



**UNIVERSITAS PERTAHANAN RI**

**SIMULASI PENINGKATAN KEMAMPUAN PROTEKSI  
KENDARAAN TAKTIS 4X4 DARI RADIASI SENJATA  
NUKLIR  
MENGUNAKAN PAKET PROGRAM *MONTE CARLO N-  
PARTICLE 6 (MCNP 6)***

**RULY GUMILAR**

**120190403009**



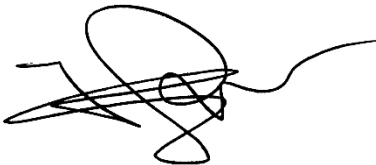
**Tesis yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam  
Mendapatkan Gelar Magister Pertahanan**

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN  
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PERSENJATAAN**





**JAKARTA**

**2021**

## LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

<p>Nama : Ruly Gumilar NIM : 120190403009 Program Studi : Teknologi Persenjataan Fakultas : Fakultas Teknologi Pertahanan Judul Tesis : Simulasi Peningkatan Kemampuan Proteksi Kendaraan Taktis 4x4 dari Radiasi Senjata Nuklir menggunakan Paket Program Monte Carlo N-Particle (MCNP 6)</p>	
<p>Pembimbing I,</p>  <p>Brigjen TNI Dr. Ir. Pujo Widodo, S.E, S.H., S.T., M.A., M.Si.,MDS., M.Si(Han). <b>Tanggal:</b> 21 Oktober 2021</p>	<p>Pembimbing II,</p>  <p>Dr. Mas Ayu Elita Hafizah, S.Si., M.Si. <b>Tanggal:</b> 21 Oktober 2021</p>
<p>Mengetahui, Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan</p>  <p>Laksamana Muda TNI Dr. Kasih Prihantoro, SE., M.M., M.Tr (Han) <b>Tanggal:</b> Oktober 2021</p>	

### LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Nama	: Ruly Gumilar		
NIM	: 120190403009		
Program Studi	: Teknologi Persenjataan		
Fakultas	: Fakultas Teknologi Pertahanan		
Judul Tesis	: Simulasi Peningkatan Kemampuan Proteksi Kendaraan Taktis 4x4 dari Radiasi Senjata Nuklir menggunakan Paket Program Monte Carlo N-Particle (MCNP 6)		
No.	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Pembimbing I: Brigjen TNI Dr. Ir. Pujo Widodo, S.E, S.H., S.T., M.A., M.Si.,MDS., M.Si(Han).		21 Oktober 2021
2.	Pembimbing II: Dr. Mas Ayu Elita Hafizah, S.Si., M.Si.		21 Oktober 2021
3.	<i>Reviewer I:</i> Dr. Yayat Ruyat, M.Eng.		21 Oktober 2021
4.	<i>Reviewer II:</i> Dr. Hendrana Tjahjadi, S.T., M.Si.		21 Oktober 2021
5.	<i>Reviewer III:</i> Dr. Maykel T E Manawan, S.Si., M.Si.		21 Oktober 2021

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis/disertasi 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 terdapat plagiat dalam tesis ini saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang undang yang berlaku.

Jakarta, Oktober 2021



Ruly Gumilar

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penyusunan tesis dengan judul: **“Simulasi Peningkatan Kemampuan Proteksi Kendaraan Taktis 4x4 dari Radiasi Senjata Nuklir menggunakan Paket Program Monte Carlo N-Particle (MCNP 6)”** dapat diselesaikan.

Penyusunan tesis ini ditujukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknologi Persenjataan Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan RI.

