeten. Nilai CTDI diatas umur 10 tahun pada pasien laki-laki maupun pasien perempuan berada diatas nilai ambang batas MSAD yang telah ditetapkan oleh Bapeten yaitu sebesar 50 mGy.

Nilai CTDI*vol* dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah tegangan (kV), arus (mA), waktu rotasi (s), picth, tebal irisan, panjang scan. Pada tabel 4.1 didapatkan dari hasil rata-rata CTDIvol beberapa pasien. Tegangan di atur tetap yaitu sebesar 120 kV. Picth, tebal irisan ditentukan oleh radiografer sesuai dengan panduan. Untuk menentukan panjang scan radigrafer membuat batasan/ daerah yang akan diradiasi sebelum mekukan penyinaran. Sesuai recomendasi AAPM untuk pada fantom kepala panjang scan yang dianjurkan sebesar 16 cm. Arus dapat diatur secara otomatis oleh pesawat CT Scan karena nilai arus akan mempengaruhi kualitas citra. Pesawat CT Scan tipe GE 660 dapat mengatur arus secara otomatis untuk meminimalisir noise pada citra sehingga kualitas citra tetap terjaga (AAPM, 2008).

Inputan yang diberikan oleh radiografer merujuk pada panduan penggunaan alat. Akan tetapi dalam penetuan panjang *scan* radiografer melakukan inputan dengan perkiraan, tidak melakukan pengukuran secara langsung, dalam hal ini panjang *scan* yang di inputkan masih banyak yang melebihi panjang *scan* anjuran dari AAPM yaitu sebesar 16 cm. Semakin besar panjang *scan* maka akan semakin besar pula daerah yang terpapar radiasi dan semakin besar dosis yang diberikan.

CTDIvol pada tabel 4.1 di usia <10 tahun masih berada dibawah ambang batas hal ini daikarenakan arus yang nilai mAs, panjang *scan*, picth yang diberikan relatif lebih rendah dibandingkan dengan pasien dewasa. Volume otak, kerapatan jaringan juga mempengaruhi daya tembus sinar-x, sehingga energi yang dibutuhkan untuk menembus jaringan tidak sebesar kepala pasien dewasa. Hal ini menyebabkan nilai CTDIvol pada usia <10 lebih rendah daripada usia dewasa.

2. Evaluasi karakteristik pesawat CT Scan.

a. Hubungan antara CTDIvol dan tegangan (kV).

Tegangan(kV) pada pesawat CT Scan merupakan salah satu parameter utama dalam penggunaan pesawat sinar-X termasuk pada pesawat CT Scan. Pesawat CT Scan yang

digunakan adalah merk GE Optima 660. Berikut tabel hubungan CTDIvol dengan tegangan pada pasien laki-laki dan perempuan.

Tabel 4.5. Hubungan CDTIvol dan tegangan (kV) pada pasien laki-laki.

Usia (th)	CTDIvol (mGy)	Tegangan (kV)
<10	40,2	120
11-20	57,6	120
21-30	57,1	120
31-40	57,5	120
41-50	57,6	120
51-60	57,3	120
61-70	57,5	120
70-80	57,4	120

Tabel 4.6. Hubungan CDTIvol dan tegangan (kV) pada pasien perempuan.

Usia (th)	CTDIvol (mGy)	Tegangan (kV)
<10	46,3	120
11-20	57,6	120
21-30	57,3	120
31-40	57,4	120
41-50	57,4	120
51-60	57,3	120
61-70	57,1	120
70-80	57,2	120

Penelitian yang telah dilakukan oleh Nurhayati(2009) tentang analisi faktor eksposi pada CT Scan menjelaskan bahwa tegangan

tabung menentukan energi yang dihasilkan pada tabung sinar-X. Tegangan antara katoda dan anoda yang semakin besar mengakibatkan pergerakan elektron yang semakin cepat sehingga mengasilkan energi rata-rata yang semakin besar dan daya tembus sinar-X ke jaringan lebih besar(Nurhayati, 2009).

Besar tegangan pada pesawat CT Scan untuk pemerikssan pasien diatur konstan karena tegangan akan mempengaruhi nilai keluaran radiasi agar lebih akurat dan tidak melebihi nilai lolos uji pesawat CT Scan merk GE. Besar tegangan yang disarankan sebesar 120 kV, karena tegangan sebesar 120 kV merupakan tegangan yang efektif pada pesawat CT Scan merk GE dan sesuai dengan standart uji kesesuaiannya(Suhardi, 2011). Penelitian ini tegangan yang diberikan pada semua pasien sama yaitu 120 kV baik pada pasien laki-laki dan perempuan. Tegangan tidak mempengaruhi nilai CTDIvol karena tegangan mempengaruhi kualitas sinar-X dan berpengaruh pada daya tembusnya.

b. Hubungan antara CTDIvol dan arus-waktu(mAs).

Arus-waktu merupakan faktor eksposi sinar-X selain tegangan. Arus-waktu rotasi pada pesawat CT Scan menunjukkan kuantitas dari sinar-X. Banyaknya elektron yang mengalir dari anoda menuju katoda per waktu akan sebanding dengan nilai arus-waktu pada saat rotasi. Sehingga arus-waktu akan meningkat secara linear dengan dosis radiasi (Nurhayati, 2009). Berikut data hubungan CTDIvol dengan arus-waktu pada pasien laki-laki dan perempuan yang telah mengalami eksaminasi.

Tabel 4.7. Hubungan CTDIvol dengan arus waktu (mAs) pasien laki-laki.

Usia (th)	CTDIvol (mGy)	Arus.waktu (mAs)
<10	40,2	151
11-20	57,6	294
21-30	57,1	230
31-40	57,5	286
41-50	57,6	294
51-60	57,3	260
61-70	57,5	286
70-80	57,4	273

Tabel 4.8. Hubungan CTDIvol dengan arus waktu (mAs) pasien perempuan.

Usia (th)	CTDIvol (mGy)	Arus.waktu (mAs)
<10	46,3	148
11-20	57,6	294
21-30	57,3	260
31-40	57,4	273
41-50	57,4	273
51-60	57,3	260
61-70	57,1	230
70-80	57,2	246

Tabel 4.4 dan 4.5 menunjukkan bahwa nilai CTDIvol meningkat seiring dengan meningkatnya arus-waktu. Sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Nuryati (2009), penelitan ini juga menunjukkan bahwa arus-waktu akan mempengaruhi jumlah sinar-X dan berbanding lurus dengan jumlah foton yang dihasilkan. Semakin tinggi arus-waktu yang diberikan makan akan semakin banyak foton yang dipaparkan pada sebuah objek sehingga dosis paparan pada objek akan semakin besar. Hal ini menjadikan CTDIvol dipengaruhi oleh kenaikan arus-waktu pada saat pemaparan sinar-X dilakukan.

c. Hubungan antara CTDIvol dan panjang scan.

Selain faktor eksposi pada CT Scan (tegangan,arus dan waktu) yang dapat mempengaruhi CTDIvol, faktor lain yang dapat mempengaruhi CTDIvol adalah panjang scan atau panjang daerah yang diradiasi. Berikut tabel rata-rata panjang scan pada pasien laki-laki dan pasien perempuan yang telah menjalankan pemeriksaan CT Scan bagian otak.

Tabel 4.9. Hubungan CTDIvol dengan panjang scan pada pasien laki-laki.

Usia (th)	CTDIvol (mGy)	Panjang scan(cm)
<10	40,2	16,3
11-20	57,6	24,4
21-30	57,1	17,6
31-40	57,5	21,2
41-50	57,6	24,8
51-60	57,3	18,4
61-70	57,5	19,4
70-80	57,4	19,6

Tabel 4.10. Hubungan CTDIvol dengan panjang scan pada pasien perempuan.

