



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**OPTIMASI FAKTOR EKSPOSI TERHADAP KUALITAS
CITRA PADA *COMPUTED RADIOGRAPHY (CR) PHANTOM
THORAX* DI RUMAH SAKIT MILITER MENGGUNAKAN
PROGRAM SIMULASI *aRTist***

ANANDA YESSICA MARGARETHA HUTAGALUNG 320210304002

**Skripsi Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM MILITER
PROGRAM STUDI FISIKA
BOGOR, 2025**



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**OPTIMASI FAKTOR EKSPOSI TERHADAP KUALITAS
CITRA PADA *COMPUTED RADIOGRAPHY (CR) PHANTOM
THORAX* DI RUMAH SAKIT MILITER MENGGUNAKAN
PROGRAM SIMULASI *aRTist***

ANANDA YESSICA MARGARETHA HUTAGALUNG 320210304002

**Skripsi Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM MILITER
PROGRAM STUDI FISIKA
BOGOR, 2025**

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

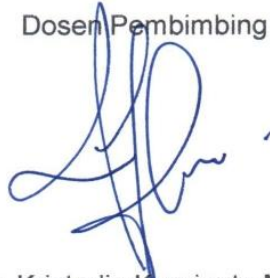
Nama : Ananda Yessica Margaretha Hutagalung
NIM : 320210304002
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Skripsi : Optimasi Faktor Eksposi terhadap Kualitas Citra pada *Computed Radiography* (CR) *Phantom thorax* di Rumah Sakit Militer Menggunakan Program Simulasi *aRTist*

Dosen Pembimbing 1,



Aditya Tri Oktaviana, S.Si, M.Si
NIP. 199210082022031003
Tanggal :

Dosen Pembimbing 2,



Ir. Kristedjo Kurnianto M.Sc.
NIP. 196712261992121001
Tanggal :

Mengetahui,

Kepala Program Studi Fisika



M. Zuhair Piliang, S.Si., M.Eng
Kolonel Tek/NRP. 522657
Tanggal :

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer



Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si.
NIP. 19641002198031002
Tanggal : 11/8-2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Ananda Yessica Margaretha Hutagalung
NIM : 320210304002
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Skripsi : Optimasi Faktor Eksposi terhadap Kualitas Citra pada *Computed Radiography* (CR) Phantom thorax di Rumah Sakit Militer Menggunakan Program Simulasi *aRTist*

No.	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dosen Pembimbing I Aditya Tri Oktaviana, S.Si, M.Si NIP. 199210082022031003		20/7 2025
2.	Dosen Pembimbing II Ir. Kristedjo Kumianto M.Sc. NIP. 196712261992121001		1/7 25
3.	Dosen Penguji I Marsekal Pertama Dr. Ir. Sovian Aritonang, S.Si., M.Si. NRP. 519726		29/7 2025
4.	Dosen Penguji II Raditya Faradina Pratiwi, S.Si., MHC NIP. 199001202022032002		31/7 2025

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi; dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan; kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang-undang yang berlaku.

Bogor, 11 Agustus

2025



Ananda Yessica Margaretha Hutagalung

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Pertahanan Republik Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ananda Yessica Margaretha Hutagalung

NIM 320210304002

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer

Jenis Karya : Skripsi

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

Optimasi Faktor Eksposi terhadap Kualitas Citra pada *Computed Radiography* (CR) *Phantom Thorax* di Rumah Sakit Militer Menggunakan Program Simulasi *aRTist*

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Bogor

Pada tanggal : 11 Agustus 2025

Yang menyatakan

Ananda Yessica Margaretha Hutagalung
NIM. 320210304002

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan YME karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulisan skripsi dengan judul “Optimasi Faktor Eksposi terhadap Kualitas Citra pada *Computed Radiography* (CR) *Phantom Thorax* di Rumah Sakit Militer Menggunakan Program Simulasi *aRTist*” dapat diselesaikan.

Penyusunan skripsi ini ditujukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer Universitas Pertahanan RI.

Penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Letnan Jenderal TNI (Purn.) Dr. Anton Nugroho, M.M.D.S., M.A., selaku Rektor Universitas Pertahanan.
2. Bapak Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer Universitas Pertahanan.
3. Bapak Kolonel Tek M. Zuhnir Piliang, S.Si., M.Eng selaku Kepala Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer Universitas Pertahanan RI sekaligus pembimbing akademik yang telah memberikan masukan kepada penulis.
4. Bapak Aditya Tri Oktaviana, S.Si, M.Si, selaku pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, dan dukungan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Ir. Kristedjo Kurnianto M.Sc., selaku Kepala Kelompok Riset (KR) Teknologi Berkas Foton, Pusat Riset Teknologi Analisis Berkas Nuklir (PRTABN) BRIN sekaligus pembimbing kedua program Tugas Akhir penulis pada saat melaksanakan penelitian di BRIN.