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

1. Rektor Universitas Pertahanan, Bapak Laksamana Madya TNI Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., DESD.
2. Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan, Bapak Laksamana Muda TNI Dr. Kasih Prihantoro, SE., M.M., M.Tr (Han).
3. Bapak Brigjen TNI Dr. Ir. Pujo Widodo, S.E, S.H., S.T., M.A., M.Si., MDS., M.Si(Han). selaku Pembimbing I.
4. Ibu Dr. Mas Ayu Elita Hafizah, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing II.
5. Bapak Kol. Arh. Dr. R. Djoko Andreas Navalino, S.IP., M.AB, Sesprodi Teknologi Persenjataan
6. Para penguji sidang dari proposal hingga ujian tesis, atas bimbingan dan masukannya.
7. Bapak dan Ibu jajaran PT. Pindad Persero yang sudah mengizinkan penulis melakukan penelitian.
8. Seluruh bapak dan ibu dosen serta staff Teknologi Persenjataan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan.
9. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan.

10. Teman-teman seperjuangan, mahasiswa Teknologi Persenjataan Cohort III, mahasiswa Fakultas Teknologi Pertahanan, serta mahasiswa Universitas Pertahanan Cohort XI.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa membalas kebaikan – kebaikan berbagai pihak atas bantuannya.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih kuruang sempurna, oleh karena itu dengan kerendahan hati mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan tesis ini.

Akhirnya, Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat terhadap perkembangan ilmu pertahanan dan *stakeholder* terkait dalam upaya peningkatan teknologi pertahanan.

Jakarta, Oktober 2021



Ruly Gumilar

## ABSTRAK

# **SIMULASI PENINGKATAN KEMAMPUAN PROTEKSI KENDARAAN TAKTIS 4X4 DARI RADIASI SENJATA SENJATA NUKLIR MENGUNAKAN PAKET PROGRAM *MONTE CARLO N- PARTICLE 6 (MCNP 6)***

**RULY GUMILAR**

Kendaraan taktis 4x4 merupakan salah satu kendaraan Tentara Nasional Indonesia (TNI) yang memiliki fungsi untuk memobilisasi personil, sehingga harus memiliki kemampuan proteksi yang baik dalam setiap skenario ancaman. Dalam skenario darurat nuklir terdapat ancaman radiasi dari senjata nuklir, kendaraan taktis 4x4 yang dimiliki Indonesia belum dilengkapi dengan sistem proteksi dari radiasi senjata nuklir, maka untuk meningkatkan keamanan personil dalam melakukan operasi dibutuhkan peningkatan kemampuan proteksi kendaraan dari ancaman tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas peningkatan kemampuan proteksi kendaraan taktis 4x4 dalam menahan radiasi senjata nuklir. Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan *software Monte Carlo N-Particle 6 (MCNP 6)* untuk menghitung *Radiation Protection Factor (RPF)* pada sampel bodi baja sebagai referensi dan baja dengan paduan timbal. Simulasi dilakukan menggunakan dua sumber radiasi neutron pada rentang energi  $2.5E-8 - 10$  MeV dan gamma pada rentang energi  $0.01 - 10$  MeV. Hasil penelitian dengan sumber radiasi neutron pada rentang energi  $2.5E-8 - 0.01$  MeV menunjukkan nilai RPF  $1.14 \pm 0.011$  dan pada rentang energi  $0.1 - 10$  MeV nilai RPF  $1.75 \pm 0.010$ . Hasil penelitian dengan sumber gamma pada rentang energi  $0.001 - 0.08$  MeV nilai RPF  $41.68 \pm 0.026$  dan pada rentang energi  $0.1 - 10$  MeV nilai RPF  $4.478 \pm 0.010$ . Penambahan timbal pada bodi kendaraan mampu meningkatkan faktor proteksi terhadap radiasi neutron sebesar  $1 - 3 \%$  dan radiasi gamma sebesar  $3 - 16 \%$ , hasil ini terdeteksi dengan baik dengan validasi kesalahan kurang dari  $5\%$ .

Kata kunci: Kendaraan taktis 4x4, proteksi radiasi, radiasi gamma, radiasi neutron.

