

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia dengan lokasi geografis yang khas, menjadikannya wilayah yang strategis. Terletak di antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia serta diapit oleh Benua Asia dan Benua Australia, Indonesia memiliki perairan yang berperan sebagai salah satu jalur utama perdagangan internasional. Letak ini menyebabkan Indonesia berbatasan langsung, baik melalui laut maupun darat, dengan sepuluh negara di sekitarnya. Kondisi tersebut membuat Indonesia lebih rentan terhadap konflik perbatasan serta ancaman keamanan yang dapat memicu ketidakstabilan di dalam negeri maupun kawasan. Oleh karena itu, pengelolaan sumber daya alam, wilayah perbatasan, dan pertahanan yang efektif sangat dibutuhkan untuk menghadapi tantangan tersebut.

Pertahanan negara mencakup seluruh upaya untuk menjaga kedaulatan, keutuhan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia, serta melindungi seluruh rakyat dari berbagai ancaman dan gangguan terhadap persatuan bangsa dan negara (Permenhan, 2012). Pengembangan sistem pertahanan negara sangat bergantung pada sumber daya strategis pertahanan, yang meliputi anggaran pertahanan, postur pertahanan, kemampuan logistik, infrastruktur militer, serta industri pertahanan. Industri pertahanan sendiri terdiri dari badan usaha milik negara maupun swasta, baik secara individu maupun berkelompok, yang ditetapkan oleh pemerintah untuk memproduksi perlengkapan pertahanan dan keamanan. Pengembangan teknologi industri pertahanan bertujuan untuk meningkatkan kapabilitas serta menghasilkan Alat Peralatan Pertahanan dan Keamanan (Alpahakam) yang memenuhi standar operasional. Standar tersebut mencakup kualitas tinggi, ketahanan terhadap cuaca, tingkat ketelitian dan akurasi yang tinggi, daya gempur serta kecepatan yang optimal, sulit terdeteksi, dan berbagai keunggulan lainnya. Berdasarkan Buku Putih Pertahanan Indonesia yang diterbitkan oleh Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, beberapa program prioritas dalam upaya kemandirian industri pertahanan mencakup pembangunan kapal selam, industri propelan, pengembangan rudal, radar nasional, medium tank, pesawat tempur, serta pengembangan roket.

Pengembangan roket di Indonesia memiliki peran yang sangat penting mengingat luasnya wilayah geografis negara yang terdiri dari banyak pulau yang dipisahkan oleh lautan. Keberadaan roket dapat berfungsi untuk menjaga keamanan wilayah serta melindungi aset-aset nasional. Roket sendiri merupakan wahana peluncur berkecepatan tinggi yang terdiri dari tiga komponen utama, yaitu badan roket, muatan, dan motor roket. Motor roket berfungsi sebagai sistem pendorong, yang terdiri dari tabung motor beserta noselnya serta propelan sebagai bahan bakarnya (Wibowo, 2008). Propelan merupakan salah satu aspek utama dalam program prioritas yang perlu dikuasai dalam pengembangan teknologi. Penguasaan teknologi propelan menjadi faktor kunci dalam pengembangan teknologi roket. Saat terbakar, propelan menghasilkan energi yang dikonversi menjadi gaya dorong (thrust) pada roket. Besarnya gaya dorong tersebut bergantung pada komposisi bahan penyusun propelan. Berbagai penelitian telah dilakukan oleh Organisasi Riset Penerbangan dan Antariksa (ORPA-BRIN) untuk mendukung kemajuan teknologi propelan. Saat ini, perkembangan teknologi propelan memungkinkan penggunaan material energetik, formulasi yang lebih sederhana, energi tinggi, serta menghasilkan pembakaran tanpa asap (smokeless) (Resee et al., 2014). Penggunaan material energetik baru bertujuan untuk mendukung aplikasi propelan yang lebih modern. Berdasarkan bentuknya, propelan terbagi menjadi dua jenis, yaitu propelan padat dan propelan cair. Dalam teknologi roket, propelan padat umumnya digunakan sebagai bahan bakar utama. Secara umum, propelan roket padat terdiri dari tiga jenis, yaitu propelan double base, propelan komposit, dan composite modified double base propellant. Sistem propulsi roket pada umumnya menggunakan propelan komposit padat, yang tersusun atas komponen utama seperti bahan bakar (fuel), oksidator, dan binder. Selain itu, terdapat juga komponen aditif, seperti metal fuel, bonding agent atau adhesive agent, serta plasticizer, yang berfungsi untuk meningkatkan kualitas, sifat, dan karakteristik propelan (Setyaningsih, 2010). Saat ini, propelan komposit yang sedang dikembangkan berbasis komposisi AP/Al/HTPB, yaitu propelan yang menggunakan Ammonium Perchlorate (AP) sebagai oksidator, *Hydroxyl Terminated Polybutadiene* (HTPB) sebagai binder atau pengikat dengan tingkat energi sangat tinggi, serta *Aluminium* (Al) sebagai bahan bakar utama (Wibowo, 2018). Karakteristik propelan yang dikembangkan oleh ORPA-BRIN dibandingkan dengan propelan komposit yang