6. Bapak Andeka Tri Susanto, selaku Periset PRTABN BRIN sekaligus pembimbing yang telah memberikan arahan kepada penulis selama penelitian.
7. Bapak Marsekal Pertama Dr. Ir. Sovian Aritonang, S.Si., M.Si., selaku penguji pertama yang telah memberikan masukan kepada penulis.
8. Ibu Raditya Faradina Pratiwi, S.Si., MHC., selaku penguji kedua yang telah memberikan masukan kepada penulis.
9. Bapak Manca Hutagalung, Ibu Lamretta Romauli Doloksaribu dan Rein Yosua Yehezkiel, kedua orang tua penulis dan seluruh keluarga dan kerabat penulis yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik moral dan materiil.
10. Teman – teman Prodi Fisika dan seluruh *cohort-2* angkatan Nara Dyaviksatra yang selalu memberikan dukungan kepada penulis selama melaksanakan penelitian.

Semoga Tuhan YME membalas kebaikan – kebaikan berbagai pihak atas bantuannya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu dan teknologi sehingga dapat bermanfaat bagi stakeholder terkait.

Bogor, 11 Agustus 2025



Ananda Yessica Margaretha Hutagalung

ABSTRAK

Optimasi Faktor Eksposi terhadap Kualitas Citra pada *Computed Radiography (CR) Phantom Thorax* di Rumah Sakit Militer Menggunakan Program Simulasi *aRTist*

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan parameter eksposi terhadap kualitas citra pada prosedur *Computed Radiography (CR) thorax* menggunakan perangkat lunak simulasi *aRTist*. Simulasi dilakukan dengan memodelkan sistem CR dan phantom thorax berbasis anatomi manusia dewasa Asia. Model 3D ini dirancang untuk merepresentasikan kondisi klinis secara realistis. Lima variasi faktor eksposi yang umum digunakan di fasilitas radiologi dipilih, yaitu: 55 kV / 10 mAs, 65 kV / 8 mAs, 75 kV / 4 mAs, 85 kV / 2 mAs, dan 95 kV / 1 mAs. Penilaian kualitas citra dilakukan dengan metode kuantitatif menggunakan parameter *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dan *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR) pada lima area *Region of Interest* (ROI) penting dalam citra thorax posteroanterior. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan tegangan tabung (kV) menghasilkan peningkatan nilai SNR namun menurunkan CNR. Sementara itu, peningkatan arus-waktu (mAs) memberikan peningkatan linier terhadap SNR dan CNR hingga titik optimal. Kombinasi parameter 65 kV dan 8 mAs menunjukkan hasil kualitas citra paling optimal dengan keseimbangan antara ketajaman dan kontras visual. Diskusi menunjukkan bahwa pendekatan simulatif mampu mengevaluasi kualitas pencitraan tanpa paparan langsung terhadap pasien. Kesimpulannya, program simulasi *aRTist* terbukti efektif secara teknis dan edukatif untuk menentukan parameter eksposi optimal dalam radiografi thorax berbasis CR. Simulasi ini mendukung implementasi prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) serta membantu pengambilan keputusan dalam praktik klinis yang efisien dan aman.

Kata kunci : *Computed Radiography, aRTist, phantom thorax, SNR, CNR, radiasi, optimasi eksposi.*

ABSTRACT

Optimization of Exposure Factors for Image Quality in Thorax Phantom Computed Radiography (CR) at a Military Hospital Using the aRTist Simulation Program

This study aims to optimize exposure parameters affecting image quality in thoracic Computed Radiography (CR) procedures using the simulation software aRTist. The simulation modeled a CR system and a thorax phantom designed to resemble the anatomical structure of an adult Asian male. The 3D model was created to realistically represent clinical conditions. Five exposure variations commonly used in radiology departments were tested: 55 kV / 10 mAs, 65 kV / 8 mAs, 75 kV / 4 mAs, 85 kV / 2 mAs, and 95 kV / 1 mAs. Image quality was quantitatively assessed using Signal-to-Noise Ratio (SNR) and Contrast-to-Noise Ratio (CNR) across five key Regions of Interest (ROIs) on posteroanterior thorax images. Results indicate that increasing tube voltage (kV) tends to improve SNR while reducing CNR. Conversely, increasing milliampere-seconds (mAs) leads to linear improvements in both SNR and CNR up to an optimal point. The 65 kV and 8 mAs setting provided the most balanced image quality in terms of clarity and contrast. The findings confirm that a simulation-based approach can effectively evaluate image quality without subjecting patients to direct radiation exposure. In conclusion, the aRTist simulation program proves effective both technically and educationally in determining optimal exposure parameters for thoracic CR imaging. This simulation supports the implementation of the ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principle and aids clinical decision-making in a safe and efficient manner.

