

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xi
INTISARI.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Tujuan Penelitian.....	6
1.5. Manfaat Penelitian.....	7
1.6. Sistematika Penulisan Skripsi	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
BAB III DASAR TEORI	15
3.1. Kanker paru-paru.....	15
3.2. Interaksi radiasi dengan materi.....	17
3.2.1. Interaksi neutron termal dengan jaringan	19
3.2.2. Interaksi neutron cepat dengan jaringan	20
3.2.3. Reaksi moderasi	20
3.3. Berkas neutron pada medis.....	21
3.3.1. <i>Boron Neutron Capture Therapy</i> (BNCT)	21
3.2.2. <i>Fast Neutron Therapy</i> (FNT).....	22
3.4. Dosimetri	22
3.4.1. Dosis pada BNCT	23

3.4.2. Dosis pada FNT	24
3.4.3. Fraksinasi	25
3.5. Sumber Neutron	25
3.5.1. Reaktor Kartini untuk BNCT	25
3.5.2. Siklotron U-120 <i>Tomsk Polytechnic University</i> sebagai sumber untuk <i>Fast Neutron Therapy</i>	26
3.6. Monte Carlo pada Dosimetri	26
3.7. Particle and Heavy Ion Transpor code System (PHITS)	27
BAB IV METODE PENELITIAN	33
4.1. Alat dan Bahan	33
4.1.1. Perangkat Keras	33
4.1.2. Perangkat Lunak	33
4.2. Prosedur dan Pengumpulan Data	33
4.2.1. Studi Pustaka	35
4.2.2. Penentuan Sumber	35
4.2.3. Pembuatan <i>Coding</i>	35
4.2.4. Pemodelan Organ	36
4.2.5. Data Material	38
4.2.6. Teknik Analisa Data	39
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	42
5.1. Fluks Neutron	43
5.2. Laju Dosis	44
5.3. Waktu iradiasi	48
5.4. Dosis Radiasi	49
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	53
6.1. Kesimpulan	53
6.2. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	59
Lampiran 1. Data nilai faktor kerma pada beberapa energi neutron	59
Lampiran 2. Perhitungan Laju Dosis pada FNT	60

Lampiran 3. Data nilai faktor bobot pada berbagai jenis radiasi dan energinya	61
Lampiran 4. Perhitungan waktu iradiasi pada FNT untuk satu kali penyinaran	61
Lampiran 5. Perhitungan dosis pada FNT untuk satu kali penyinaran.....	61
Lampiran 6. Batas dosis minimal (OAR)	62
Lampiran 7. Data fraksi dan densitas massa pada material penyusun jaringan	62
Lampiran 8. Data volume organ berbagai usia.....	66
Lampiran 9. Listing program PHITS untuk FNT	66
Lampiran 10. Penjabaran persamaan-persamaan	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Fasilitas <i>Fast Neutron Therapy</i> di dunia (Dovbnya <i>et al.</i> , 2014; IAEA, 2014)	10
Tabel 2.2. Fasilitas <i>Boron Neutron Capture Therapy</i> di dunia (Bavarnegin, Kasesaz and Wagner, 2017).....	12
Tabel 3.1. Klasifikasi stadium kanker berdasarkan tumor/ node/ metastasis (TNM) (Weaver, 2017).....	16
Tabel 3.2. Tabel jenis kanker NSCLC dan penanganannya	17
Tabel 3.3. Parameter keluaran berkas neutron yang direkomendasikan oleh IAEA (Muslimah, Sardjono and Widihartol, 2014)	26
Tabel 3.4. <i>Section</i> yang digunakan dalam <i>input</i> program PHITS (Sato <i>et al.</i> , 2017).	27
Tabel 3.5. Tabel dari keterangan <i>parameters section</i> (Sato <i>et al.</i> , 2017)	28
Tabel 3.6. Tabel jenis <i>source type</i> yang digunakan	29
Tabel 3.7. Simbol dari bentuk masukkan dalam PHITS	30
Tabel 4.1. Nilai <i>a, b, c, x0, z0</i> pada phantom paru-paru untuk semua usia.....	36
Tabel 4.2. Material penyusun jaringan tubuh dan kanker (McConn <i>et al.</i> , 2011) 38	
Tabel 4.3. Tabel nilai dosis tiap organ untuk setiap konsentrasi boron pada BNCT (Harish and Sardjono, 2018).	41
Tabel 5.1. Nilai fluks neutron tiap kedalaman per nilai energi neutron.....	43
Tabel 5.2. Nilai laju dosis tiap kedalaman per nilai energi neutron.....	45
Tabel 5.3. Nilai laju dosis ekuivalen tiap kedalaman per nilai energi neutron	46
Tabel 5.4. Waktu iradiasi dalam satu kali fraksinasi (<i>single dose 2,0 Gy</i>)	49
Tabel 5.5. Nilai dosis radiasi pada tiap jaringan dan OAR.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Statistik jenis dan jumlah kasus kanker baru yang terjadi pada 2019 baik laki-laki dan perempuan pada semua usia (American Cancer Society, 2019).	1
Gambar 1.2. Statistik jumlah kematian akibat kanker yang terjadi pada 2019 baik laki-laki dan perempuan pada semua usia (American Cancer Society, 2019).....	2
Gambar 3.1. Struktur organ paru-paru (Amador <i>et al</i> , 2020)	15
Gambar 3.2. Dosis kedalaman berkas radiasi dalam air dari berbagai jenis radiasi dan energi.	18
Gambar 3.3. Skema diagram dari tumbukan elastis.....	19
Gambar 3.4. Reaksi antara boron-10 dengan neutron termal.....	21
Gambar 4.1. Diagram alir pelaksanaan penelitian <i>fast neutron therapy</i>	34
Gambar 4.2. Hasil pemodelan tampak depan (AP).....	37
Gambar 4.3. Hasil pemodelan tampak samping (LLAT).....	37
Gambar 5.1. Penembakan neutron cepat pada FNT dengan metode AP	42
Gambar 5.2. Fluks neutron tiap kedalaman pada beberapa nilai energi neutron cepat	44
Gambar 5.3. Nilai laju dosis tiap kedalaman per besar energi neutron.....	46
Gambar 5.4. Nilai laju dosis total pada tiap organ untuk metode BNCT (Harish and Sardjono, 2018)	47
Gambar 5.5. Pengaruh konsentrasi boron dengan waktu iradiasi	48
Gambar 5.6. Dosis radiasi FNT satu kali fraksinasi per kedalaman	51
Gambar 5.7. Dosis radiasi pada BNCT	51