digunakan dalam roket pengorbit satelit di Amerika Serikat (RPS AS) dapat dilihat pada tabel 1.1 berikut.

Tabel 1.1 Perbandingan propelan ORPA-BRIN dengan Propelan RPS AS

Karakteristik	Propelan ORPA-BRIN	Propelan RPS AS
Rerata Isp (sekon)	220	250-270
R (mm/s)	<0,7	<0,7
Solid content (%)	85	90
AP/HTPB/Al (%W/W)	80/15/5	80/10/10
AP trimodal (mesh)	400/200/100	400/200/100
Berat jenis (gr/cm ³)	1,67	1,7-1,75
Homogenitasi (%)	98	99

Sumber: (Wibowo, 2018)

Propelan komposit berperan penting dalam menentukan performa motor roket. Faktor-faktor seperti komposisi kimia, sifat fisik, dan parameter pembakaran secara langsung memengaruhi berbagai aspek kinerja roket. Salah satu parameter utama dalam menilai efisiensi propelan adalah Impuls Spesifik (Isp). Sutton dan Biblarz (2016) mendefinisikan Isp sebagai total impuls yang dihasilkan per unit berat propelan. Karakteristik propelan yang mempengaruhi Isp meliputi komposisi dan energi kimia. Komposisi kimia propelan memiliki dampak langsung terhadap Isp, di mana rasio oksidator terhadap bahan bakar (O/F ratio) menjadi faktor kunci. Kubota (2007) menjelaskan bahwa rasio O/F yang optimal akan menghasilkan suhu pembakaran tertinggi serta berat molekul gas hasil pembakaran yang ideal, sehingga dapat memaksimalkan nilai Isp.

Oksidator seperti Ammonium Perchlorate (AP) umumnya digunakan karena kandungan oksigennya yang tinggi, sehingga memungkinkan proses pembakaran yang lebih efisien. Namun, menurut Davenas (1993), penggunaan AP dalam jumlah berlebih dapat menghasilkan gas dengan berat molekul tinggi, seperti HCl, yang dapat menurunkan nilai Impuls Spesifik (Isp). Untuk meningkatkan Isp, Aluminium (Al) sering ditambahkan sebagai bahan bakar. Beckstead et al. (2007) menjelaskan bahwa pembakaran Al menghasilkan suhu yang sangat tinggi serta gas dengan berat molekul rendah, seperti Al₂O₃, yang keduanya berkontribusi terhadap peningkatan Isp. Namun, jika Al ditambahkan dalam jumlah yang berlebihan, dapat terjadi pembentukan aglomerat dan slag yang tidak diinginkan.