Keywords: *Computed Radiography, aRTist, thorax phantom, SNR, CNR, radiation dose, exposure optimization.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR BAGAN.....	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Manfaat Teoritis	4
1.4.2 Manfaat Praktis	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Landasan Teori.....	6
2.1.1 Sinar-X	6
2.1.2 Computed Radiography (CR).....	8
2.1.3 Imaging Plate (IP).....	9
2.1.4 Kaset Imaging Plate (IP)	10
2.1.5 Digitizer dan Sistem Komputer.....	10

2.1.6	Printer	11
2.1.7	Pemeriksaan Thorax Poste Anterior (PA)	11
2.1.8	Phantom Thorax.....	12
2.1.9	Tegangan Tabung (kV)	14
2.1.10	Arus Tabung (mA).....	15
2.1.11	Waktu Ekspos (s)	15
2.1.12	Signal to Noise Ratio (SNR).....	16
2.1.13	Contrast to Noise Ratio (CNR).....	16
2.1.14	Program Simulasi aRTist	17
2.2	Hasil Penelitian Terdahulu.....	19
2.3	Kerangka Berpikir	23
2.4	Hipotesis	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	Metode dan Desain Penelitian.....	25
3.1.1	Desain Eksperimen	25
3.1.1.1	Simulasi Phantom Thorax	25
3.1.1.2	Simulasi Alat Computed Radiography (CR)	29
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.3	Alat dan Bahan	32
3.4	Variabel Penelitian.....	33
3.4.1	Variabel Bebas	33
3.4.2	Variabel Terikat	33
3.4.3	Variabel Kontrol.....	33
3.5	Prosedur Penelitian	33
3.6	Metode Analisis	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Hasil Penelitian.....	36
4.1.1	Hasil Citra Computed Radiography (CR) Phantom thorax pada Program Simulasi aRTist	36
4.1.2	Hasil Penilaian Kualitas Citra	41
4.2	Pembahasan.....	42
4.2.1	Variasi Tegangan Tabung.....	42

4.2.2 Variasi Tegangan Arus Waktu.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	54



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tabung Sinar-X	7
Gambar 2. 2 Sistem pencitraan pada Computed Radiography (CR)	9
Gambar 2.3 Posisi Pemeriksaan Radiografi Posteroanterior (PA)	12
Gambar 2.4 Diagram alir kerangka berpikir	23
Gambar 3.1 (A) Fitur untuk menentukan material pada program aRTist; (B) Fitur Setup untuk menginput bagian organ phantom	27
Gambar 3.2 Tampilan pemodelan phantom thorax yang terdiri dari kulit, tulang, paru-paru dan jantung	28
Gambar 3.3 Simulasi penyinaran Computed Radiography (CR)	30
Gambar 3. 4 Spesifikasi program simulasi aRTist	32
Gambar 4.1 Sampel 1 (55 kV dan 10 mAs)	36
Gambar 4.2 Sampel 2 (65 kV dan 8 mAs)	37
Gambar 4.3 Sampel 3 (75 kV dan 4 mAs)	38
Gambar 4.4 Sampel 4 (85 kV dan 2 mAs)	39
Gambar 4.5 Sampel 5 (95 kV dan 1 mAs)	40
Gambar 4.6 Hubungan Variasi Tegangan Tabung (kV) dengan SNR.....	42
Gambar 4.7 Hubungan Variasi Tegangan Tabung (kV) dengan CNR.....	43
Gambar 4.8 Hubungan Variasi Arus Waktu (mAs) dengan SNR.....	44
Gambar 4.9 Hubungan Variasi Arus Waktu (mAs) dengan CNR	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	19
Tabel 3.1 Densitas Organ dan Material yang Didefinisikan	26
Tabel 3.2 Spesifikasi Computed Radiography (CR)	29
Tabel 3.3 Variasi faktor eksposi pada Phantom thorax.....	30
Tabel 3.4 Rincian Waktu Penelitian Tugas Akhir	31
Tabel 3.5 Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian.....	32
Tabel 4.1 Hasil Analisis Data Sampel 1	36
Tabel 4.2 Hasil Analisis Data Sampel 2	37
Tabel 4.3 Hasil Analisis Data Sampel 3	38
Tabel 4.4 Hasil Analisis Data Sampel 4	39
Tabel 4.5 Hasil Analisis Data Sampel 5	40
Tabel 4.6 Hasil Penilaian Kualitas Citra	41



DAFTAR BAGAN

Bagan 2.1 Diagram alir kerangka berpikir	23
Bagan 3.1 Diagram alir prosedur penelitian	34



DAFTAR SINGKATAN



ALARA	: <i>As Low As Reasonably Achievable</i>
aRTist	: <i>Analytical Radiographic Testing Inspection Simulation Tool</i>
CNR	: <i>Contrast to Noise Ratio</i>
CR	: <i>Computed Radiography</i>
DR	: <i>Digital Radiography</i>
IAEA	: <i>International Atomic Energy Agency</i>
IP	: <i>Imaging Plate</i>
PA	: <i>Posteroanterior</i>
PSP	: <i>Photostimulable Phosphor</i>
ROI	: <i>Region of Interest</i>
SNR	: <i>Signal to Noise Ratio</i>
STL	: <i>Standard Tessellation Language</i>