

**KALIBRASI ANTARWAKTU PESAWAT TELETERAPI  $^{60}\text{Co}$  DI  
RSUD Dr. MOEWARDI: PENGUKURAN, PERKIRAAN DAN  
PEMODELAN DENGAN SOFTWARE MCNPX**



**Disusun oleh :**

**UMI KHASANAH  
M0212080**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian  
persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Sains**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
Maret, 2016**

## HALAMAN PENGESAHAN

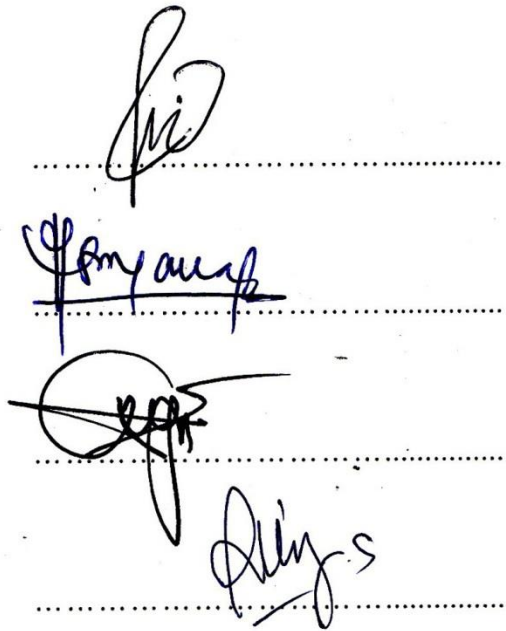
Skripsi dengan judul : Kalibrasi Antarwaktu Pesawat Teleterapi  $^{60}\text{Co}$  di RSUD  
Dr. Moewardi: Pengukuran, Perkiraan dan Pemodelan  
dengan *Software* MCNPX

Yang ditulis oleh :  
Nama : Umi Khasanah  
NIM : M0212080

Telah diuji dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada  
Hari : Senin  
Tanggal : 14 Maret 2016

Dewan Penguji :

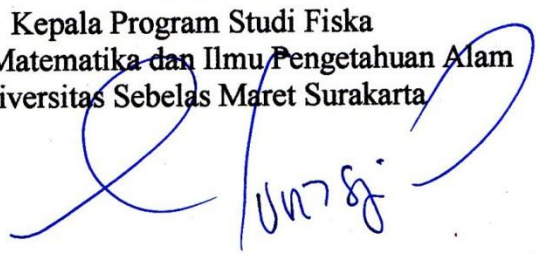
1. Ketua Penguji  
Dr. Eng. Kusumandari, S.Si, M.Si  
NIP. 19810518 200501 2 002
2. Sekertaris Penguji  
Dr. Eng. Risa Suryana, M.Si  
NIP. 19710831 200003 1 005
3. Anggota Penguji I  
Drs. Suharyana, M.Sc  
NIP. 19611217 198903 1 003
4. Anggota Penguji II  
Dra. Riyatun, M.Si  
NIP. 19680226 199402 2 001



.....  
.....  
.....  
.....

Disahkan pada tanggal ... 6 April 2016  
Oleh

Kepala Program Studi Fiska  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Dr. Fahru Nurosyid, S.Si, M.Si  
NIP. 19721013 200003 1 002

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual Skripsi saya yang berjudul “KALIBRASI ANTARWAKTU PESAWAT TELETERAPI  $^{60}\text{Co}$  DI RSUD Dr. MOEWARDI: PENGUKURAN, PERKIRAAN DAN PEMODELAN DENGAN SOFTWARE MCNPX” adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya hingga saat ini isi Skripsi tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Universitas Sebelas Maret atau di Perguruan Tinggi lainnya kecuali telah dituliskan di daftar pustaka Skripsi ini dan segala bentuk bantuan dari semua pihak telah ditulis di bagian ucapan terimakasih. Isi Skripsi ini boleh dirujuk atau diphotocopy secara bebas tanpa harus memberitahu penulis.