Usia (th)	CTDIvol (mGy)	Panjang scan(cm)
<10	40,2	16,3
11-20	57,6	24,4
21-30	57,1	17,6
31-40	57,5	21,2
41-50	57,6	24,8
51-60	57,3	18,4
61-70	57,5	19,4
70-80	57,4	19,6

Panjang daerah radiasi mempengaruhi CTDIvol dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.6 dan tabel 4.7. Panjang scan yang semakin besar menjadikan nilai CTDIvol semakin besar, baik pada pasien laki-laki maupun perempuan. Hal ini dikarenakan jika semakin luas area yang terkena paparan radiasi maka akan semakin besar dosis paparan sinar-X. Panjang scan yang dianjurkan oleh AAPM pada pemeriksaan CT *Head* sebesar 16 cm, jika melebihi maka efek deterministik ataupun efek stokastik yang ditimbulkan juga semakin besar. Selain dapat menimbulkan efek tersebut, perlu juga dipertimbangkan organ disekitar objek (*organ at risk*) juga perlu diperhitungkan dosisnya agar tetap berada di batas ambang.

B. Analisis Dosis Efektif (*E*)

Dosis efektif merupakan parameter tunggal yang dapat menjelaskan tentang efek biologis dan resiko kerusakan pada organ yang terkena paparan radiasi. Masing-masing organ memiliki nilai kerusakan yang berbeda-beda karena masing-masing organ memiliki tingkat kepekaan yang berbeda-beda. Perhitungan dosis efektif bertujuan untuk mengetahui seberapa besar resiko yang diterima oleh pasien yang terkena paparan

radiasi dari CT Scan agar sesuai dengan prinsip ALARA (*As Low As Rasionably Achieveble*) yaitu memberikan dosis yang serendah-rendahnya dengan tidak mengurangi kualitas citra hasil paparan pada pasien.

Perhitungan dosis untuk penggunaan alat radiologi maupun alat yang berada pada kedokteran nuklir telah diatur oleh lembaga yang berwenang. Lembaga nasional di Indonesia diatur oleh badan pengawas tenaga nuklir (BAPETEN). Lembaga internasional yang mengatur tentang proteksi radiasi khususnya di bidang kesehatan salah satunya adalah *International Commission Radiological Protection*(ICRP) atau komisi internasional perlindungan radiologi. Organisasi fisika medis international salah satunya adalah *American Association of Medical Physics*(AAPM) yang merupakan organisasi yang dibentuk untuk perkumpulan para fisikawan medis di dunia.

Lembaga-lembaga tersebut mengatur berbagai macam penggunaan nuklir di bidang kesehatan baik di radiologi,radioterapi maupun kedokteran nuklir tidak terkecuali pada penggunaan pesawat CT Scan. Nilai batas dosis telah ditetapkan oleh lembaga-lembaga terkait yang bertujuan agar penggunaannya tetap aman dan menghindari kecelakaan radiasi. Dosis pada CT Scan juga

telah diatur dalam beberapa peraturan lembaga berwenang. Pada penelitian ini, peneliti merujuk pada peraturan kepala bapeten atau Perka Bapeten *Nomor 01-P /Ka-BAPETEN/ I-03* yang mengatur panduan dosis untuk pasien radiodiagnostik dan juga merujuk pada AAPM report No.96 yang menjelaskan tentang pengukuran, pelaporan dan manajemen dosis pada CT Scan.

Dosis yang ditetapkan oleh Bapeten pada CT Scan kepala (dapat dilihat pada tabel 2.2) sebesar 50 mGy, sedangkan AAPM mengatur dosis efektif pada CT Head (dapat dilihat pada tabel 2.3) sebesar 1-2 mSv. Pengukuran dosis pada CT Scan yang dilakukan oleh Bapeten ada beberapa metode, salah satunya dengan metode CTDI (Computed Tomography Dose Index) atau dengan menentukan dosis indeks CT Scan. Bapeten belum menjelaskan secara terperinci sampai dosis efektifnya hanya sampai indeks dosisnya. Sementara lembaga Internasional dalam hal ini peneliti merujuk pada AAPM telah mengatur batasan dosis efektif pada CT Scan.

Pembahasan mengenai metode CTDI telah dibahas pada sub bab sebelumnya di bab ini. Berikut akan

dibahas dosis efektif hasil dari penelitian yang telah dilakukan di RSI Sultan Agung Semarang.

Tabel 4.11. Dosis efektif pasien.

Usia (th)	Dosis efektif (mSv)	
	Laki-laki	Perempuan
<10	1,66	1,82
11-20	3	2,72
21-30	2,54	2,08
31-40	2,54	2,46
41-50	3,02	2,36
51-60	2,28	2,24
61-70	2,36	2,26
70-80	2,18	2,1

Tabel 4.8 adalah tabel hasil rerata dosis efektif pada 80 pasien yang terdiri dari 40 pasien laki-laki dan 40 pasien perempuan yang melakukan pemeriksaan menggunakan CT Scan di Isntalasi Radiologi RSI Sultan Agung Semarang. Perhitungan dosis pada CT Scan menggunakan metode Computed Tomography Dose Index(CTDI) dan juga metode Dose Length Product (DLP) seperti yang dianjurkan oleh bapeten.

Dosis efektif pada pasien laki-laki paling rendah pada kelompok pasien usia <10 tahun yaitu 0,5 mSv, sedangkan rerata dosis efektif pada pasien laki-laki

bernilai 1,66 mSv pada kelompok usia <10 tahun. Dosis efektif tertinggi pada pasien laki-laki yaitu sebesar 3,6 mSv pada kelompok usia 11-20 tahun dan pada kelompok usia 41-50 tahun, sedangkan rerata dosis efektif terbesar pada pasien lak-laki yaitu pada kelompok usia 41-50 tahun sebesar 3,02 mSv. Dosis efektif pada pasien perempuan paling rendah sebesar 0,6 mSv pada kelompok usia 20-30 tahun dikarenakan arus yang diberikan sebesar 90 mAs arus tersebut relatif rendah dibandingkan pada pasien lain yang mencapai 340 mAs, sedangkan rerata dosis efektif terendah pada kelompok usia <10 tahun yaitu sebesar 1,82 mSv. Dosis efektif tertinggi pada pasien perempuan sebesar 3,2 mSv pada kelompok usia 11-20 tahun, sedangkan rerata dosis efektif tertinggi pada pasien perempuan sebesar 2,72 mSv pada kelompok usia 11-20 tahun.

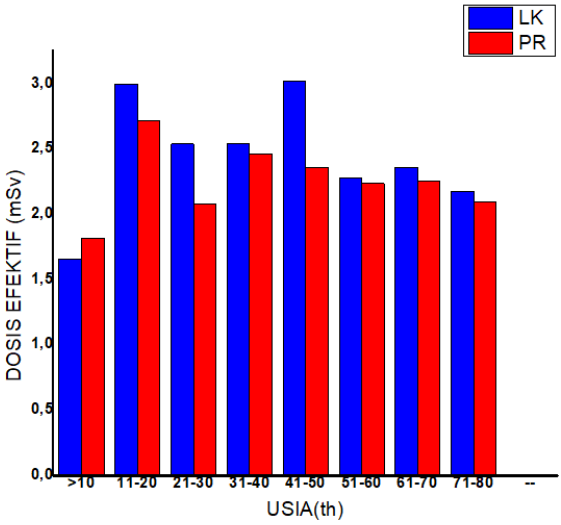
Berdasarkan data dari penelitian yang telah dilakukan tentang dosis efektif pada 80 pasien yang mengalami eksaminasi CT Scan bagian otak (Brain) dosis yang terdistribusi pada pasien rata-rata belum sesuai dengan ketentuan American Association of Physicists in Medicine (AAPM) atau organisasi fisika medis Amerika yang menjadi rujukan oleh peneliti dalam melakukan penelitian tentang dosis efektif pada eksaminasi CT Scan

bagian otak (Brain). Besar dosis yang ditentukan oleh AAPM pada bagian kepala(dimana otak(Brain) termasuk pada jenis pemeriksaan CT kepala) sebesar 1-2 mSv. Dosis rerata pada usia <10 tahun baik pada pasien laki-laki maupun pasien perempuan masih dibawah ambang batas yang telah ditentukan oleh AAPM yaitu sebesar 1-2 mSv. Sedangkan pada usia >10 tahun dosis efektif reratanya berada diatas ambang batas yang telah ditentukan oleh AAPM. Beberapa data pasien secara individu ada yang masih dibawah ambang batas dosis yang telah ditentukan yaitu pada pasien yang mengalami eksaminasi CT dengan panjang daerah yang diradiasi (panjang Scan) sebesar ≤16 cm. diatas 16 cm dosis yang terdistribusi lebih dari 2 mSv. Hal ini harus diperhatikan oleh pihak rumah sakit terutama bagi pekerja bagian instalasi radiologi.