**ABSTRACT**  
**SIMULATION OF INCREASING THE PROTECTION CAPABILITY OF  
TACTICAL 4X4 VEHICLES FROM NUCLEAR WEAPON RADIATION  
USING PROGRAM PACKAGE OF MONTE CARLO N-PARTICLE 6  
(MCNP 6)**

**RULY GUMILAR**

The tactical 4x4 vehicle is one of the TNI vehicles that has the function to mobilize personnel, so it must have good protection capabilities in every threat scenario. In a nuclear emergency scenario there is a threat of radiation of nuclear weapons, tactical 4x4 vehicles owned by Indonesia are not equipped with a protection system from radiation of nuclear weapons, so to increase the security of personnel in carrying out operations, increasing the protection capability of vehicle from these threats is needed. This study aims to analyze the effectiveness of increasing the protection capability tactical 4x4 vehicle in radiation shielding of nuclear weapons. The research was carried out by simulation using Monte Carlo N-Particle 6 (MCNP 6) to calculate the Radiation Protection Factor (RPF) of the steel body sample as a reference and lead-steel alloy. Simulations were carried out using two sources of neutron radiation in the energy range of 2.5E-8 – 10 MeV and gamma in the energy range of 0.01 - 10 MeV. The results of the study with a neutron radiation source in the energy range 2.5E-8 – 0.01 MeV showed the RPF value of  $1.14 \pm 0.011$  and in the energy range of 0.1 – 10 MeV the RPF value of  $1.75 \pm 0.010$ . The results of the study with a gamma source in the energy range of 0.001 – 0.08 MeV RPF value of  $41.68 \pm 0.026$  and in the energy range of 0.1 – 10 MeV the RPF value of  $4.478 \pm 0.010$ . The addition of lead in the vehicle body is able to increase the protection factor against neutron radiation by 1-3% and gamma radiation by 3-16%, these results were detected good agreement with a validation error less than 5%.

Keywords: tactical 4x4 vehicle, radiation protection, gamma radiation, neutron radiation.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS .....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Pembatasan Masalah .....	3
1.4 Rumusan Masalah .....	4
1.5 Tujuan Penelitian .....	4
1.6 Manfaat Penelitian .....	4
1.6.1 Manfaat Teoritis .....	4
1.6.2 Manfaat Praktis .....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Landasan Teori .....	5
2.1.1 Pertahanan Negara .....	5
2.1.2 Reaksi Nuklir .....	6
2.1.3 Radiasi .....	7
2.1.3.1 Radiasi Non-pengion .....	7
2.1.3.2 Radiasi Pengion .....	8
2.1.4 Kendaraan Taktis 4x4 .....	10
2.1.5 <i>Radiation Protection Factor</i> (RPF) .....	13
2.1.6 Monte Carlo .....	14
2.1.6.1 Metode Monte Carlo .....	14

2.1.6.2	Komponen Pembentuk Monte Carlo .....	15
2.1.6.3	Program MCNP (Monte Carlo N-Particle).....	16
2.1.6.4	Stuktur Utama Input MCNP .....	19
2.1.7	Visual Editor (Vised) .....	24
2.2	Hasil Penelitian Terdahulu.....	25
2.3	Kerangka Berpikir .....	31
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
3.1	Metode Penelitian.....	32
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian .....	32
3.3	Sampel Penelitian.....	33
3.4	Teknik Pengumpulan Data .....	33
3.4.1	Inisiasi Model dan Simulasi.....	33
3.4.1	Pengolahan Data.....	35
3.5	Instrumen Penelitian .....	35
3.6	Teknik Analisa Data .....	35
<b>BAB 4</b>	<b>DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>36</b>
4.1	Deskripsi Data.....	36
4.1.1	Skenario Detonasi Senjata Nuklir .....	36
4.1.2	Kendaraan Taktis 4x4 .....	39
4.1.3	Spesifikasi Material.....	40
4.1.3.1	Baja .....	40
4.1.3.2	Baja dengan Penambahan Pb .....	41
4.1.3.3	Area Deteksi .....	42
4.1.4	<i>Quality Factor Energy-dependent ( <math>Q_n/Q_\gamma</math> )</i> .....	42
4.2	Hasil Pengumpulan Data .....	43
4.2.1	Model Visual Dua (2D) dan Tiga Dimensi (3D) .....	44
4.2.2	Hasil Simulasi Paparan Radiasi .....	46
4.2.2.1	Hasil Deteksi Tanpa Bodi Baja.....	47
4.2.2.2	Hasil Deteksi pada Pusat Bodi Baja.....	49
4.2.2.3	Hasil Deteksi pada pusat Bodi Baja+Pb .....	51
4.3	Hasil Pengolahan Data.....	53