Surakarta, 2016

UMI KHASANAH

## **MOTTO**

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap”

(QS. Al-Insyirah:5-8)

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri”

(QS. Ar-Ra'd:11)

“Sesuatu yang belum dikerjakan, seringkali tampak mustahil, kita baru yakin kalau kita telah berhasil melakukannya dengan baik”

(Evelyn Underhill)

“Man Jadda Wa Jadda”

## **PERSEMBAHAN**

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, karya ini saya persembahkan kepada :

1. Ibu, Bapak dan kedua Adik saya, atas doa dan dukungan yang selalu diberikan untuk kelancaran kuliah dan pembuatan tugas akhir saya.
2. Bapak Suharyana dan Ibu Riyatun yang telah bersedia membimbing saya dan telah bersedia berbagi ilmu dan pengetahuan.
3. Pembimbing akademik, Ibu Kusumandari yang selalu memberikan dorongan dan nasehat.
4. Zul Efendi yang selalu memberi semangat dan dukungan sepenuh hati dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.
5. Nurul Risca Pratiwi, Asih Rahmini Rahmat, Septinia Qoirun Nisa, Petrananda Dea Karunia, Dian Novitasari dan Supatmi yang selalu memberi semangat, motivasi dan selalu berbagi canda tawa bersama.
6. Seluruh teman-teman FISIKA FMIPA UNS angkatan 2012.
7. Oktaviana Era yang telah memberikan pelatihan MCNP.
8. Keluarga besar FISKA FMIPA UNS.

**Kalibrasi Antarwaktu Pesawat Teleterapi  $^{60}\text{Co}$  di RSUD Dr. Moewardi:  
Pengukuran, Perkiraan dan Pemodelan dengan Software MCNPX**

UMI KHASANAH

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Sebelas Maret

**ABSTRAK**

Laju dosis serap yang dihasilkan pesawat radioterapi harus dijamin ketepatannya melalui kegiatan kalibrasi. Kalibrasi harus dilakukan secara berkala, dengan protokol baku dari IAEA yakni TRS 398. Kalibrasi pesawat teleterapi  $^{60}\text{Co}$  terakhir dilakukan pada Juli 2013, sampai akhir 2015 kalibrasi berkala belum dilakukan, maka diperlukan kalibrasi antarwaktu. Penelitian ini melaporkan tentang hasil kalibrasi antarwaktu dengan protokol IAEA TRS 398, dibandingkan dengan perkiraan laju dosis berdasarkan Sertifikat Kalibrasi tahun 2013. Hasil pengukuran dan perkiraan laju dosis serap diperoleh selisih sebesar 12,5%. Selisih yang cukup besar ini mengindikasikan pesawat teleterapi  $^{60}\text{Co}$  tipe GWXJ80 perlu segera dikalibrasi ulang. Hasil simulasi komputer dengan *software* MCNPX dapat digunakan untuk memprediksi laju dosis serap setiap saat sebagai fungsi kedalaman detektor di dalam *phantom* sesuai letak kanker yang akan diterapi. Laju dosis serap pada kedalaman kanker menurun secara eksponensial, bukan linier. Pemodelan sumber  $^{60}\text{Co}$  berupa sumber *disk* menghasilkan laju dosis lebih tepat daripada sumber titik.

**Kata kunci:** kalibrasi pesawat teleterapi  $^{60}\text{Co}$ , laju dosis serap, *phantom*, MCNPX

**Over Time Calibration in Teletherapeutic Machine  $^{60}\text{Co}$  in Dr. Moewardi Local General Hospital: Measurement, Estimation and Modeling using MCNPX Software**

UMI KHASANAH

Physical Department, Mathematic and Natural Science Faculty  
Sebelas Maret University

**ABSTRACT**

Absorption dose rate yielded by radiotherapy machine should be ensured for its precision through calibration. Calibration should be carried out periodically, with standard protocol and IAEA, TRS 398. The calibration of teletherapeutic machine  $^{60}\text{Co}$  was conducted recently on July 2013, until late 2013 periodical calibration had not been carried out; therefore over time calibration is required. This research reported the result of over time calibration with IAEA TRS 398 protocol, compared with estimated dosing rate based on Calibration Certificate of 2013. The result of measurement and estimation on absorption dose rate, a difference of 12.5% was obtained. Such the difference indicated that GWXJ80 type of teletherapeutic machine  $^{60}\text{Co}$  needed to be recalibrated. The result of computer simulation using MCNPX software could be used to predict absorption dose rate any time as the depth function of detector in phantom corresponding to the location of cancer on which therapy would be conducted. Absorption dose rate in cancer depth decreased exponentially rather than linearly.  $^{60}\text{Co}$  source modeling was disk source resulting in more appropriate dose rate than point source.

**Keywords:** Calibration of Teletherapeutic machine  $^{60}\text{Co}$ , absorption dose rate, phantom, MCNPX

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi. Sholawat dan salam senantiasa penulis haturkan kepada Rosulullah SAW sebagai pembimbing seluruh umat manusia.

