

**PERBANDINGAN ANALISA NUMERIK DAN ANALITIK DESAIN  
BUNKER LINAC RSKD KANUDJOSO DJATIWIBOWO KOTA  
BALIKPAPAN**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan sebagai salah satu syarat Teknik Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie**



**BAGAS WICAKSONO**

**1152924002**


**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER  
UNIVERSITAS BAKRIE**

**JAKARTA**

**2020**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama** : Bagas Wicaksono  
**NIM** : 1152924002  
**Tanda Tangan** :   
**Tanggal** : Februari 2020

**HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Bagas Wicaksono  
NIM : 1152924002  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer  
Judul Skripsi : Perbandingan Analisa Numcrik Dan  
Analitik Desain Bunker Linac RSKD  
Kanudjoso Djatiwibowo Kota Balikpapan

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie.**

**DEWAN PENGUJI**

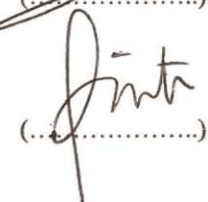
Pembimbing 1 : Dr. M. Ihsan., ST., MT., M.Sc.

  
(.....)

Penguji 1 : Jouvan Chandra P. P., S.T., M.Eng.

  
(.....)

Penguji 2 : Dr. Ir., B.P. Kusumo Bintoro, MBA.

  
(.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : Februari 2020

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN SKRIPSI**

Sebagai sivitas akademik Universitas Bakrie, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bagas Wicaksono  
NIM : 1152924002  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer  
Jenis Tugas Akhir : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Bakrie Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**PERBANDINGAN ANALISA NUMERIK DAN ANALITIK DESAIN BUNKER LINAC  
RSKD KANUDJOSO DJATIWIBOWO KOTA BALIKPAPAN**

Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Bakrie berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai Hak Cipta untuk kepentingan akademis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Dibuat di : Jakarta  
Pada tanggal : Februari 2020

Yang menyatakan



(Bagas Wicaksono)

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT. atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya. Shalawat serta salam juga senantiasa penulis ucapkan kepada junjungan nabi besar Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini berjudul Perbandingan Analisa Numerik dan Analitik Desain Bunker Linac RSKD Kanujoso Djatiwibowo Kota Balikpapan. Tugas Akhir ini disusun sebagai persyaratan tugas akademik yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil Universitas Bakrie, Jakarta.

Penulis menyadari bahwa proses penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, bantuan serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. M. Ihsan, ST., MT.,M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran serta memberikan bimbingan dan dorongan dalam penulisan tugas akhir ini;
2. Prof. Ir. Sofia W. Alisjahbana, M.Sc., Ph.D., selaku Rektor Universitas Bakrie yang telah memberikan banyak dukungan dalam penulisan Tugas Akhir;
3. Dr. Ade Asmi, S.T MSc., selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil Universitas Bakrie yang telah banyak memberikan pengarahan dalam penulisan Tugas Akhir;
4. Bapak Jouvan Chandra P. ST., M.Eng sebagai dosen penguji I dan Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Bakrie yang senantiasa memberikan banyak ilmu pengetahuan, dukungan, serta motivasi dalam penulisan Tugas Akhir ini;

5. Bapak Ir. Bambang Purwoko Kusumo Bintoro., MBA, Dr. selaku dosen penguji II dan Dosen Teknik Sipil Universitas Bakrie yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan, dukungan, dorongan serta arahan selama penulis melakukan Tugas Akhir;
6. Kedua Orang tua dan kakak penulis yang selalu memberi doa, dukungan, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir;
7. Semua dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Bakrie yang telah memberikan banyak ilmu, mendidik, serta memberikan saran dan dukungan;
8. Semua karyawan/staff Teknik Sipil Universitas Bakrie yang telah membantu dan memberi semangat kepada penulis;
9. Dian Anggraeni dan teman-teman seperjuangan angkatan 2015 yang telah memberikan bantuan, semangat, dan dorongan kepada penulis;
10. Semua pihak yang telah membantu penullis selama pembuatan Tugas Akhir, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan dalam Tugas Akhir ini yang disebabkan oleh keterbatasan penulis. Oleh sebab itu, penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran dari pembaca untuk menabahnya wawasan penulis dan menyempurnakan penulisan ini.

Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca yang memerlukannya.

Jakarta, Desember 2019



Penulis

## ABSTRAK

Dalam rangka meningkatkan pelayanan radioterapi, Rumah Sakit Umum Daerah Dr. Kanujoso Djatiwibowo Kota Balikpapan Kalimantan Timur berencana untuk menginstal 2 (dua) pesawat Teleterapi *Linear Accelerator (LINAC ) single energy* 6 MV yang dapat melakukan penyinaran *Image Modulated Radiotherapy (IMRT)*. Sesuai dengan regulasi ketenaganukliran yang berlaku di Indonesia, pesawat teleterapi Linac tersebut harus dipasang di ruangan radioterapi yang telah mendapatkan izin konstruksi dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sesuai peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2013, tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi. Maka batasan bahan yang dapat menahan paparan radiasi, skripsi ini membandingkan antara dokumen perhitungan ketebalan dinding ini yang telah mendapatkan izin oleh BAPETEN sebagai analisa analitik dengan analisa numerik, sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan persetujuan konstruksi dari BAPETEN. Hasil menunjukkan bahwa Pada perhitungan analitik yang mendapatkan izin oleh BAPETEN hanya melihat pada kondisi ideal, tetapi tetap dihasilkan ketebalan yang lebih tinggi/besar dan pada kondisi tidak normal (misalkan kebocoran, kebakaran dll.) dalam analisa numerik menunjukkan kondisi aman keuali bagian atap dengan kekuatan total power dissipation tertinggi sebesar  $10^{15} \text{W/m}^3$  pada dinding primer dan total power dissipation terendah sebesar  $4 \times 10^6 \text{ W/m}^3$  pada dinding sekunder

Key Word: *radioterapi, radiasi, analisa analitik, analisa numeric*

**ABSTRACT**

*In order to improve radiotherapy services, Dr. Regional General Hospital Kanujoso Djatiwibowo City of Balikpapan, East Kalimantan plans to install 2 (two) 6 MV Linear Accelerator (LINAC) single energy planes that can perform Image Modulated Radiotherapy (IMRT) radiation. In accordance with nuclear regulations in force in Indonesia, the Linac teletherapy aircraft must be installed in a radiotherapy room that has obtained a construction permit from the Nuclear Energy Supervisory Agency (BAPETEN) in accordance with BAPETEN Head Regulation No. 3 of 2013, concerning Radiation Safety in the Use of Radiotherapy. Then the limitation of materials that can withstand radiation exposure, this thesis compares the wall thickness calculation documents prepared by BAPETEN as an analytical analysis with numerical analysis, as one of the requirements to get construction approval from BAPETEN. The results show that the analytical calculations carried out by BAPETEN only look at ideal conditions, but still produce a higher thickness / greater and in abnormal conditions (eg leakage, fire, etc.) in numerical analysis shows the safe conditions except for the roof with total power highest dissipation of  $10^{15} \text{ W} / \text{ m}^3$  in primary walls and lowest total dissipation of  $4 \times 10^6 \text{ W} / \text{ m}^3$  of secondary walls*

*Key Word: radiotherapy, radiation, analytical analysis, numerical analysis*



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.5.1 Bagi Mahasiswa .....	3
1.5.2 Bagi Engineers dan Peneliti .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Radiasi .....	5
2.2 Sinar X .....	6
2.3 Linear Accelerator .....	7
2.3.1 Linear Accelerator (LINAC) .....	7
2.3.2 Cara Kerja Linac .....	8
2.4 Radioterapi .....	10
2.5 Studi Literatur .....	10
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	13
3.1 Data Asumsi Linear Accelerator .....	13
3.1.1 Perhitungan Ketebalan Dinding Primer .....	18
3.1.2 Perhitungan Ketebalan Dinding Akibat Hamburan Pasien .....	20
3.1.3 Perhitungan Ketebalan Pintu .....	20
3.1.4 Hamburan Primer dari Dinding ke Pintu .....	21
3.1.5 Hamburan Kebocoran Radiasi Dinding ke Pintu .....	22
3.1.6 Transmisi Kebocoran Radiasi Melalui Dinding <i>Maze</i> .....	22
3.1.7 Perhitungan Dosis Equivalen Gamma dan Neutron Capture .....	23
3.1.8 Perhitungan Skyshine .....	24
3.1.9 Data Perhitungan Ketebalan Dinding Bunker LINAC .....	25
3.2 COMSOL Multiphysics .....	25
3.3 Kerangka Penelitian .....	27
<b>BAB IV ANALISA MODEL DAN PEMBAHASAN</b> .....	28
4.1 Pemodelan Bunker .....	28
4.2 Hasil Analisa Pemodelan .....	32
4.2.1 Hasil Analisa Dinding Primer .....	33
4.2.2 Hasil Analisa Dinding Sekunder .....	37
4.2.3 Hasil Analisa Atap .....	41
4.2.4 Hasil Analisa Potongan Bunker .....	45