4.3.1 Dosis Ekuivalen <i>Unshielded</i> .....	53
4.3.2 Dosis Ekuivalent <i>Shielded</i> .....	55
4.3.3 Dosis Ekuivalen <i>Shielded</i> + Pb .....	56
4.3.4 Kinerja Baja sebagai Bodi Kendaraan Taktis 4x4 dalam Menahan Radiasi .....	58
4.3.4.1 RPF Sumber Radiasi Neutron.....	59
4.3.4.2 RPF Sumber Radiasi <i>Gamma</i> .....	60
4.4 Pembahasan.....	60
4.4.1 Kinerja Baja sebagai Bodi Kendaraan Taktis 4x4 dalam Menahan Radiasi .....	62
4.4.1.1 RPF Sumber Radiasi Neutron.....	62
4.4.1.2 RPF Sumber Radiasi <i>Gamma</i> .....	67
4.4.2 Validasi Data.....	71
4.4.2.1 Simulasi MCNP .....	71
4.4.2.2 RPF Radiasi Neutron dan <i>Gamma</i> .....	72
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran .....	76
5.2.1 Saran Teoritis.....	76
5.2.2 Saran Praktis .....	76
DAFTAR PUSTAKA .....	78
LAMPIRAN .....	87
RIWAYAT HIDUP PENELITI .....	88

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Reaksi fisi berantai.....	6
Gambar 2. 2 Gelombang elektromagnetik .....	10
Gambar 2. 3 Kendaraan M1135 dengan sistem proteksi NBC .....	12
Gambar 2. 4 Skema perkembangan paket program MCNP .....	16
Gambar 2. 5 Mekanisme jejak acak peristiwa sebuah partikel neutron di MCNP .....	17
Gambar 2. 6 Tampilan awal Visual Editor (Vised) versi X 22S. ....	25
Gambar 3. 1 Teknik Pengumpulan Data .....	34
Gambar 4. 1 Skenario detonasi senjata nuklir dengan <i>yield</i> 20 Kiloton (Kt), area 1 radius <i>fireball</i> , 2 radius <i>heavy balst damage</i> , 3 radius radiasi, 4 radius <i>moderate blast damage</i> , 5 radius radiasi termal, 6 radius <i>light blast damage</i> dan 7 jangkauan radiasi <i>fallout</i> .....	36
Gambar 4. 2 Jangkauan maksimum <i>fallout</i> , panah merah jangkauan jarak maksimum dari target detonasi .....	38
Gambar 4. 3 <i>Mushroom cloud</i> dengan <i>altitude</i> 7.21 km, <i>head diameter</i> 5.19 km, ketinggian <i>height</i> 3.38 km.....	39
Gambar 4. 4 Dimensi acuan bodi kendaraan taktis 4x4, bagian atas tampak depan, tengah tampak atas dan bawah tampak samping .....	40
Gambar 4. 5 Jarak sumber terhadap baja .....	44
Gambar 4. 6 Model 2D, a) tampilan secara keseluruhan area interaksi partikel dengan lingkaran batas maksimum, kotak tengah bodi baja kendaraan, area deteksi pada pusat lingkaran dan biru <i>cyan</i> udara, b) tampilan baja kendaraan berwarna oranye, area deteksi persegi panjang dominasi berwarna merah dan udara berwarna <i>cyan</i> .....	45
Gambar 4. 7 Model 3D, a) tampilan secara keseluruhan, b) tampilan baja bodi kendaraan .....	46