Skripsi yang penulis susun sebagai bagian dari syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains ini penulis beri judul “Kalibrasi Antarwaktu Pesawat Teleterapi  $^{60}\text{Co}$  di RSUD Dr. Moewardi: Pengukuran, Perkiraan dan Pemodelan dengan *Software* MCNPX”. terselesaikannya Skripsi ini adalah suatu kebahagiaan bagi saya. Setelah sekitar satu semester penulis harus berjuang untuk bisa menyelesaikan Skripsi ini tepat waktu. Dengan segala suka dan dukanya, pada akhirnya Skripsi ini terselesaikan juga. Kepada berbagai pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Skripsi ini penulis ucapkan terima kasih. Atas bantuannya yang sangat besar selama proses pengerjaan Skripsi ini, ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada :

1. Drs. Suharyana, M.Sc selaku Pembimbing I
2. Dra. Riyatun, M.Si selaku Pembimbing II
3. Bapak Muhtarom, fisikawan medis di Instalasi Radioterapi RSUD Dr. Moewardi
4. Rekan-rekan dalam tim Fisika Medis dan Reaktor

Semoga Allah SWT membalas jerih payah dan pengorbanan yang telah diberikan dengan balasan yang lebih baik. Amin.

Penulis menyadari akan banyaknya kekurangan dalam penulisan Skripsi ini. Namun demikian, penulis berharap semoga karya kecil ini bermanfaat.

Surakarta, 2016

Umi Khasanah



## **PUBLIKASI**

Sebagian skripsi saya yang berjudul “Kalibrasi Antarwaktu pada Pesawat Teleterapi  $^{60}\text{Co}$  di RSUD Dr. Moewardi: Pengukuran, Perkiraan dan Pemodelan dengan *Software* MCNPX” akan dipublikasikan pada Repositori FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>HALAMAN ABSTRAK</b> .....	vi
<b>HALAMAN ABSTRACT</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>HALAMAN PUBLIKASI</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	4
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1. Radioterapi .....	6
2.2. Radioaktif .....	6
2.2.1. Aktivitas Bahan Radioaktif .....	6
2.2.2. Radioaktif <sup>60</sup> Co .....	7
2.3. Pesawat Teleterapi <sup>60</sup> Co di RSUD Dr. Moewardi .....	9
2.4. <i>Phantom</i> .....	10
2.5. <i>Alat Ukur Radiasi</i> .....	10
2.5.1. <i>Ionization Chambers</i> atau Bilik Ionisasi .....	11
2.5.2. Elektrometer .....	12
2.6. Dosis Serap .....	13
2.7. Distribusi Dosis .....	13
2.8. Penentuan Dosis Serap pada Pesawat Teleterapi <sup>60</sup> Co .....	14
2.9. Interaksi Foton Dengan Materi .....	15
2.9.1. Efek Fotolistrik .....	15
2.9.2. Efek <i>Compton</i> .....	16
2.9.3. Produksi Pasangan .....	16
2.10. Interaksi Foton dengan Jaringan Tubuh .....	17
2.11. MCNP .....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	21
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	21

3.2. Alat dan Bahan .....	21
3.3. Tahapan Penelitian .....	21
3.3.1. Tahapan Persiapan .....	24
3.3.1.1. Survei Literatur .....	24
3.3.1.2. Identifikasi Masalah .....	24
3.3.1.3. Studi Pustaka .....	24
3.3.1.4. Observasi Lapangan dan Perijinan .....	24
3.3.1.5. Pencarian Data Material dan Spesifikasi Sumber $^{60}\text{Co}$ .....	24
3.3.2. Tahapan Simulasi .....	25
3.3.2.1. Geometri Kolimator, <i>Virtual Water Phantom</i> dan Detektor Bilik Ionisasi .....	25
3.3.2.2. Running .....	26
3.3.2.3 Kalkulasi Laju Dosis Serap .....	27
3.3.3. Tahapan Pengukuran Dosis Serap Pesawat Teleterapi $^{60}\text{Co}$ ...	27
3.3.4. Analisa Data .....	31
3.3.5. Kesimpulan.....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	
4.1. Hasil Pengukuran Laju Dosis Serap Radiasi Gamma di Air pada Pesawat Teleterapi $^{60}\text{Co}$ di RSUD Moewardi .....	32
4.2. Pengecekan Berkas Kolimator .....	34
4.3. Hasil Simulasi Pengukuran Laju Dosis Serap .....	37
4.4. Validasi Laju Dosis Serap Hasil Simulasi .....	42
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	49
5.1. Kesimpulan .....	49
5.2. Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	51
<b>LAMPIRAN .....</b>	54