Minimalisir dosis harus dilakukan dan direkayasa agar sesuai dengan asas-asas proteksi radiasi yaitu Justifikasi(manfaat yang diperoleh lebih besar daripada resiko yang ditimbulkan), asas Optimasi (paparan radiasi harus ditekan serendah mungkin untuk mempertimbangkan faktor social dan ekonomi), dan juga asas Limitasi (asas yang mengharuskan paparan yang diterima oleh seseorang baik pasien, pekerja radiasi

maupun masyarakat umum masih dibawah nilai ambang batas yang ditetapkan oleh lembaga yang berwenang) agar tidak ada pihak manapun yang merasa dirugikan atas peristiwa yang berkaitan dengan paparan radiasi.

Hasil penelitian ternyata belum sesuai dengan harapan dimana seharusnya dosis dari CT Scan sesuai dengan aturan lembaga yang berwenang atau masih didalam nilai ambang dosis yang telah ditetapkan oleh lembaga yang berwenang. Usia dari pasien tidak mempengaruhi dosis, akan tetapi dosis dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya arus (mA) dan waktu rotasi (s), panjang daerah yang diradiasi (panjang scan), hingga jenis kelamin juga dapat mempengaruhi dosis eksaminasi pada CT Scan. Berikut gambaran dosis perbandingan dari pasien laki-laki dan pasien perempuan dalah bentuk diagram.



Gambar 4.10. Diagram perbandingan dosis efektif.

Gambar 4.1 merupakan diagram rerata dosis efektif pada pasien laki-laki dan perempuan. Rata-rata dosis efektif laki-laki lebih besar dibandingkan dengan dosis efektif pada perempuan. Ada beberapa factor yang mempengaruhi perbedaan nilai dosis efektif pada laki-laki dan perempuan, diantaranya factor-faktor fisis pada CT Scan seperti perbedaan arus (mA), waktu rotasi (s), panjang daerah yang diradiasi dan lain sebagianya. Selain factor fisis factor lain juga dapat mempengaruhi besarnya dosis efektif pada pasien yang mengalami eksaminasi CT Scan seperti factor biologis dari pasien.

Otak (*Brain*) laki-laki dan perempuan secara biologis memiliki beberapa perbedaan anatomi yaitu pada bagian lobus parietal bawah(*inferior parietal lobe*), *corpus calossum, hypothalamus*. Otak (*Brain*) laki-laki dan perempuan umumnya memiliki ukuran yang berbeda. Otak (*Brain*) laki-laki lebih besar dari perempuan. Pola Perkembangan otak laki-laki dan perempuanpun juga berbeda. Saat usia 0-6 tahun otak kanan laki-laki lebih dahulu berkembang daripada otak kirinya, sedangkan otak (*Brain*) pada perempuan pengalami perkembangan yang relatif seimbang antara otak kanan dan otak kirinya. Kemudian masuk usia 6-12 tahun otak laki-laki mulai berkembang secara seimbang, dan pada usia 18 tahun keatas otak (*Brain*) laki-laki mulai sempurna perkembangannya(Amin, 2018).

Perbedaan struktur Otak (*Brain*) pada laki-laki dan perempuan menjadi salah satu factor biologis yang dapat mempengaruhi tingkat kepekaan terhadap radiasi(Amin, 2018). Hal tersebut menjadi pendukung pada data penelitian yang telah peneliti dapatkan dan dapat dilihat pada gambar 4.1. Dosis efektif laki-laki rata-rata lebih besar dari dosis efektif perempuan. Untuk kelompok usia <10 tahun, dosis efektif laki-laki lebih rendah dari pada perempuan dikarenakan pada laki-laki usia dibawah <10

tahun perkembangan otak kanan lebih dominan dan perkembangan otak perempuan lebih seimbang, maka dari itu volume dan struktur otak mempengaruhi dosis eksaminasi CT Scan pada pasien laki-laki maupun perempuan.

BAB V
PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan hasil pengolahan data yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai dosis efektif pada pasien CT Scan otak (*Brain*), rata-rata pada pasien laki-laki sebesar 2,44 mSv sedangkan rata-rata dosis efektif pada perempuan sebesar 2,25 mSv.
2. Nilai *Computed Tomography Dose Index*(CTDI) pada pasien laki-laki sebesar 55,32 mGy dan pada pasien perempuan sebesar 55,27 mGy. Nilai dosis tersebut melebihi nilai batas dosis yang telah ditetapkan oleh Bapeten yaitu sebesar 50 mGy.
3. Nilai dosis efektif pada pasien laki-laki sebesar 2,44 mSv dan pada pasien perempuan sebesar 2,25 mGy. Nilai dosis efektif melibihi batas dosis yang telah ditetapkan AAPM yaitu sebesar 1-2 mSv.

B. Saran

Saran dari penelitian tentang dosis efektif pada CT Scan diantaranya sebagai berikut:

1. Asas proteksi radiasi (Justifikasi, Optimasi dan Limitasi)sangat lah penting dan harus selalu dipegang dalam penggunaan teknologi radiasi seperti Sinar-X pada CT Scan.
2. Uji kesesuaian pesawat CT Scan harus dilakukan secara rutin dan terstruktur.
3. Untuk peneliti selanjutnya disarankan untuk mebandingakan nilai – nilai dosis efektif pada beberapa objek agar terlihat perbandingan dosis nya dan lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

AAPM.2008. *The Measurement, Reporting,and Management of Radiaton Dose in CT*. New York: AAPM.

Amin, M. S. 2018. *Perbedaan Struktur Otak dan Perilaku Belajar Antara Pria dan Wanita ; Eksplanasi dalam Sudut Pandang Neuro Sains dan Filsafat*. Jurnal Filsafat Indonesia. 1(1). 38–43.

Ath-Thabari. 2009. *Jami' Al BAyan 'an Ta'wil Ayi Al Qur'an* 1st ed.Edy Fr, ed. Jakarta: Pustaka Azzam.

Bapeten. 2003. *Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik. Keputusan Kepala Bapeten No 01-P/Ka-BAPETEN/I-03*, 1–26.Jakarta:Bapeten

Bapeten. (2011). *Perka Bapeten Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.* Jakarta:Bapeten

Beyzadeoglu, M. et al.2010. Basic radiation oncology. In *Basic Radiation Oncology*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-11666-7.diakses 12 September 2019

Cember, H.1983. *Pengantar FIsika Kesehatan*. Edisi 2. Terjemahan A. Toekiman. Semarang: IKIP Semarang Prees.

Departemen Agama R.I. 2011. *Al-'Amin Al-Qur'an dan*

Terjemahannya Edisi Ilmu Pengetahuan.Bandung:Mizan Media Utama

Hiswara, E. 2015. *Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Rumah Sakit*. Jakarta: BATAN Press.

Ibrahim, A. A. 2018. *Estimasi Dosis Efektif Pasien Bagian Abdomen dari Hasil Pemeriksaan CT-Scan Merek Siemens SOMATOM. Jurnal Positron*, *8*(2), 39.

ICRP. (2007). Managing patient dose in multi-detector computed tomography In *Annals of the ICRP* (Vol. 102). ICRP

Irnawati. 2018. *Studi Dosis Radiasi Pada Compputer Tomography Dose Index (CTDI) di Rumah Sakit Bhayangkara Makassar*. Skripsi. Makassar: UIN Alauddin.

