



UNIVERSITAS PERTAHANAN REPUBLIK INDONESIA

**KARAKTERISTIK SENSITIVITAS DAN ENERGETIK
PROPELAN KOMPOSIT RENDAH ASAP DENGAN
CYCLOTRIMETHYLENE TRINITRAMINE (RDX)
BERDASARKAN KESEIMBANGAN TERMOKIMIA
PEMBAKARAN DALAM UPAYA MENDUKUNG
PENGEMBANGAN ROKET PERTAHANAN**

**KHEVINADYA RAMADHANI RUNTU
120210403003**

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






**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI PERTAHANAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PERSENJATAAN**

**BOGOR
2023**

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

Nama	: Khevinadya Ramadhani Runtu
NIM	: 120210403003
Program Studi	: Teknologi Persenjataan
Fakultas	: Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan
Judul Proposal Tesis	: Karakteristik Sensitivitas dan Energetik Propelan Komposit Rendah Asap dengan <i>Cyclotrimethylene Trinitramine</i> (RDX) Berdasarkan Keseimbangan Termokimia Pembakaran dalam Upaya Mendukung Pengembangan Roket Pertahanan
Pembimbing I,	Pembimbing II,
	
Prof. Dr. Ir. Heri Budi Wibowo, M.T NIDN: 8933340022	Dr. Mas Ayu Elita Hafizah, S.Si., M.Si NIDN: 0326107605
Tanggal: 09 Februari 2023	Tanggal: 11 Februari 2023
Mengetahui Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan	
	
Dr. Ir. I Nengah Putra A, S.T., M.Si (Han), ASEAN Eng., ACPE., CIPA Laksamana Muda TNI	
Tanggal 14 Februari 2023	


LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Nama	: Khevinadya Ramadhani Runtu		
NIM	: 120210403003		
Program Studi	: Teknologi Persenjataan		
Fakultas	: Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan		
Judul Proposal Tesis	: Karakteristik Sensitivitas dan Energetik Propelan Komposit Rendah Asap dengan <i>Cyclotrimethylene Trinitramine</i> (RDX) Berdasarkan Keseimbangan Termokimia Pembakaran dalam Upaya Mendukung Pengembangan Roket Pertahanan		
No.	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Pembimbing I: Prof. Dr. Ir. Heri Budi Wibowo, M.T NIDN: 8933340022		02/23
2.	Pembimbing II: Dr. Mas Ayu Elita Hafizah, S.Si., M.Si NIDN: 0326107605		11/01-23
3.	<i>Reviewer I:</i> Dr. Yayat Ruyat, M.Eng NIDN: 4728107591		03/01-23
4.	<i>Reviewer II:</i> Dr. Robertus Heru Triharjanto, M.Sc NIDK. 8933610021		05/02-23
5.	<i>Reviewer III:</i> Dr. Gunaryo, S.T., M.T Kolonel Teknik/NRP. 524384		06/02-23

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis 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 di kemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam tesis ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang-undang yang berlaku.

Februari 2023

Khevinadya Ramadhani Runtu

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penyusunan tesis dengan judul: **"Karakteristik Sensitivitas dan Energetik Propelan Komposit Rendah Asap dengan *Cyclotrimethylene Trinitramine* (RDX) Berdasarkan Keseimbangan Termokimia Pembakaran dalam Upaya Mendukung Pengembangan Roket Pertahanan"** dapat diselesaikan.

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

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

1. Bapak Laksamana Madya TNI Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., DESD., CIQnR., CIQaR., IPU selaku rektor Universitas Pertahanan RI.
2. Bapak Laksamana Muda TNI Dr. Ir. I Nengah Putra A, S.T., M.Si (Han)., ASEAN Eng., ACPE., CIPA selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan RI.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Heri Budi Wibowo, M.T selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, nasehat dan dorongan moril kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini sebagai tugas akhir.
4. Ibu Dr. Mas Ayu Elita Hafizah, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, nasehat dan dorongan moril kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini sebagai tugas akhir.
5. Bapak Kolonel Laut (PM) Dr. Drs. Luthfi Adin Affandi, M.M selaku Sesprodi Teknologi Persenjataan.

