

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertahanan negara merupakan segala usaha untuk mempertahankan kedaulatan negara, keutuhan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia, dan keselamatan segenap bangsa dari ancaman dan gangguan terhadap keutuhan bangsa dan negara (UU RI No 3 tahun 2002). Dalam upaya mendukung pertahanan dan keamanan Negara perlu dilakukan beberapa hal terkait pemberdayaan industri pertahanan nasional, membangun industri pendukung yang tangguh, membangun infrastruktur industri pertahanan yang harus dipilih atau ditentukan secara selektif industri pendukung yang terlibat, keterlibatan Lembaga Penelitian Pemerintah dalam pengembangan Alutsista (Alat Utama Sistem Persenjataan), dan dukungan Perguruan Tinggi dalam penelitian serta juga SDM unggul untuk mendukung industri pertahanan nasional.

Pemerintah juga telah menetapkan kebijakan program prioritas pengembangan teknologi dan industri untuk mewujudkan industri pertahanan yang maju, kuat, dan berdaya saing. Menurut Peraturan Presiden RI Nomor 8 Tahun 2021 tentang Kebijakan Umum Pertahanan Negara Tahun 2020-2024 (Jakumhanneg), adapun 10 program prioritas pengembangan teknologi dan industri pertahanan nasional terdiri dari pesawat tempur, propelan, peluru kendali, satelit militer, pesawat udara tanpa awak, kapal selam, roket, radar, medium tank, dan penginderaan bawah air.

Roket merupakan salah satu wahana dirgantara yang memiliki makna strategis. Wahana ini mampu digunakan untuk melaksanakan misi perdamaian maupun pertahanan. Roket juga berfungsi sebagai peralatan untuk menjaga kedaulatan dan meningkatkan martabat bangsa, baik di darat, laut maupun di udara hingga antariksa. Jika dilihat dari perkembangan roket yang sudah ada, roket diharapkan memiliki

jangkauan yang jauh lebih baik dari sebelumnya. Oleh karena itu, perkembangan roket dalam bidang pertahanan selalu mengalami pembaharuan, terutama dalam bidang propelan atau bahan bakar roket.

Propelan merupakan salah satu dari 10 program prioritas utama Alutsista dalam mendukung kemandirian industri pertahanan nasional. Propelan atau bahan pendorong merupakan bagian terpenting dari sistem propulsi roket. Dalam menghasilkan dan mengembangkan teknologi propelan secara mandiri, langkah awal perlu didukung oleh berbagai penelitian terkait propelan. Berbagai penelitian telah dilakukan dalam mendukung kemajuan teknologi propelan terkini. Perkembangan teknologi propelan saat ini memungkinkan untuk menggunakan material energetik baru, formulasi yang sederhana, energi yang tinggi, dan *smokeless* (Resee *et al.*, 2014). Penggunaan material energetik baru ini digunakan bertujuan untuk aplikasi propelan yang lebih modern.

Pada penerapannya di teknologi antariksa, propelan komposit padat sering digunakan sebagai bahan bakar pada roket. Secara umum, propelan roket padat terdiri dari propelan *double base*, propelan komposit, dan *composite modified double base propellant*. Dalam sistem propulsi roket pada umumnya menggunakan propelan komposit padat, yang terdiri dari komponen utama (*fuel*, *binder* dan oksidator) dan komponen aditif (*metal fuel*, *adhesive agent* dan *plasticizer*) yang berguna untuk memperoleh sifat karakteristik dan meningkatkan kualitas dari suatu propelan (Setyaningsih, 2010).

Dalam rangka penguasaan teknologi propelan roket di Indonesia, pengembangan propelan di ORPA-BRIN (Organisasi Riset Penerbangan dan Antariksa) hingga saat ini menggunakan komposisi propelan komposit berbasis AP/HTPB/Al yaitu Amonium Perchlorat (AP) sebagai oksidator, *Hydroxyl Terminated Polyurethane* (HTPB) sebagai *binder*, dan Aluminium (Al) sebagai bahan bakar (*fuel*) yang memiliki tingkat energi yang sangat tinggi (Wibowo, 2016). Pada Tabel 1.1, dapat dilihat

beberapa karakteristik propelan komposit di ORPA-BRIN yang menggunakan material energetik berbasis AP/HTPB/Al.