Mukhlis, A. 2000. *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*. Jakarta: PT Rineka Cipta.

Munir, M.2011. *Dosis Radiasi dan Faktor Resiko Pada Pemeriksaan Computed Tomography Scan Whole Abdomen 3 Fase.* Skripsi.Jakarta: Universitas Indonesia.

Pearce, C. E. 2011. *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Podgorsak, E. . 2005. *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students.In Journal of Applied Clinical Medical Physics* (Vol. 5). Austria: IAEA.

Ramadhani, P. 2006. *Elektronika Kedokteran " CT Scanner ."*

Makassar: Universitas Hasanuddin.

Rasad, S. 1990. *Radiologi Diagnostik* (edisi pert). Jakarta: Balai Penerbit FKUI.

Soediatmoko, E. 2011.*Estimasi Dosis Radiasi Pada Pemeriksaan Ct Scan Kepala*. Skripsi. Jakarta:Universitas Indonesia.

Wahyuningsih, P. H. . e. al. 2017. *Anatomi Fisiologi*. Kementrian Kesehatan Republik Indonesia.

Wiyatmo, Y. 2009. *Fisika Nuklir*. Yogyakarta: Pusataka Belajar.

www. http://rsisultanagung.co.id/v2015.diakses pada 11 November 2019

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian

a. Data rerata pasien laki-laki

NO	USIA (th)	kV	mAs	CTDI (mGy)	DLP (mGy.cm)	PANJANG SCAN (cm)	DOSIS EFEKTIF (mSv)
1	<10	120	151,4	40,2	804,4	18,2	1,66
2	11-20	120	230	57,6	1450,2	24,4	3
3	21-30	120	230	57,1	1327,7	23,2	2,8
4	31-40	120	200	57,5	1236,6	21,2	2,54
5	41-50	120	200	57,6	1447,1	24,8	3,02
6	51-60	120	290	57,3	1103,7	18,4	2,28
7	61-70	120	200	57,5	1119,9	19,4	2,36
8	70-80	120	200	57,4	1050,7	17,6	2,18

b. Data rerata pasien perempuan

NO	USIA (th)	kV	mAs	CTDI (mGy)	DLP (mGy.cm)	PANJANG SCAN (cm)	DOSIS EFEKTIF (mSv)
1	<10	120	148,88	46,3	886,4	17,8	1,82
2	11-20	120	200	57,6	1306,7	22	2,72
3	21-30	120	274	51,8	1008,8	18,4	2,08
4	31-40	120	260	57,4	1191,4	20,6	2,46
5	41-50	120	270	57,4	1139,6	19,2	2,36
6	51-60	120	260	57,3	1083,1	18,2	2,24
7	61-70	120	260	57,1	1101,3	19	2,26
8	70-80	120	260	57,3	1016,2	17	2,1

c. Data panjang scan pasien Laki-laki

Pasien	Panjang scan (LK)							
	Usia(th)							
	<10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1	12	17	18	19	20	13	17	16
2	16	24	23	20	23	16	18	17
3	18	25	24	21	26	18	19	17
4	22	27	25	22	27	19	20	18
5	23	29	26	24	28	26	23	20

d. Data panjang scan pasien Perempuan

Pasien	Panjang scan(PR)							
	Usia(th)							
	<10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1	16	16	16	16	16	16	16	15
2	15	19	16	19	17	17	18	16
3	18	25	20	20	19	18	19	17
4	19	26	22	22	21	19	20	18
5	21	24	24	26	23	21	22	19

e. Data DLP pasien Laki-laki.

Pasien	*Dose Length Product* (DLP)(LK)							
	Usia(th)							
	<10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1	257,4	1030,2	1030,2	1127,7	1158,2	801,3	1010,2	915,8
2	521,2	1420,8	1333,8	1144,7	1373,7	915,8	1030,2	1011,9
3	586,3	1479,9	1373,7	1215,81	1509,3	1127,6	1098,2	1011,0
4	1303,0	1602,6	1420,8	1273,9	1539,1	1144,7	1126,5	1127,6
5	1363,1	1717,3	1479,9	1420,8	1654,8	1529,2	1333,9	1187,1

f. Data DLP pasien perempuan.

Pasien	*Dose Length Product* (DLP)(PR)							
	Usia(th)							
	<10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1	329,17	915,8	915,80	915,8	915,8	915,8	915,8	891,77
2	603,17	1149,8	915,8	1127,6	1030,2	1010,1	1030,2	915,8
3	1126,1	1479,9	1144,7	1144,7	1144,7	1030,2	1127,5	1030,2
4	1127,8	1508,1	1259,2	1259,2	1245,6	1127,1	1158,8	1098,3
5	1246,1	1479,7	1421,4	1509,32	1361,6	1259,2	1274,1	1144,7

g. Data dosis efektif pasien Laki-laki.

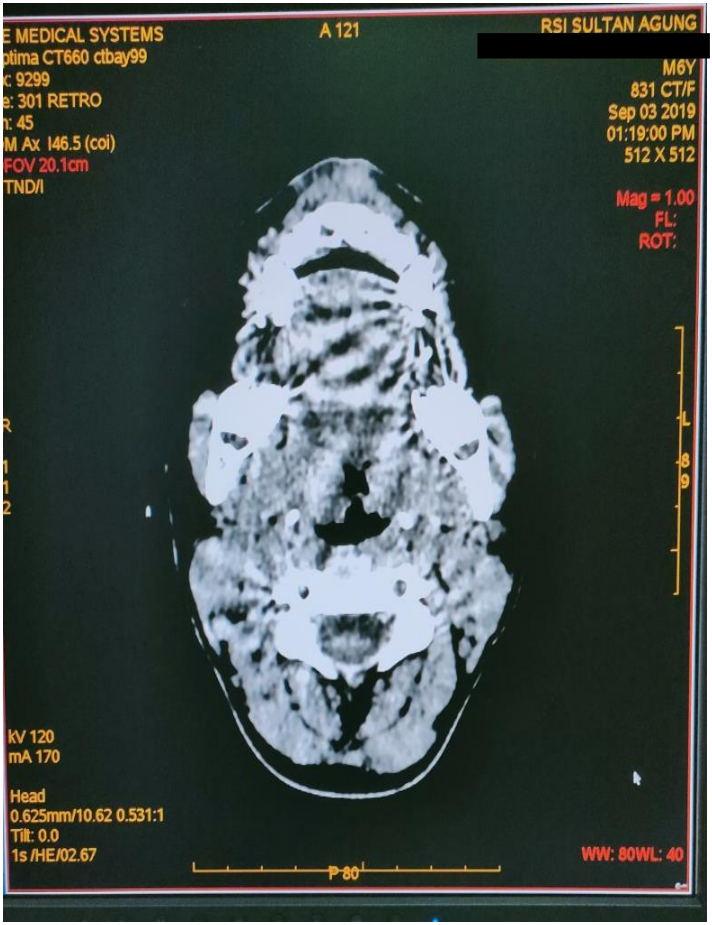
Usia (th)	Dosis Efektif(mSv)					
	1	2	3	4	5	Rata-rata
<10	0,5	1,1	1,2	2,7	2,8	1,66
11-20	2,1	2,9	3,1	3,3	3,6	3
21-30	2,2	2,8	2,9	3	3,1	2,8
31-40	2,3	2,4	2,5	2,6	2,9	2,54
41-50	2,4	2,8	3,1	3,2	3,6	3,02
51-60	1,6	1,9	2,3	2,4	3,2	2,28
61-70	2,1	2,2	2,3	2,4	2,8	2,36
71-80	1,9	2,1	2,1	2,3	2,5	2,18

h. Data dosis efektif pasien perempuan.