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	49
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Eksperimental sinar – X.....	6
Gambar 2.2 LINAC Secara Medik .....	9
Gambar 2.3 Kepala Linac Model Terapi Foton dan Model Terapi Elektron.....	9
Gambar 3.1 Site Plan Bunker .....	15
Gambar 3.2 Denah LINAC .....	16
Gambar 3.3 Potongan Tampak Depan Linac Bunker.....	16
Gambar 3.4 Denah LINAC 2 .....	17
Gambar 3.5 Potongan atap ruangan <i>Linear Accelerator</i> .....	18
Gambar 3.6 Skema Perbandingan Segitiga <i>Phytagoras</i> .....	19
Gambar 3.7 Ilustrasi Skyshine.....	23
Gambar 3.8 Sudut $\Theta$ pada Lapangan Linax 40 x 40 cm.....	24
Gambar 3.9 Contoh simulasi menggunakan COMSOL Multiphysics .....	26
Gambar 4.1 Tahap pemilihan pemodelan .....	28
Gambar 4.2 Pemilihan Studi .....	28
Gambar 4.3 Penambahan Studi .....	28
Gambar 4.4 Pemilihan Studi <i>Heat Transfer</i> .....	29
Gambar 4.5 Pemilihan Satuan Jarak .....	29
Gambar 4.6 Bentuk Pemodelan.....	29
Gambar 4.7 Pemilihan Material .....	30
Gambar 4.8 Penerapan Material Beton pada Pemodelan.....	30
Gambar 4.9 Pemilihan Kualitas <i>Meshing</i> .....	30
Gambar 4.10 Proses <i>Meshing</i> pada Model Bunker .....	31
Gambar 4.11 <i>Electromagnetic Waves</i> .....	31
Gambar 4.12 Pemilihan <i>boundaries</i> .....	31
Gambar 4.13 Hasil Pemodelan.....	32

**DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1 Perolehan Nilai H (nSv/Jam) Dengan Variasi Jarak D .....	24
Tabel 3.2 Hasil Perhitungan Ketebalan Dinding.....	25
Tabel 4.1 Hasil Analisis Dinding Primer (0%).....	33
Tabel 4.2 Hasil Analisis Dinding Primer (25%).....	34
Tabel 4.3 Hasil Analisis Dinding Primer (50%).....	35
Tabel 4.4 Hasil Analisis Dinding Primer (75%).....	36
Tabel 4.5 Hasil Analisis Dinding Sekunder (0%).....	37
Tabel 4.6 Hasil Analisis Dinding Sekunder (25%).....	38
Tabel 4.7 Hasil Analisis Dinding Sekunder (50%).....	39
Tabel 4.8 Hasil Analisis Dinding Sekunder (75%).....	40
Tabel 4.9 Hasil Analisis Atap (0%).....	41
Tabel 4.10 Hasil Analisis Atap (25%).....	42
Tabel 4.11 Hasil Analisis Atap (50%).....	43
Tabel 4.12 Hasil Analisis Atap (75%).....	44
Tabel 4.13 Hasil Analisis Potongan Bunker (0%).....	45
Tabel 4.14 Hasil Analisis Potongan Bunker (25%).....	46
Tabel 4.15 Hasil Analisis Potongan Bunker (50%).....	47
Tabel 4.16 Hasil Analisis Potongan Bunker (75%).....	48