Tabel 1.1 Karakteristik Propelan Komposit di ORPA-BRIN

Karakteristik Propelan	Propelan ORPA-BRIN (AP/HTPB/Al)
Isp (s)	220
r (cm/s)	>0.7
Solid Content (%)	85
AP/HTPB/Al (%w/w)	80/15/5
AP Bimodal (mesh)	200/50
Berat Jenis (gr/cm ³)	1.67
Homogenitasi (%)	98

Sumber: (Wibowo, 2016)

Menurut (Wibowo, 2018), untuk meningkatkan energi propelan dapat dilakukan dengan memperhatikan dua tahap, yaitu penggunaan material energetik dan penyempurnaan teknologi proses. Beberapa material energetik yang saat ini umum digunakan memiliki beberapa keterbatasan. Propelan komposit performa tinggi biasanya mengandung Aluminium karena memiliki suhu pembakaran tinggi dan oksidator Ammonium Percholate (AP). Kelemahan AP sebagai salah satu oksidator yang bersifat energetik, yaitu menghasilkan asap (*smoke*) atau gas Asam Klorida (HCl) berupa gas putih yang cukup korosif pada hasil pembakaran propelan. Hal ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang akan berdampak buruk pada kesehatan. Selain itu, senyawa oksida dari asap yang ditimbulkan tersebut dari sisi militer trayektori roket dapat diamati, sehingga akan memudahkan dideteksi oleh radar musuh (Selvaraj *et al.*, 2012).

Propelan komposit padat sering diaplikasikan sebagai bahan bakar pada roket. Propelan komposit padat digunakan karena memiliki sifat energetik yang tinggi, laju bakar moderat, pembakaran yang stabil, stabilitas penyimpanan yang baik, sifat fisik yang baik, biaya menengah, dan *hazard class* 1.3 jika dibandingkan dengan propelan *double base* dengan *hazard class* 1.1 (Sutton and Biblarz, 2016). Kelemahan dari

propelan komposit adalah menghasilkan banyak asap (*smoke*) karena komposisi dari AP yang menguraikan gas HCl. Sehingga, saat ini teknologi propelan komposit rendah asap atau *reduced smoke* pada hasil pembakaran propelan gencar dilakukan pengembangan. Selain bertujuan mengurangi pencemaran lingkungan, propelan rendah asap dapat menghilangkan resiko memberikan posisi roket ditembakkan dan menghindari dideteksi oleh radar musuh. Sehingga, perlu dikembangkan suatu propelan rendah asap yang tujuannya untuk mengurangi asap dari hasil pembakaran propelan, yaitu dengan cara mensubstitusi AP dengan material *smokeless powder* berbasis nitramine seperti RDX dan HMX (Sutton and Biblarz, 2016).

Saat ini, di ORPA-BRIN sedang mengembangkan propelan komposit berbasis AP dengan substitusi material energetik berbasis *smokeless powder* RDX (*Cyclotrimethylene Trinitramine*) sebagai oksidator yang diketahui memiliki energi tinggi dan rendah asap. RDX merupakan bahan peledak nitroamine yang dikenal sebagai material energik kinerja tinggi dan banyak digunakan pada aplikasi industri pertahanan nasional. Secara komersial, RDX dipakai untuk bahan bakar pendorong roket dan eksplorasi minyak bumi. RDX sendiri memiliki energi tinggi dan menghasilkan produk pembakaran yang ramah lingkungan rendah asap. Komposisi dari Al dan AP akan dikurangi dan disubstitusi dengan RDX. Substitusi senyawa RDX ke dalam komposisi AP juga akan meningkatkan karakteristik pembakarannya (Gnanaprakash *et al.*, 2021). Nilai energi panas pembentukan (ΔH_f) dari RDX adalah sebesar 62 kJ mol^{-1} , dan AP sebesar -283 kJ mol^{-1} (Agrawal, 2010).