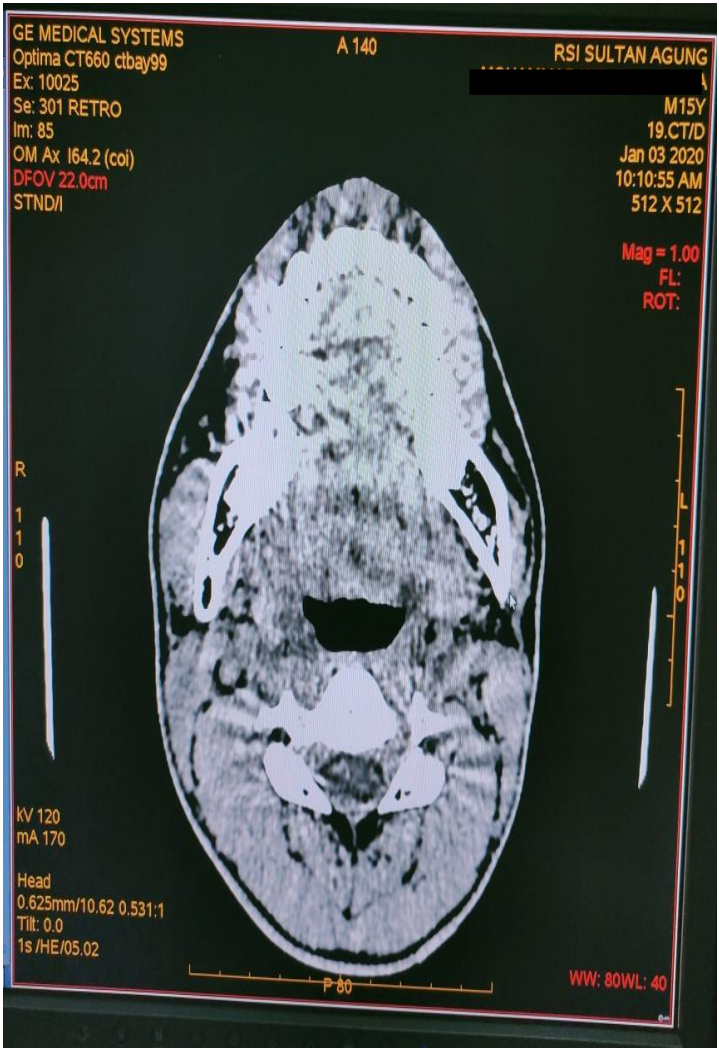
Usia (th)	**Dosis Efektif(mSv)**					
	1	2	3	4	5	Rata-rata
<10	0,7	1,2	2,3	2,3	2,6	1,82
11-20	1,9	2,4	3	3,2	3,1	2,72
21-30	1,9	1,9	2,4	2,6	2,9	2,34
31-40	1,9	2,3	2,4	2,6	3,1	2,46
41-50	1,9	2,1	2,4	2,6	2,8	2,36
51-60	1,9	2,1	2,2	2,3	2,7	2,24
61-70	1,9	2,1	2,3	2,4	2,6	2,26
71-80	1,8	1,9	2,1	2,3	2,4	2,1

Lampiran 2. Hasil Citra Eksaminasi CT Scan

A. Citra pasien laki-laki.
   1. Pasien laki-laki usia <10 tahun.



2. Pasien laki-laki usia 11-20 tahun.



3. Pasien laki-laki usia 21-30 tahun.

4. Pasien laki-laki usia 31-40 tahun.

5. Pasien laki-laki usia 41-50 tahun.

6. Pasien laki-laki usia 51-60 tahun.

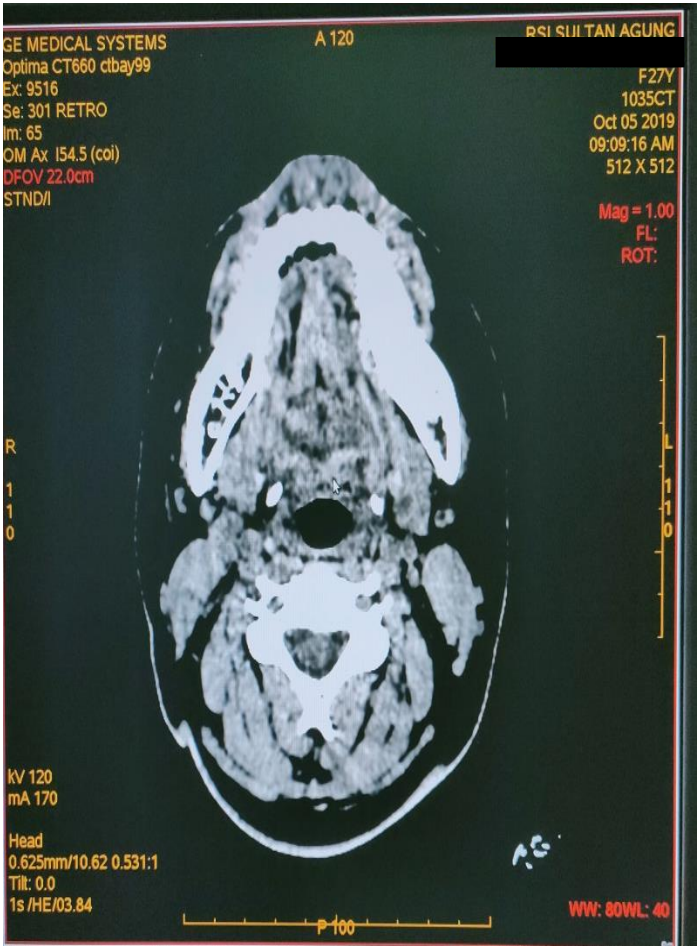
7. Pasien laki-laki usia 61-70 tahun.

8. Pasien laki-laki usia 71-80 tahun.

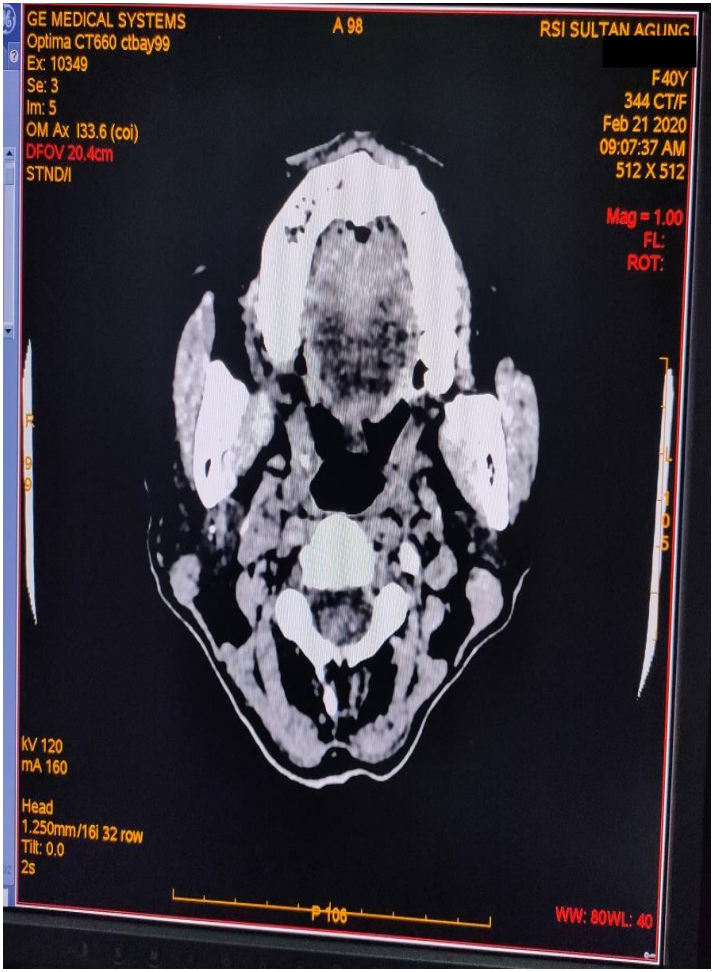
B. Citra pasien perempuan.