Gambar 4. 8 Tampilan visual interaksi partikel radiasi berwarna merah dan bod baja berbentuk kotak.....	47
Gambar 4. 9 Dosis ekuivalen neutron pada pusat pengamatan terhadap paparan radiasi neutron, (a) hasil peneliti, (b) publikasi ICRP .....	63
Gambar 4. 10 NPF terhadap paparan radiasi neutron .....	65
Gambar 4. 11 Dosis ekuivalen gamma pada pusat pengamatan terhadap paparan radiasi gamma, (a) hasil peneliti, (b) publikasi ICRP .....	67
Gambar 4. 12 GPF bodi baja kendaraan taktis 4x4 terhadap paparan radiasi gamma .....	70
Gambar 4. 13 Interaksi partikel radiasi pada bodi baja kendaraan taktis 4x4 pada sumbu x-z.....	73

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Distribusi Energi Per Fisi.....	7
Tabel 2. 2 Susunan kartu pada input MCNP.....	19
Tabel 2. 3 Struktur <i>cell cards</i> .....	21
Tabel 2. 4 Kata kunci parameter yang sering digunakan .....	21
Tabel 2. 5 Kartu Permukaan .....	22
Tabel 2. 6 Mode partikel .....	22
Tabel 2. 7 Kaidah penulisan data material.....	23
Tabel 2. 8 Penelitian Terdahulu .....	29
Tabel 3. 1 Waktu Penelitian .....	32
Tabel 4. 1 <i>Mechanical properties</i> baja .....	40
Tabel 4. 2 Komposisi kimia baja .....	41
Tabel 4. 3 Komposisi kimia baja dengan penambahan Pb .....	42
Tabel 4. 5 <i>Quality factor</i> berdasarkan energi neutron dan <i>gamma</i> yang digunakan .....	43

Tabel 4. 6 Data <i>unshielded absorbed dose neutron</i> pada area pengamatan .....	47
Tabel 4. 7 Data <i>unshielded absorbed dose gamma</i> pada area pengamatan .....	48
Tabel 4. 8 Data <i>shielded absorbed dose neutron</i> tanpa Pb pada area pengamatan .....	49
Tabel 4. 9 Data <i>shielded absorbed dose gamma</i> tanpa Pb pada area pengamatan .....	50
Tabel 4. 10 Data <i>shielded absorbed dose neutron</i> dengan tambahan Pb pada area pengamatan .....	51
Tabel 4. 11 Data <i>shielded absorbed dose gamma</i> dengan tambahan Pb pada area pengamatan .....	52
Tabel 4. 12 Dosis ekuivalen <i>unshielded neutron</i> pada area deteksi .....	53
Tabel 4. 13 Dosis ekuivalen <i>unshielded gamma</i> pada area deteksi .....	54
Tabel 4. 14 Dosis ekuivalen <i>shielded neutron</i> pada area deteksi ...	55
Tabel 4. 15 Dosis ekuivalen <i>shielded gamma</i> pada area deteksi ...	56
Tabel 4. 16 Dosis ekuivalen <i>shielded+Pb neutron</i> pada area deteksi .....	57
Tabel 4. 17 Dosis ekuivalen <i>shielded+Pb dose gamma</i> pada area deteksi .....	58
Tabel 4. 18 NPF <i>shielded</i> dan NPF <sub>Pb</sub> <i>shielded+Pb</i> .....	59
Tabel 4. 19 GPF <i>shielded</i> dan GPF <sub>Pb</sub> <i>shielded +Pb</i> .....	60