Diketahui material RDX memiliki klasifikasi *hazard class 1.1 (high explosives)* yang berarti sangat mudah meledak dan memiliki sensitivitas tinggi. Bahan peledak klasifikasi *hazard class 1.1* yang berbasis RDX sangat berbahaya dimana mengandung hingga 4% timbal, yang beracun bagi manusia dan organisme hidup lainnya. Emisi dari gas HCl dan Aluminium Oksida ke atmosfer juga memungkinkan akan mencemari

lingkungan. Emisi Aluminium Oksida dengan partikel kurang dari 10 mm dapat dengan mudah diserap oleh saluran pernapasan manusia. Polutan-polutan hasil produk buangan dari penembakan motor roket akan berpotensi membahayakan kesehatan orang-orang yang bersentuhan langsung maupun bagi penduduk di sekitarnya (Selvaraj *et al.*, 2012).

Bahan peledak klasifikasi *hazard class* 1.1 yang berbasis RDX memiliki sensitivitas yang tinggi dan sangat berbahaya untuk proses pembuatan propelan maupun penyimpanan atau transportasi karena mengalami benturan, gesekan, dan panas. Oleh karena itu, RDX perlu diturunkan menjadi klasifikasi *hazard* yang sesuai dengan level propelan yaitu *hazard class* 1.3 (*low explosives*) yang tidak peka terhadap guncangan atau sensitivitas rendah. Adapun upaya yang dapat dilakukan adalah dengan *coating* atau pelapisan RDX dengan material polymer. Dalam penelitian An *et al.* (2009), menyebutkan bahwa uji sensitivitas material RDX yang telah dilapisi material energetik polymer menurun secara signifikan, dan sifat energetiknya relative tetap dimana panas ledakan hanya berkurang sebesar 0,93%.

Dalam pengembangan propelan komposit padat telah dikembangkan sistem *binder* energetik baru dan bahan bakar baru berperforma tinggi khususnya pada propelan komposit berbasis oksidator RDX. Dalam penelitian Liang *et al.* (2020), terkait karakteristik energetik dan sifat mekanik propelan berbasis RDX, menunjukkan bahwa sifat mekanik dan energi permukaan propelan meningkat pesat ketika partikel RDX lebih kecil. Propelan juga menunjukkan peningkatan sifat energetik dengan meningkatnya RDX. Komposisi propelan yang disiapkan juga tidak sensitif terhadap benturan dan gesekan.

Pada penelitian Jensen *et al.* (2017), terkait propelan *smokeless* berbasis GAP-RDX yang mengandung Diaminodinitroetilen (FOX-7). propelan berbasis RDX yang ditambah material energetik polymer GAP-ETPE dapat menurunkan sensitivitas terhadap benturan yaitu nilai H_{50} sebesar 61,4 Nm. Akan tetapi, penambahan FOX-7 diketahui dapat

mengurangi kinerja termokimia propelan, dan sampel propelan tanpa RDX cenderung mengalami pembakaran yang tidak stabil pada tekanan rendah. Secara keseluruhan, FOX-7 adalah pengganti RDX (nitramine) yang baik, tetapi kurang ideal dalam propelan *smokeless* berbasis GAP. Sedangkan penelitian Lin, G., (2019), yaitu terkait metode untuk mengukur densitas asap primer dan asap sekunder propelan roket komposit padat berbasis material energetik nitramine. Pada penelitian ini, asap primer dan sekunder hasil pembakaran propelan diukur menggunakan *smoke filter device*. Kemudian hasil uji dibandingkan dengan hasil teoritis program termodinamika ICT yang digunakan untuk menghitung parameter balistik dan konsentrasi asap. Hasil penelitian menunjukkan penambahan bahan energetik nitramine HMX memiliki hasil yang baik untuk menghilangkan asap sekunder sumber penghasil gas HCl.

Dari hasil penelitian terdahulu, diketahui bahwa propelan berbasis nitramine khususnya RDX dapat mempengaruhi karakteristik sensitivitas, energetik, dan rendah asap suatu propelan komposit padat. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sifat sensitivitas propelan masih cenderung tinggi, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait karakteristik propelan komposit berbasis RDX yang telah dilapisi material polymer. Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pelapisan material RDX terhadap sensitivitas RDX dan propelan komposit yang dihasilkan.