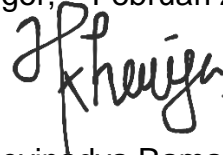
6. Para staff peneliti Pustekroket ORPA, khususnya staff Laboratorium Insulasi Termal dan HTPB, yang telah membimbing dan memberikan waktunya dalam membantu penulis selama melaksanakan penelitian.
7. Kedua Orang tua (Hesmaini Wensi dan Bernardus F Runtu), Adik (Diaz Maharani Runtu), dan keluarga yang telah memberikan dukungan yang luar biasa, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Universitas Pertahanan RI.
8. Seluruh Dosen pengajar Program Studi Teknologi Persenjataan Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan yang telah banyak membantu penulis selama proses belajar dan penyusunan tesis ini.
9. Mbak Asfari Azka Fadhilah, M.Han selaku Staff prodi Teknologi Persenjataan yang telah memberikan semangat, dukungan dan membantu penulis dalam perkuliahan dan menyelesaikan tugas akhir.
10. Para rekan-rekan Prodi Teknologi Persenjataan Cohort 5 (Mbak Wahyu, Azhar, Achmad, Taufik, dan Bapak Hudoro) yang selalu memberikan semangat serta dukungan kepada penulis sehingga tesis ini dapat diselesaikan.
11. Para senior Teknologi Persenjataan yang telah memberikan bantuan literatur dan masukan dalam membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
12. Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan dan teman seperjuangan Unhan cohort XIII.
13. Sahabatku Dian Hutami Wahyudi, terima kasih atas segala bantuan dan dukungannya sampai saat ini.
14. Semua pihak yang telah memberikan bantuan, masukan, serta dukungan bagi penulis hingga selesainya penyusunan tesis ini.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan-kebaikan berbagai pihak atas kebaikan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih kurang sempurna, sehingga dengan kerendahan hati dan niat yang tulus, penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan tesis ini.

Akhirnya, semoga tesis ini dapat memberikan manfaat terhadap perkembangan bagi ilmu pertahanan, teknologi pertahanan dan diharapkan mampu memberikan referensi di lembaga penelitian ORPA-BRIN Indonesia di bidang pengembangan propelan komposit padat untuk mendukung penguasaan roket pertahanan dalam mencapai kemandirian industri pertahanan.

Bogor, Februari 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Khevinadya'.

Khevinadya Ramadhani Runtu

ABSTRAK

KARAKTERISTIK SENSITIVITAS DAN ENERGETIK PROPELAN KOMPOSIT RENDAH ASAP DENGAN *CYCLOTRIMETHYLENE TRINITRAMINE* (RDX) BERDASARKAN KESEIMBANGAN TERMOKIMIA PEMBAKARAN DALAM UPAYA Mendukung PENGEMBANGAN ROKET PERTAHANAN

KHEVINADYA RAMADHANI RUNTU

Propelan komposit padat sering diaplikasikan sebagai bahan bakar pada roket pertahanan. Perkembangan propelan komposit padat saat ini masih menghasilkan asap (*smoke*) pada hasil pembakarannya. Selain dapat mengganggu pembakaran (*erosive burning*), asap yang dihasilkan juga berdampak buruk terhadap kesehatan dan lingkungan. Oleh karena itu, teknologi propelan rendah asap (*reduced smoke*) menjadi fokus dalam penelitian yang saat ini gencar dilakukan pengembangan. Saat ini, di ORPA-BRIN sedang mengembangkan teknologi propelan rendah asap dengan komposisi RDX (*Cyclotrimethylene Trinitramine*). Propelan akan diuji karakteristiknya berupa nilai sensitivitas, sifat energetik, dan propelan rendah asap. Kemudian, dilakukan pendekatan keseimbangan termokimia pembakaran propelan menggunakan perangkat lunak ProPEP (*Propellant Evaluation Program*) dan RPA (*Rocket Propulsion Analysis*). Pada penelitian ini, menggunakan metode analisa kuantitatif yang terukur secara langsung dengan desain penelitian berupa eksperimen di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel propelan F4 berbasis RDX yang dilapisi material grafit dan polymer polyurethane memiliki karakteristik sensitivitas yang paling baik (*low sensitivity*), dengan nilai *friction test* sebesar 108 N, nilai *drop test* sebesar 99 Nm, dan nilai *autoignition* atau suhu nyala sebesar 328°C, sehingga propelan F4 mudah ditangani secara operasional. Propelan F4 juga menghasilkan produk pembakaran yang ramah lingkungan atau rendah asap (*reduced smoke*). Akan tetapi propelan F4 memiliki nilai Isp yang rendah sebesar 221 detik jika dibandingkan dengan propelan standar F1 tanpa RDX sebesar 227 detik. Aplikasi senyawa baru dengan RDX ini diharapkan mampu menyelesaikan masalah performa propulsi roket padat secara signifikan.