Energi kimia yang terkandung dalam propelan memiliki hubungan positif dengan Isp. Agrawal (2010) menjelaskan bahwa propelan dengan entalpi pembentukan yang lebih negatif cenderung menghasilkan Isp yang lebih tinggi, karena energi kimia yang lebih besar dapat diubah menjadi energi kinetik gas buang yang lebih tinggi. Bahan energetik seperti HMX, RDX, atau CL-20 sering ditambahkan untuk meningkatkan kandungan energi propelan. Trache et al. (2018) menyatakan bahwa penambahan bahan-bahan ini dapat meningkatkan Isp sebesar 20-30 detik dibandingkan dengan formulasi AP/HTPB konvensional. Namun, penggunaan bahan energetik ini juga meningkatkan sensitivitas propelan terhadap rangsangan mekanik dan termal, yang perlu diperhatikan dalam perancangan motor roket. Secara umum, suhu pembakaran yang lebih tinggi menghasilkan Isp yang lebih besar. Namun, Yim et al. (2018) mengemukakan bahwa suhu pembakaran yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada material dinding ruang bakar dan nozzle. Untuk mengatasi hal ini, penggunaan material ablative atau sistem pendinginan aktif mungkin diperlukan, meskipun hal ini dapat meningkatkan kompleksitas dan berat sistem propulsi. Laju pembakaran propelan memengaruhi gaya dorong dan durasi operasi motor roket, yang merupakan faktor penting dalam desain motor roket karena memengaruhi profil gaya dorong dan total impuls yang dihasilkan. Davenas (1993) menjelaskan bahwa ukuran partikel oksidator berperan besar dalam laju pembakaran. Partikel oksidator yang lebih kecil akan meningkatkan luas permukaan yang tersedia untuk reaksi, sehingga mempercepat laju pembakaran. Propelan komposit kini menjadi fokus utama dalam penelitian dan pengembangan motor roket modern, karena propelan ini terdiri dari campuran oksidator, binder, dan bahan bakar metal yang dirancang untuk menghasilkan karakteristik pembakaran yang lebih baik dibandingkan dengan propelan konvensional. Menurut Kubota (2007), propelan komposit memiliki keunggulan dalam hal impuls spesifik yang lebih tinggi dan kemampuan untuk disesuaikan dengan kebutuhan misi tertentu. Pengembangan propelan komposit terus dilakukan untuk meningkatkan kinerja motor roket, termasuk mempercepat kecepatan pembakaran, meningkatkan stabilitas, dan efisiensi energi. Pada awal 1970-an, Pemerintah Indonesia memiliki roket balistik taktis berkaliber 70 mm yang dikenal dengan nama FFAR 2.75". Namun, seiring berjalannya waktu, beberapa roket tersebut telah diklasifikasikan sebagai rusak, dan propelannya sudah tidak layak pakai. Untuk mengatasi hal ini, perlu dilakukan

penelitian dan pengembangan terkait bahan, desain, produksi, serta pengujian roket 70 mm pengganti FFAR. Penelitian ini difokuskan pada penggantian propelan padat berbasis double base dengan bahan komposit yang memiliki karakteristik berbeda, serta penggantian nozzle jamak menjadi nozzle tunggal. Roket pengganti FFAR ini diberi nama RX-70 (RX-0707.01) yang direncanakan untuk digunakan pada pesawat tempur Sukhoi. Pentingnya melakukan penelitian Roket RX-70 adalah untuk meningkatkan kemandirian teknologi sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada impor, dan meningkatkan kemampuan dalam industri pertahanan nasional, memperbarui teknologi lama, dan memberikan keamanan juga efisiensi dengan mengganti double base menjadi komposit yang dimana roket menjadi lebih stabil, aman dan memiliki performa yang lebih baik, sehingga cocok untuk kebutuhan militer Indonesia.

