

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	14
I.1. Latar Belakang .....	14
I.2. Perumusan Masalah .....	16
I.3. Batasan Masalah .....	16
I.4. Tujuan Penelitian .....	16
I.5. Manfaat Penelitian .....	16
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	17
II.1. Kelebihan Penggunaan Pion Negatif dalam Radioterapi .....	17
II.2. Sistem Transportasi Pion Negatif .....	17
II.3. Uji Klinis Radioterapi Menggunakan Pion Negatif .....	18
II.4. Perencanaan Radioterapi Pion Negatif .....	18
BAB III DASAR TEORI .....	20
III.1. Pion Negatif .....	20
III.2. Payudara .....	25
III.2.1. Anatomi Payudara .....	25
III.2.2. Kanker Payudara .....	26
III.2.3. Radioterapi Kanker Payudara .....	28
III.3. Siklotron .....	29
III.3.1. Siklotron pada TRIUMF .....	32
III.3.2. Pemilihan Material Target untuk Produksi Pion Negatif .....	33
III.3.3. Produksi Pion Negatif .....	34
III.4. Dosimetri Terapi .....	36
III.5. <i>Particle and Heavy Ions Transport code System (PHITS)</i> .....	38
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN .....	40



IV.1. Alat dan Bahan Penelitian.....	40
IV.2. Tata Laksana Penelitian .....	40
IV.2.1. Pemodelan Sistem Ekstraksi Pion Negatif.....	41
IV.2.2. Simulasi Jangkauan Pion Negatif pada <i>Phantom</i> Air .....	42
IV.2.3. Pemodelan Geometri Phantom ORNL Kanker Payudara .....	43
IV.2.4. Simulasi Penyinaran Radiasi Pion Negatif pada Kanker Payudara ..	45
IV.3. Analisis Hasil Penelitian .....	46
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
V.1. Pemodelan Sistem Ekstraksi Pion Negatif.....	50
V.2. Simulasi Jangkauan Pion Negatif pada Phantom Air.....	53
V.3. Pemodelan Geometri <i>Phantom</i> ORNL Kanker Payudara .....	55
V.4. Simulasi Pion Negatif pada <i>Phantom</i> ORNL dan Target Tumor .....	56
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	64
VI.1. Kesimpulan .....	64
VI.2. Saran .....	64
DAFTAR PUSTAKA .....	65
LAMPIRAN A .....	72
LAMPIRAN B .....	76
LAMPIRAN C .....	80
LAMPIRAN D .....	94



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Format penulisan umum pada PHITS [70] .....	38
Tabel 4. 1. Material penyusun jaringan tubuh [79] .....	44
Tabel 4. 2. Material penyusun jaringan kanker payudara [79] .....	45
Tabel 5. 1. Keluaran sistem ekstraksi .....	52
Tabel 5. 2. Jangkauan pion negatif pada <i>phantom</i> air .....	54
Tabel 5. 3. Hasil dosis pada target penyinaran .....	61
Tabel 5. 4. Dosis serap OAR .....	62
Tabel 5. 5. <i>Dose constraints</i> pada OAR [82][83][84][85][86] .....	62



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1. Ilustrasi riam pion negatif menuju ke inti atom [30].....	21
Gambar 3. 2. Fenomena <i>star event</i> pada interaksi pion negatif [30] .....	22
Gambar 3. 3. <i>Bragg peak</i> dari <i>star event</i> [33].....	23
Gambar 3. 4. <i>Percentage depth-dose</i> untuk masing-masing partikel [35].....	24
Gambar 3. 5. PDD dengan <i>simultaneous multiport pion irradiations</i> [37] .....	25
Gambar 3. 6. Anatomi payudara [39].....	26
Gambar 3. 7. Kanker DCIS menggunakan (A) CT-Scan dan (B) PET [49]....	28
Gambar 3. 8. Ilustrasi volume target [52] .....	29
Gambar 3. 9. Skema siklotron [53] .....	29
Gambar 3. 10. Posisi <i>Dee</i> pada sistem magnet siklotron [55] .....	31
Gambar 3. 11. Siklotron pada TRIUMF [58].....	32
Gambar 3. 12. Grafik hasil <i>sputtering</i> target Be dan W [60] .....	33
Gambar 3. 13. Sistem ekstraksi pion negatif [61] .....	34
Gambar 3. 14. Gambar <i>wedge</i> [62] .....	36
 Gambar 4. 1. Diagram alir tata laksana penelitian .....	41
Gambar 4. 2. Diagram alir pemodelan sistem ekstraksi pion negatif .....	42
Gambar 4. 3. Diagram alir simulasi pion negatif pada <i>phantom</i> air .....	43
Gambar 4. 4. Diagram alir pemodelan geometri <i>phantom</i> ORNL wanita .....	45
Gambar 4. 5. Diagram alir penyinaran pion negatif pada kanker payudara ....	46
 Gambar 5. 1. Grafik fluks pion negatif berdasarkan variasi lebar target .....	50
Gambar 5. 2. Geometri sistem ekstraksi pion negatif .....	51
Gambar 5. 3. Visualisasi dari simulasi sistem ekstraksi pion negatif .....	52
Gambar 5. 4. Jangkauan pion negatif pada air oleh M. R. Raju [30].....	53
Gambar 5. 5. Grafik jangkauan pion negatif hasil simulasi .....	55
Gambar 5. 6. Geometri <i>phantom</i> ORNL wanita dengan tampang sagital (kiri) dan tampang aksial (kanan) .....	56
Gambar 5. 7. Laju dosis efektif simulasi pion negatif pada <i>phantom</i> ORNL payudara dari arah anteroposterior .....	57





Gambar 5. 8. Kurva SOBP dari waktu iradiasi terapi pion negatif.....	58
Gambar 5. 9. Kurva SOBP penyinaran pion negatif setelah proses optimasi..	60
Gambar 5. 10. Perbandingan kurva SOBP pra-optimasi dan pasca-optimasi..	60
Gambar 5. 11. Visualisasi persebaran dosis penyinaran pada penampang sagital (kiri) dan aksial (kanan) .....	61