Energi pembakaran propelan dapat diprediksi secara numeris dengan beberapa metode, yaitu berdasarkan keseimbangan termokimia dan termodinamika pembakaran. Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan keseimbangan termokimia pembakaran propelan menggunakan *software (Propellant Evaluation Program)* dan RPA (*Rocket Propulsion Analysis*) untuk memperoleh data komposisi gas hasil pembakaran dan nilai energi pembakarannya. Hasil simulasi akan divalidasi dengan pengujian pembakaran. Sehingga, pada penelitian ini akan membahas terkait uji karakteristik propelan komposit padat dengan

penambahan RDX yang telah dilapisi material polymer, yang berupa uji sensitivitas, uji sifat energetik dan uji rendah asap. Aplikasi senyawa baru dengan RDX ini diharapkan mampu menyelesaikan masalah performa propulsi roket padat secara signifikan.

1.2 Identifikasi Masalah

Adapun permasalahan yang dihadapi saat ini adalah perkembangan propelan komposit padat berbasis komposisi utama AP/Al/HTPB saat ini di ORPA-BRIN masih menghasilkan gas atau asap (*smoke*) dan jelaga pada hasil pembakarannya. Selain dapat mengganggu pembakaran (*erosive burning*), asap dan jelaga yang dihasilkan juga berdampak buruk terhadap lingkungan dan kesehatan.

Oleh karena itu, saat ini teknologi propelan rendah asap atau *reduced smoke* menjadi fokus dalam penelitian yang saat ini gencar dilakukan pengembangan. Upaya yang perlu dilakukan adalah dengan menambahkan material *smokeless powder* seperti RDX. Diketahui bahwa material energetik RDX memiliki energi yang tinggi dan menghasilkan rendah asap, namun memiliki sensitivitas yang tinggi. Sehingga perlu dilakukan upaya penurunan sensitivitas RDX agar aman pada proses pembuatan propelan, yaitu dengan *coating* atau pelapisan dengan material polymer.

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Jenis propelan yang digunakan adalah propelan komposit padat.
- b. Uji sensitivitas dilakukan dengan uji *friction sensitivity*, *impact sensitivity*, dan *heat sensitivity*.
- c. Uji *heat sensitivity* dilakukan dengan analisis thermal menggunakan instrument DSC (*Differential Scanning Calorimetry*).
- d. Karakterisasi sifat energetik dilakukan dengan uji statik dengan menghitung nilai Isp dari hasil pembakaran propelan.

- e. Karakterisasi propelan rendah asap dilakukan dengan pengamatan secara visual pada hasil pembakaran propelan.
- f. Energi pembakaran dan mol gas hasil pembakaran propelan diprediksi secara numeris dengan pendekatan keseimbangan termokimia menggunakan *software* ProPEP dan RPA.
- g. Komposisi propelan menggunakan komposisi yang biasa digunakan di Pustekroket ORPA-BRIN (AP, Al, RDX, HTPB, TDI, TEPAN, DOA).

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas didapatkan perumusan masalah sebagai berikut:

- a. Seberapa sensitif propelan komposit dengan menggunakan RDX yang dilapisi material polymer?
- b. Bagaimana karakteristik sifat energetik pada propelan komposit padat yang dihasilkan dengan penambahan RDX yang dilapisi material polymer?
- c. Bagaimana karakteristik propelan rendah asap pada hasil pembakaran propelan komposit padat yang dihasilkan dengan penambahan RDX yang dilapisi material polymer?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian pada ini adalah:

- a. Mempelajari pengaruh pelapisan RDX terhadap sensitivitas propelan komposit.
- b. Menguji karakteristik sifat energetik pada propelan komposit padat yang dihasilkan dengan penambahan RDX yang dilapisi material polymer.
- c. Menguji karakteristik propelan rendah asap pada hasil pembakaran propelan komposit padat yang dihasilkan dengan penambahan RDX yang dilapisi material polymer.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari hasil penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu manfaat secara teoritis dan manfaat secara praktis sebagai berikut:

1.6.1 Manfaat Teoritik

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan referensi terkait dalam perkembangan ilmu pertahanan. Khususnya bagi program studi teknologi persenjataan, terutama terkait komposisi dan karakteristik propelan komposit rendah asap.

1.6.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini 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 dan meningkatkan perkembangan teknologi alutsista dalam memenuhi dukungan sistem pertahanan negara di tiga matra TNI untuk menghadapi ancaman.