1. Pasien perempuan Usia <10 tahun.

2. Pasien perempuan usia 21-30 tahun.



3. Pasien perempuan usia 31-40 tahun.

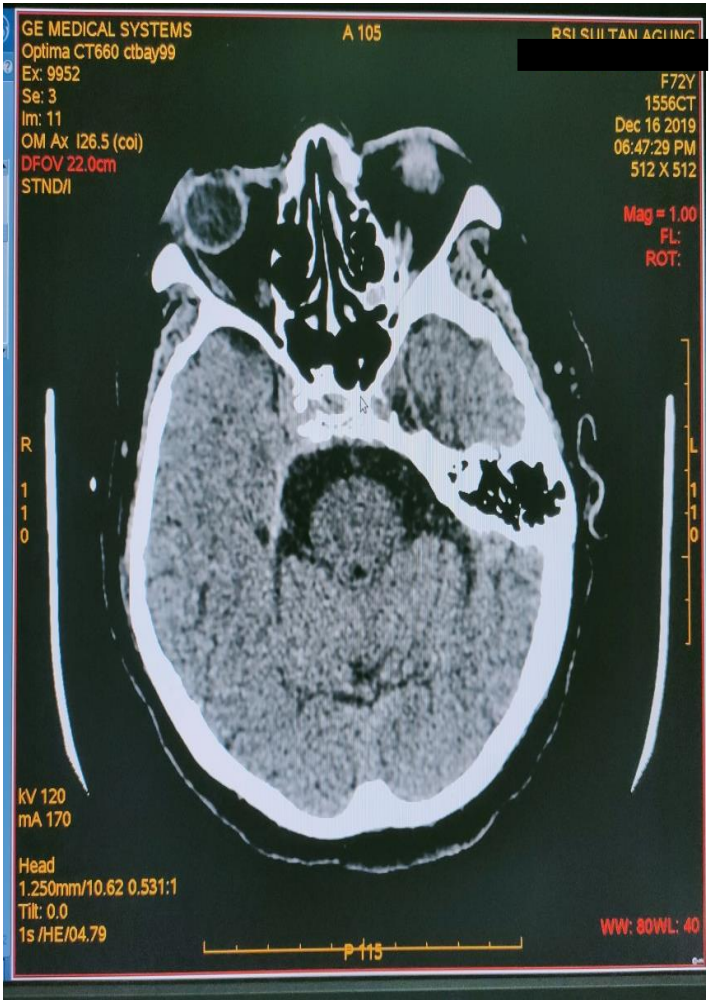


4. Pasien perempuan usia 41-50 tahun.

5. Pasien perempuan usia 51-60 tahun.

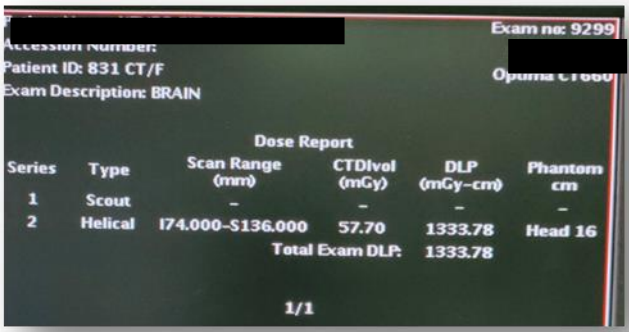
6. Pasien perempuan usia 61-70 tahun.

7. Pasien perempuan usia 71-80 tahun.

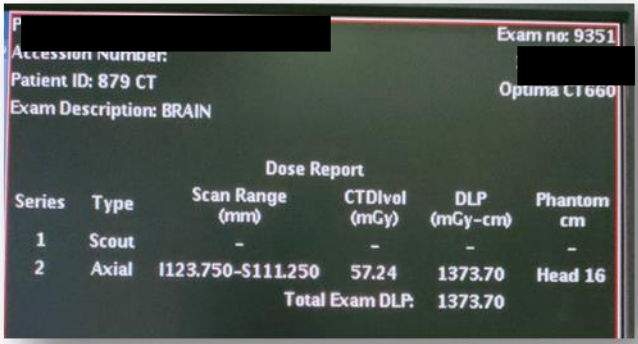


Lampiran 3. Dosis yang di laporkan pada *Image Processor.*

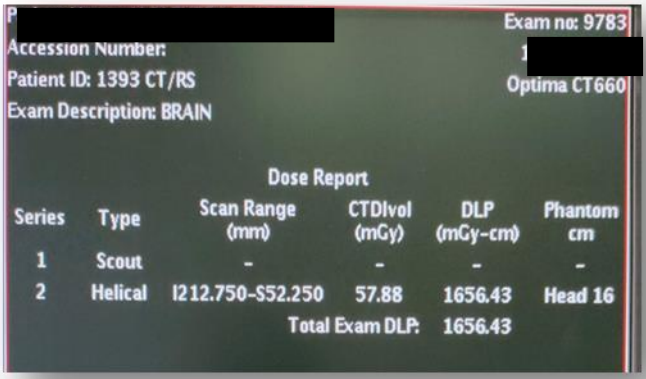
A. Pasien Laki-laki.
   1. Pasien laki-laki usia <10 tahun.



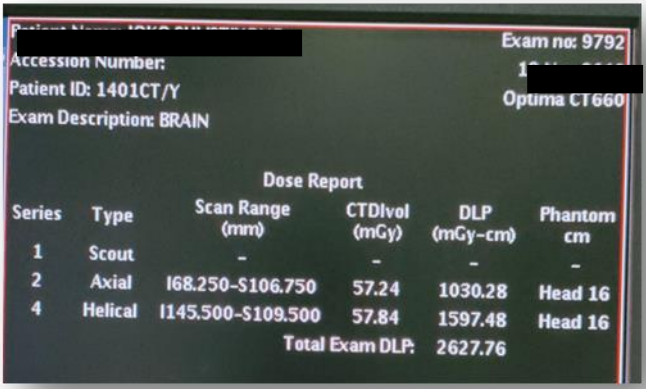
   2. Pasien laki-laki usia 11-20 tahun.



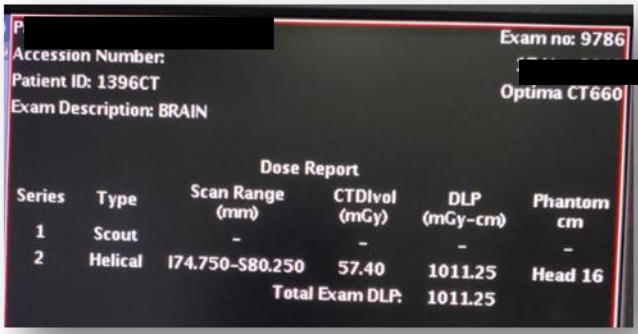
3. Pasien laki-laki usia 21-30 tahun.



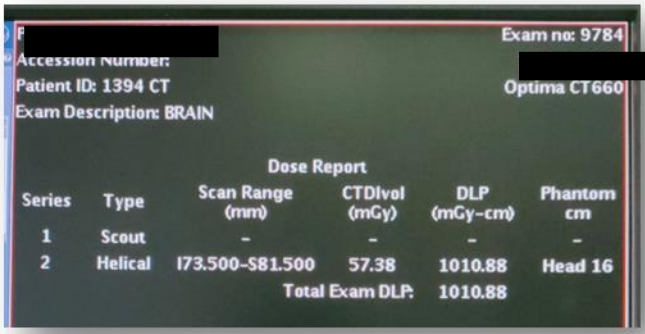
4. Pasien laki-laki usia 31-40 tahun.