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang Romawi

Lambang	Keterangan	Satuan
m_n	Massa neutron	kg
M	Massa inti penyerap	kg
E_k	Energi kinetik	J
D	Dosis	Gy
\dot{D}	Laju dosis	Gy/s
w_t	Fraksi massa	
w_{RBE}	Faktor bobot	
$C(E)$	Faktor kerma	$Gy.cm^2$
t	Waktu	s
Δ		

Lambang Yunani

Lambang	Keterangan	Satuan
n	Neutron	
A	Sinar alfa	
γ	Sinar gamma	
d	Deuteron	
9Be	Berilium-9	
${}^{10}B$	Boron-10	
7Li	Litium-7	
${}^{14}N$	Nitrogen-14	
${}^{14}C$	Karbon-14	
1H	Hidrogen-1	
2H	Hidrogen-2	
Φ	Fluks	$n.cm^{-2}.s^{-1}$

Singkatan

AJCC	<i>American Joint Committee on Cancer</i>
AP	<i>Anteroposterior</i>
BAPETEN	<i>Badan Pengawas Tenaga Nuklir</i>
BATAN	<i>Badan Tenaga Nuklir Nasional</i>
BNCT	<i>Boron Neutron Capture Therapy</i>
BPA	<i>Boronophenylalanine</i>
BHS	<i>Natrium Borokaptat</i>
CIRT	<i>Carbon Ion Radiotherapy</i>
CTV	<i>Clinical Target Volume</i>
DNA	<i>Deoxyribo Nucleic Acid</i>
FNT	<i>Fast Neutron Therapy</i>
GTV	<i>Gross Target Volume</i>
IAEA	<i>Internal Atomic Agency</i>
JAEA	<i>Japanese Atomic Energy Agency</i>
LET	<i>Linear Energi Trasnfer</i>
LLAT	<i>Left Lateral</i>
MCNP	<i>Monte Carlo-N-Particle</i>
MeV	<i>Mega Elektron Volt</i>
NSCLC	<i>Non-Small Cell Lung Cancer</i>
OAR	<i>Organ At Risk</i>
ORNL	<i>Oak Ridge National Laboratory</i>
PHITS	<i>Particle and Heavy Ion Transport Code System</i>
PNT	<i>Photon-Neutron Therapy</i>
PT	<i>Photon Therapy</i>
PTV	<i>Planning Target Volume</i>
RBE	<i>Relative Biological Effectiveness</i>
TNM	<i>Tumor/ Node/ Metastasis</i>
TPU	<i>Tomsk Polytechnic University</i>
SCLC	<i>Small Cell Lung Cancer</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>