Kata Kunci: Propelan Komposit, *Reduced Smoke*, RDX (*Cyclotrimethylene Trinitramine*), *Propellant Evaluation Program*, *Rocket Propulsion Analysis*

ABSTRACT

SENSITIVITY CHARACTERISTICS AND ENERGETIC PROPERTIES OF REDUCED SMOKE COMPOSITE PROPELLANT CONTAINING CYCLOTRIMETHYLENE TRINITRAMINE (RDX) BASED ON COMBUSTION THERMOCHEMICAL BALANCE TO SUPPORT THE DEVELOPMENT OF DEFENSE ROCKETS

KHEVINADYA RAMADHANI RUNTU

A solid composite propellant is used as fuel in defense rockets. The development of solid composite propellant is currently still producing smoke on combustion products. Besides disturbing combustion (erosive burning), the smoke also has a negative impact on health and the environment. Therefore, reduced smoke propellant technology is the focus of research which is currently being intensively developed. Currently, Rocket Technology Research Center (ORPA-BRIN) is developing a reduced smoke propellant technology with the composition containing RDX (Cyclotrimethylene Trinitramine). The propellant will be characterized by a sensitivity test, energetic properties, and reduced smoke propellant. In addition, the propellant combustion thermochemical balance approach was used in ProPEP (Propellant Evaluation Program) and RPA (Rocket Propulsion Analysis) software. The research was conducted by quantitative research methodology with a research design of experiments in the laboratory. The results showed that the F4 propellant sample containing RDX coated with graphite and polyurethane polymer had low sensitivity characteristics, with a friction test value of 108 N, a drop test value of 99 Nm, and an autoignition value of 328°C, making the F4 propellant easy to handle operationally. F4 propellant also produces combustion products that are environmentally friendly or reduced smoke. However, the F4 propellant has a low impulse specific value of 221 s when compared to the F1 propellant standard without RDX of 227 s. The application energetic material containing RDX is expected to significantly solve the problem of solid rocket propulsion performance.

Keywords: Composite Propellants, Reduced Smoke, RDX (Cyclotrimethylene Trinitramine), Propellant Evaluation Program, Rocket Propulsion Analysis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACK.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	7
1.3 Pembatasan Masalah.....	7
1.4 Rumusan Masalah.....	8
1.5 Tujuan Penelitian.....	8
1.6 Manfaat Penelitian.....	9
1.6.1 Manfaat Teoritik.....	9
1.6.2 Manfaat Praktis.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Landasan Teori.....	10
2.1.1 Pertahanan Negara.....	10
2.1.2 Roket Pertahanan.....	11
2.1.3 Propelan Roket.....	12
2.1.4 Propelan Komposit Padat.....	13
2.1.5 Karakteristik Propelan Komposit.....	15
2.1.6 RDX (<i>Cyclotrimethylene Trinitramine</i>).....	16
2.1.6.1 <i>Explosive Handling</i>	17

2.1.7 Karakteristik Sensitivitas dan Energetik Propelan Komposit	18
2.1.7.1 Uji Sensitivitas Propelan	18
2.1.7.2 DSC (<i>Differential Scanning Calorimetry</i>).....	19
2.1.7.3 Propelan Rendah Asap.....	21
2.1.8 Metode Estimasi Pembakaran Propelan Berdasarkan Keseimbangan Termokimia Pembakaran	22
2.1.8.1 ProPEP (<i>Propellant Evaluation Program</i>)	23
2.1.8.2 RPA (<i>Rocket Propulsion Analysis</i>).....	24
2.2 Hasil Penelitian Terdahulu.....	25
2.3 Kerangka Penelitian	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Dan Desain Penelitian	37
3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian	38
3.3 Teknik Pengumpulan Data	39
3.4 Instrumen Penelitian	39
3.4.1 Alat Penelitian	39
3.4.2 Bahan Penelitian	40
3.5 Teknik Pengolahan Data	40
3.5.1 Uji Sensitivitas Propelan.....	40
3.5.1.1 <i>Friction Sensitivity</i>	40
3.5.1.2 <i>Impact Sensitivity</i>	41
3.5.1.3 <i>Heat Sensitivity</i>	41
3.5.2 Uji Sifat Energetik Propelan	42
3.5.3 Uji Propelan Rendah Asap	43
3.6 Teknik Analisis Data	43
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1 Deskripsi Data	45
4.1.1 Data Preparasi Sampel	45
4.1.2 Data Uji Sensitivitas	45
4.1.3 Data Uji Sifat Energetik	46
4.1.4 Data Uji Propelan Rendah Asap	46