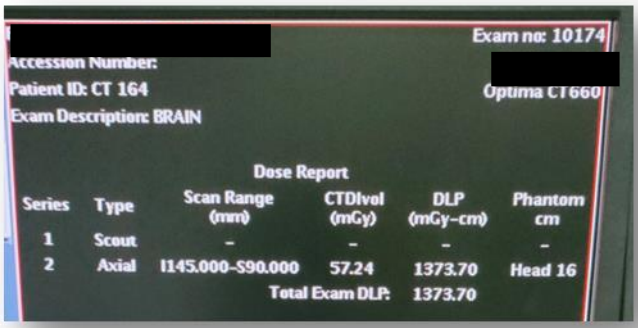
5. Pasien laki-laki usia 41-50 tahun.



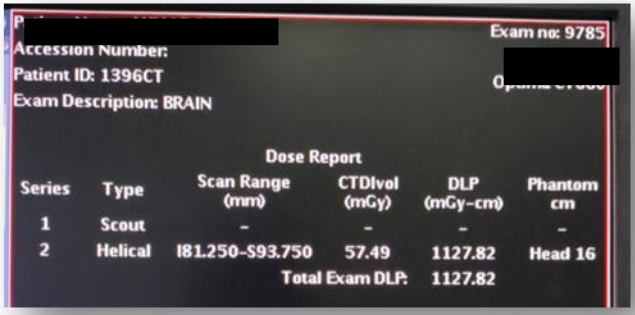
6. Pasien laki-laki usia 51-60 tahun.



7. Pasien laki-laki usia 61-70 tahun.

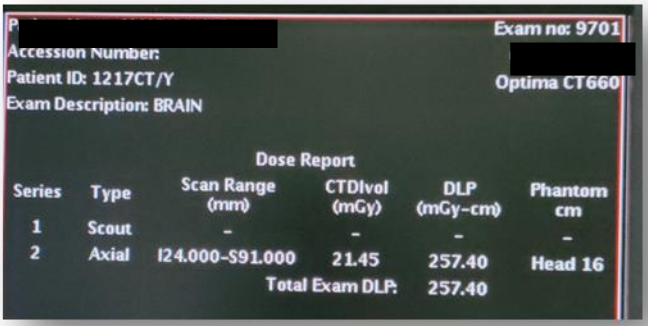


8. Pasien laki-laki usia 71-80 tahun.

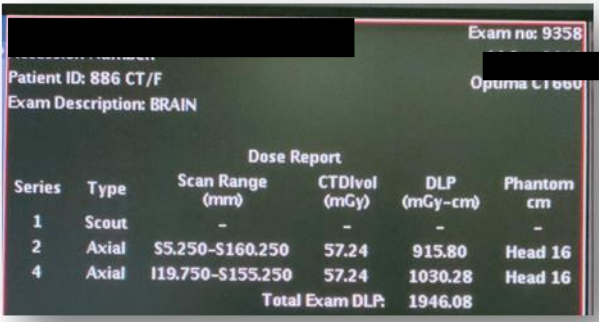


B. Pasien perempuan

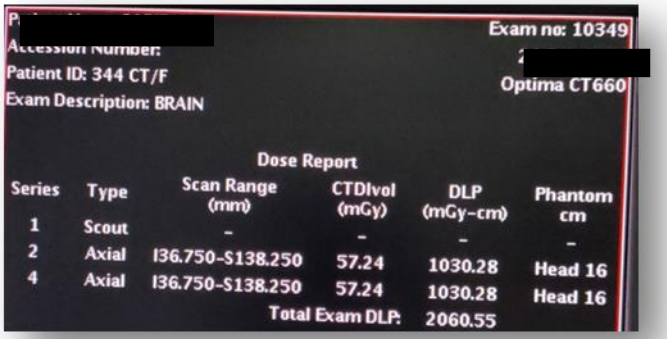
1. Pasien perempuan usia <10 tahun.



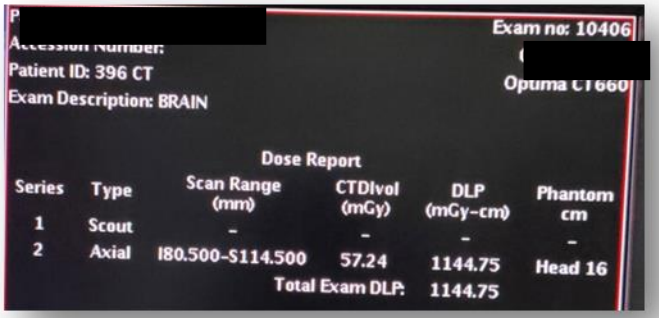
2. Pasien perempuan usia 21-30 tahun.



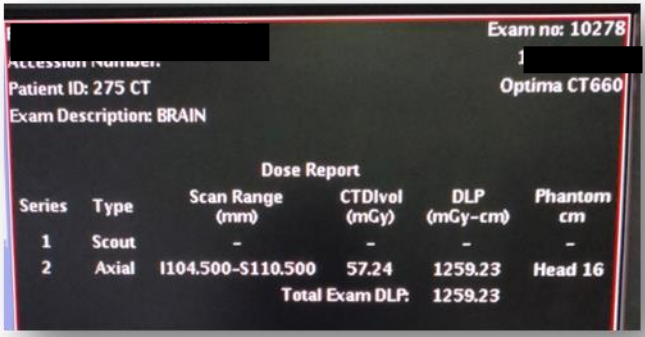
3. Pasien perempuan usia 31-40 tahun.



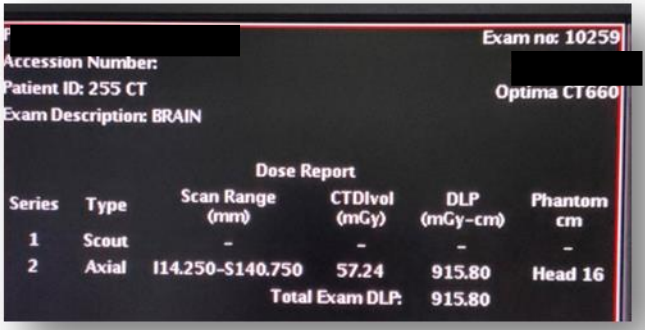
4. Pasien perempuan usia 41-50 tahun.



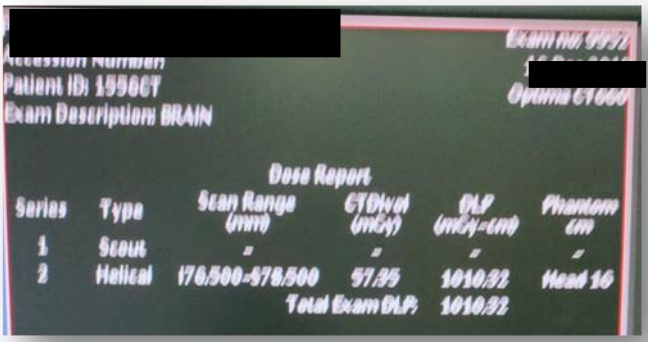
5. Pasien perempuan usia 51-60 tahun.



6. Pasien perempuan usia 61-70 tahun.



7. Pasien perempuan usia 71-80 tahun.



Lampiran 4. Perhitungan Dosis Efektif.

A. Dosis Efektif pada Pasien Laki-laki.

$$E = DLP \times k$$

Keterangan:

E = Dosis Efektif (mSv).

DLP = *Dose Length Product*(mGy.cm).

k = Faktor konversi, dimana pada CT Brain sebesar 0,0021 ($mSv.mGy^{-1}.cm^{-1}$).

1. E = 512,21 x 0,0021

   = 1,07 mSv

2. E = 1373,7 x 0,0021

   = 2,8 mSv

3. E = 1656,43 x 0,0021

   = 3,3 mSv

4. E =1030,28 x 0,0021

   = 2,16 mSv

5. E = 1011 x 0,0021

= 2,1 mSv

6. E =1011,88 X 0,0021

= 2,1 mSv

7. E = 1373,7 x 0,0021

= 2,8 mSv

8. E = 1127,8 x 0,0021

= 2,3 mSv

B. Dosis Efektif pada Pasien perempuan.

E = DLP x *k*

Keterangan :

E = Dosis Efektif (mSv).