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Karakteristik Bilik Ionisasi Silinder Dalam Radioterapi .....	11
Tabel 2.2. Jenis <i>Tally</i> F <sub>n</sub> dan Modifikasi <i>Tally</i> .....	20
Tabel 3.1. Spesifikasi Material dan Spesifikasi Sumber <sup>60</sup> Co .....	25
Tabel 4.1. Data Hasil Kalibrasi Dari Bacaan Elektrometer .....	32
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Dari Pengukuran Laju Dosis Serap Sesuai IAEA TRS 398 .....	33
Tabel 4.3. Hasil Pengecekan Berkas Radiasi Gamma Untuk Berbagai Luas Lapangan Radiasi dengan Sumber Titik .....	35
Tabel 4.4. Hasil Pengecekan <i>Tally</i> F4 Untuk Berbagai Luas Lapangan Radiasi dengan Sumber Titik .....	36
Tabel 4.5. Hasil Pengecekan Berkas Radiasi Gamma Untuk Berbagai Luas Lapangan Radiasi dengan Sumber <i>Disk</i> .....	36
Tabel 4.6. Hasil Pengecekan <i>Tally</i> F4 Untuk Berbagai Luas Lapangan Radiasi dengan Sumber <i>Disk</i> .....	37
Tabel 4.7. Interaksi Partikel Gamma yang Terjadi pada Detektor dengan Sumber Titik .....	41
Tabel 4.8. Interaksi Partikel Gamma yang Terjadi pada Detektor dengan Sumber <i>Disk</i> .....	42
Tabel 4.9. Hasil Simulasi Laju Dosis Serap dengan Variasi Kedalaman .....	43
Tabel 4.10. Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran .....	46
Tabel 6.1. Koefisien Kerma Untuk Foton .....	54

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Grafik Peluruhan Sumber $^{60}\text{Co}$ .....	8
Gambar 2.2. Diagram Tingkat Energi $^{60}\text{Co}$ .....	9
Gambar 2.3. Pesawat Teleterapi $^{60}\text{Co}$ RSUD Dr. Moewardi .....	10
Gambar 2.4. Skema Efek Fotolistrik .....	16
Gambar 2.5. Skema Hamburan <i>Compton</i> .....	16
Gambar 2.6. Skema Produksi Pasangan .....	17
Gambar 2.7. Tampilan Awal <i>Vised</i> .....	19
Gambar 3.1. Alur Tahapan Penelitian .....	23
Gambar 3.2. Diagram Alir Tahapan Simulasi dan Pengukuran Laju Dosis- Serap Pesawat $^{60}\text{Co}$ .....	30
Gambar 4.1. Simulasi dengan Sumber Titik dan Sumber <i>Disk</i> .....	39
Gambar 4.2. Hasil Simulasi Laju Dosis Serap Sebagai Fungsi Kedalaman dengan Sumber Titik .....	44
Gambar 4.3. Hasil Simulasi Laju Dosis Serap Sebagai Fungsi Kedalaman dengan Sumber <i>Disk</i> .....	44

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
$A_0$	Aktivitas mula-mula radioaktif
$A$	Aktivitas akhir radioaktif
$N_0$	Banyak inti mula-mula radioaktif
$N$	Banyak inti akhir radioaktif
$\lambda$	Tetapan peluruhan
$t$	Waktu radioaktif
$D$	Dosis Serap
$E$	Energi
$m$	Massa organ/detektor
$\dot{D}$	Laju Dosis Serap
$PDD$	<i>Percentage Depth Dose</i>
$D_d$	Dosis Serap pada Kedalaman Tertentu
$D_{max}$	Dosis Serap pada Kedalaman Maksimal
$D_w(z_{ref})$	Dosis Serap di Air dengan Kedalaman Tertentu
$D_w(z_{max})$	Dosis Serap di Air dengan Kedalaman Tertentu
$M$	Bacaan Elektrometer
$N_{D,w}$	Faktor Kalibrasi Dosis Serap di Air untuk $^{60}\text{Co}$
$k_{pol}$	Faktor Koreksi Polarisasi
$k_{T,P}$	Faktor Koreksi Suhu dan Tekanan
$k_s$	Faktor Koreksi Rekombinasi Ion