4.2 Hasil Pengumpulan Data	46
4.2.1 Data Preparasi Sampel	46
4.2.2 Data Uji Sensitivitas Propelan	48
4.2.3 Data Uji Sifat Energetik Propelan.....	49
4.2.4 Data Uji Propelan Rendah Asap	51
4.3 Hasil Pengolahan Data.....	52
4.3.1 Data Preparasi Sampel	52
4.3.2 Data Uji Sensitivitas Propelan	53
4.3.3 Data Uji Sifat Energetik Propelan.....	54
4.3.4 Data Uji Propelan Rendah Asap	56
4.4 Pembahasan	58
4.4.1 Karakteristik Sensitivitas Propelan	58
4.4.2 Karakteristik Sifat Energetik Propelan.....	60
4.4.3 Karakteristik Propelan Rendah Asap	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
4.1 Kesimpulan.....	73
4.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA.....	75
LAMPIRAN.....	78
Lampiran 1. Surat Permohonan Izin Penelitian	78
Lampiran 2. Hasil Simulasi ProPEP	79
Lampiran 3. Hasil Simulasi RPA.....	89
Lampiran 4. Algoritma Persamaan Perangkat Lunak ProPEP	109
Lampiran 5. Algoritma Persamaan Perangkat Lunak RPA.....	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Kimia RDX.....	17
Gambar 2.2	<i>Thermal Analysis Instrument</i>	20
Gambar 2.3	<i>DSC Measuring Principles</i>	20
Gambar 2.4	Ruang Pengujian <i>Secondary Smoke</i>	22
Gambar 2.5	Tampilan <i>Software ProPEP</i>	23
Gambar 2.6	Tampilan <i>Software RPA</i>	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3.2	Instrument <i>Friction Sensitivity Tester</i>	41
Gambar 3.3	Instrument <i>Impact Sensitivity Tester</i>	41
Gambar 3.4	Instrument DSC (<i>Differential Scanning Calorimetry</i>).....	42
Gambar 3.5	Perangkat Lunak ProPEP	44
Gambar 3.6	Perangkat Lunak RPA	44
Gambar 4.1	Sampel Propelan Komposit (F1, F2, F3, dan F4)	47
Gambar 4.2	Hasil Pengamatan Gas dari Hasil Pembakaran Propelan	51
Gambar 4.3	<i>Output</i> Performa Energetik Propelan (Simulasi ProPEP).....	54
Gambar 4.4	<i>Output</i> Performa Energetik Propelan (Simulasi RPA)...	55
Gambar 4.5	<i>Output</i> Mol Gas Hasil Pembakaran Propelan (Simulasi ProPEP)	56
Gambar 4.6	<i>Output</i> Mol Gas Hasil Pembakaran Propelan (Simulasi RPA)	56

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Karakteristik Propelan Komposit di ORPA-BRIN	3
Tabel 2.1	Komposisi Propelan Komposit dan Karakteristinya.....	14
Tabel 2.2	Karakteristik Propelan Komposit Standar.....	15
Tabel 2.3	Hasil Penelitian Terdahulu	30
Tabel 3.1	Rencana Jadwal Penelitian.....	38
Tabel 3.2	Komposisi Formula Sampel Propelan Komposit	40
Tabel 4.1	Komposisi Propelan Komposit	47
Tabel 4.2	Data Uji <i>Friction Test</i>	48
Tabel 4.3	Data Uji <i>Drop Test</i>	49
Tabel 4.4	Data Uji <i>Heat Sensitivity</i>	49
Tabel 4.5	Data Nilai Isp Hasil Uji.....	50
Tabel 4.6	Data Hasil Simulasi Energetik Propelan (ProPEP)	50
Tabel 4.7	Data Hasil Simulasi Energetik Propelan (RPA).....	50
Tabel 4.8	Data Hasil Pengamatan Gas (Visual).....	51
Tabel 4.9	Hasil Simulasi Gas Hasil Pembakaran (ProPEP).....	52
Tabel 4.10	Hasil Simulasi Gas Hasil Pembakaran (RPA)	52
Tabel 4.11	Hasil Pengolahan Data Preparasi Sampel Propelan.....	53
Tabel 4.12	Hasil Pengolahan Data Uji Sensitivitas Propelan.....	53
Tabel 4.13	Hasil Pengolahan Data Sifat Energetik Propelan.....	55
Tabel 4.14	Hasil Pengolahan Data Propelan Rendah Asap	57
Tabel 4.15	Rangkuman Hasil Karakterisasi Propelan.....	58
Tabel 4.16	Hasil Validasi Simulasi dengan Efisiensi 92%.....	64

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Grafik Nilai Impuls Spesifik (Isp) Hasil Uji Propelan.....	61
Grafik 4.2	Grafik Hasil Simulasi Nilai Impuls Spesifik (Isp) Propelan	63
Grafik 4.3	Grafik Hasil Uji dan Validasi Simulasi Nilai Impuls Spesifik (Isp) Propelan.....	65
Grafik 4.4	Grafik Hasil Simulasi Mol Gas Al_2O_3 Hasil Pembakaran Propelan	70
Grafik 4.5	Grafik Hasil Simulasi Mol Gas HCl Hasil Pembakaran Propelan	71