DLP = *Dose Length Product*(mGy.cm).

k = Faktor konversi, dimana pada CT Brain sebesar 0,0021 ($mSv.mGy^{-1}.cm^{-1}$).

1. E = 257,4 x 0,0021
   = 0,5 mSv
2. E = 915,8 x 0,0021
   = 1,9 mSv
3. E = 1030,28 x 0,0021

= 2,1 mSv

4. E =1144,75 x 0,0021

   = 2,4 mSv

5. E = 1259,23 x 0,0021

   = 2,6 mSv

6. E = 915,8 x 0,0021

   = 1,9 mSv

7. E = 1010,32 x 0,0021

   = 2,1 mSv

Lampiran 5. Surat Penunjukan Pembimbing

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. DR. Hamka Km.01 Ngaliyan-Semarang 50181 Telp./Fax (024)76433366

NO : B-1182/Un.10.8/D.1/TL.00/03/2020 Semarang, 23 Maret 2020

Lamp : -

Hal :Penunjukkan Pembimbing Skripsi

Yth,

1. Edi Daenuri Anwar, M.Si
2. Arsini, M.Sc

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Berdasrkan hasil pembahasan usul judul penelitian pada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Maka disetujui judul skripsi mahasiswa :

Nama : Rizqi Amaliyah

NIM : 1508026020

Judul : **Analisis Penentuan Dosis Efektif pada CT Scan Bagian *Brain* di Instalasi Radiologi RSI Sultan Agung Semarang.**

Dan menunjuk :

1. Edi Daenuri Anwar, M.Si sebagai Pembimbing I
2. Arsini, M.Sc sebagai Pembimbing II

Demikian penunjukan pembimbing skrispsi ini di sampaikan atas perhatian yang diberikan kami ucapkan terimkasih

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

a.n Dekan
Ketua Program Study Fisika

Agus Sudarmanto, M.Sc
NIP. 19970823 200912 1 001

Tembusan :

1. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo (sebagai laporan)
2. Mahasiswa yang bersangkutan
3. Arsip

Lampiran 6. Surat Permohonan Izin Riset

KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Alamat: Jl.Prof. Dr. Hamka Km. 1 Semarang Telp. 024 76433366 Semarang 50185

Nomor : B. 3159/Un.10.8/D1/TL.00/08/2019 Semarang, 16 Agustus 2019
Lamp : Proposal Skripsi
Hal : Permohonan Izin Riset

Kepada Yth.
Direktur Utama Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang
di Tempat

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Diberitahukan dengan hormat dalam rangka penulisan skripsi, bersama ini kami sampaikan bahwa mahasiswa di bawah ini :

Nama : Rizqi Amaliyah
NIM : 1508026020
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Fisika
Judul Sekripsi : "Estimasi Dosis Efektif Pada Hasil Pemeriksaan CT-Scan Bagian Brain di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang"
Pembimbing : 1. Edi Daenuri Anwar, M.Si.
2. Arsini, M.Sc.

Mahasiswa tersebut membutuhkan data-data dengan tema/judul skripsi yang sedang disusun, oleh karena itu kami mohon mahasiswa tersebut di ijinkan melaksanakan Riset pada bulan Agustus sampai September 2019.

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya disampaikan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

a.n. Dekan
Wakil Dekan Bidang Akademik
dan Kelembagaan

Dr. Lianah, M.Pd.
NIP. 19590313 198103 2 007

Tembusan Yth.
1. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo (sebagai laporan)
2. Arsip

Lampiran 7. Surat Izin Penelitian

RSI SULTAN AGUNG
ISLAMIC TEACHING HOSPITAL

Nomor : 2075/B/RSI-SA/VIII/2019
Lamp : -
Hal : **Ijin Penelitian**

Semarang, 21 Agustus 2019 M
20 Dzul Hijjah 1440 H

Kepada Yth
Dekan
Fakultas Sains Dan Teknologi
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
Di
Semarang

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Teriring rasa syukur semoga limpahan kasih sayang Allah SWT menyertai didalam melaksanakan tugas dan pengabdian kita. Aamiin.

Menjawab surat wakil dekan bidang akademik dan kelembagaan nomor : B.3159/Un.10.8/D1/TL.00/08/2019 perihal permohonan penelitian bagi mahasiswa UIN Walisongo Semarang di Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang, maka dengan ini kami sampaikan bahwa Direktur Pendidikan dan Penunjang Medis RSI Sultan Agung memberikan ijin mahasiswa berikut :

Nama	:	Rizqi Amaliyah.
NIM	:	1508026020
Fakultas	:	Fakultas Sains Dan Teknologi.
Jurusan	:	Fisika.
Universitas	:	Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang
Judul Penelitian	:	Estimasi Dosis Efektif Pada Hasil Pemeriksaan CT-Scan Bagian Brain Di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang.
Pembimbing	:	Edi Daenuri Anwar, M.Si. (Pembimbing I). Arsini, M.Sc. (Pembimbing II).

Untuk melakukan penelitian di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang.
Demikian, atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Billahittaufiq wal hidayah
Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

RSI SULTAN AGUNG SEMARANG
Direktur Pendidikan & Penunjang Medis

Tembusan
1. Kepala Instalasi Radiologi
2. Penjab Radiologi.
3. Arsip.

Jl. Raya Kaligawe Km. 4 Semarang 50112 Jawa Tengah, Indonesia
Telp. +62 2465 800 19 | **Fax.** +62 2465 819 28 | **Hotline** : +62 85 100 41 2424
email : rs@rsisultanagung.co.id | www.rsisultanagung.co.id

Lampiran 8. Surat Selesai Penelitian.

YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
RSI SULTAN AGUNG
ISLAMIC TEACHING HOSPITAL
Rumah Sakit Sesuai Prinsip Syariah
SEMARANG JAWA TENGAH

SURAT KETERANGAN
SELESAI PENELITIAN
NOMOR : 54/B/RSI-SA/III/2020

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **dr. Minidian Fasitasari, M. Sc, Sp. GK**
Jabatan : **Direktur Pendidikan & Penunjang Medik**

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa:

Nama : **Rizqi Amaliyah.**
NIM : **1508026020.**
Jurusan : **Fisika**
Fakultas : **Fakultas Sains dan Teknologi.**
Universitas : **Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.**

Telah melaksanakan Penelitian di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang pada bulan Agustus sampai dengan bulan Oktober 2019 dalam rangka Penyusunan skripsi dengan judul **Estimasi Dosis Efektif Pada Hasil Pemeriksaan CT-Scan Bagian Brain Di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang.**
Demikian surat keterangan ini dibuat dan dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 11 Maret 2020 M
16 Rajab 1441 H

RUMAH SAKIT ISLAM
SULTAN AGUNG SEMARANG
RSI SULTAN AGUNG
ISLAMIC TEACHING HOSPITAL
dr. Minidian Fasitasari, M. Sc, Sp. GK.
Direktur Pendidikan

www.rsisultanagung.co.id

Lampiran 9. Dokumentasi.

Optima

Optima

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas diri

Nama	: Rizqi Amaliyah
Tempan dan Tgl Lahir	: Semarang, 12 Mei 1997
Alamat	: Kudu Kramat 1 RT 02 RW 02 Kecamatan Genuk Kota Semarang.

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal :
   a. MI Futuhiyyah 02 tahun 2003-2009.
   b. SMP Takhasus al-Qur'an tahun 2009-2012.
   c. SMA N 1 Jekulo tahun 2012-2015.
   d. UIN Walisongo tahun 2015-2020.

2. Pendidikan Non Formal :
   a. Madin Futuhiyyah tahun 2002-2008.
   b. Madin Wustho Al-Asy'ariyyah tahun 2009-2012.
   c. PPTQ Al-Asy'ariyyah tahun 2009-2012.
   d. PP Bareng Putri 1923 tahun 2012-2015.

Semarang, 11 April 2020

Rizqi Amaliyah
NIM: 1508026020