Penelitian dan pengembangan formulasi propelan dengan penambahan komponen energetik baru diperlukan untuk meningkatkan energi serta kualitas mekanik propelan guna mendukung kemajuan teknologi roket pertahanan Indonesia (Wibowo, 2018). Meskipun Ammonium Perchlorate (AP) sering digunakan sebagai oksidator utama dalam propelan, terdapat beberapa alternatif oksidator yang berpotensi digunakan, seperti *Amonium Nitrat* (AN), *Pentaerythritol Tetranitrate* (PETN), *Cyclotetramethylene Tetranitramine* (HMX), dan *Cyclotrimethylene Trinitramine* (RDX). Material-material ini dipilih karena stabilitasnya yang tinggi serta kandungannya yang besar (Wibowo, 2011). Oksidator berbasis senyawa nitramin dan nitrat, seperti AN, HMX, PETN, dan RDX, memiliki keunggulan utama dalam struktur kimianya yang kaya akan oksigen (O_2) dan nitrogen (N), yang memungkinkan pembakaran lebih cepat, sehingga mendukung penghasilan gaya dorong optimal bagi propelan roket (Wibowo, 2010). Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi berbasis komputasi melalui *Software Propellant Evaluation Program* (ProPEP) untuk menentukan optimasi komposisi propelan berbahan AP/Al/HTPB/TD, serta memperkirakan karakteristik propelan terhadap impuls spesifik dan gaya dorong roket menggunakan *software Solid Propellant Internal Ballistics Simulation* (BurnSIM).

1.2 Identifikasi Masalah

Salah satu tantangan dalam pengembangan propelan komposit padat di ORPA-BRIN saat ini adalah mencapai standar impuls spesifik dan gaya dorong yang sesuai untuk motor roket RX70. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada propelan komposit, di mana oksidator memainkan peran penting dalam menentukan karakteristik energetiknya, mengingat kandungan oksidator dalam propelan berkisar antara 60-80%. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan mengembangkan formulasi propelan yang mampu meningkatkan impuls spesifik dan gaya dorong pada motor roket RX70. Selain Ammonium Perchlorate, beberapa oksidator alternatif yang memiliki tingkat kestabilan tinggi antara lain amonium nitrat, Cyclotetramethyl Etena Nitramine, Pentaerythritol Tetranitrate, dan Cyclotrimethylene Trinitramine.

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian difokuskan pada pengembangan propelan komposit padat single configuration dengan tipe grain star 7
- b. Energi pembakaran propelan diprediksi secara numeris dengan memanfaatkan perangkat lunak *Propellant Evaluation Program (ProPEP)*.
- c. Impuls spesifik dan gaya dorong pada motor roket diprediksi secara numeris dengan memanfaatkan perangkat lunak *Software Solid Propellant Internal Ballistics Simulation* BurnSIM
- d. Formulasi propelan menggunakan komposisi yang umum di gunakan di ORPA-BRIN yaitu AP/Al/HTPB/TDI
- e. Reformulasi dilakukan dengan mensubstitusi perbandingan rasio material oksidator *Pentaerythritol Tetranitrate (PETN)* dan variasi tekanan dalam ruang bakar

1.4 Rumusan Masalah

Berikut ini adalah permasalahan secara menyeluruh berdasarkan latar belakang di atas, perumusan masalah dapat dirincikan sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh sifat energetik yang dihasilkan dari komposisi rasio propelan komposit padat AP, Al, HTPB, TDI dan PETN?
- b. Bagaimana optimasi formulasi propelan pada variasi tekanan dalam ruang bakar?

- c. Bagaimana pengaruh variasi komposisi rasio propelan komposit AP, Al, HTPB, TDI dan PETN terhadap kinerja motor roket RX70?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut peneliti ini memiliki beberapa tujuan, sebagai berikut:

- a. Menganalisis pengaruh sifat energetik yang dihasilkan dari komposisi rasio propelan komposit AP, Al, HTPB, TDI dan PETN
- b. Mengetahui optimasi formulasi propelan pada variasi tekanan dalam ruang bakar
- c. Menganalisis pengaruh variasi komposisi rasio propelan komposit AP, Al, HTPB, TDI dan PETN terhadap kinerja motor roket RX70

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat baik secara teoritis maupun praktis. Secara teoritis, hasil penelitian mengenai pengaruh komposisi dan sifat propelan komposit diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan teknologi di bidang pertahanan, khususnya dalam Program Studi Teknologi Persenjataan. Sementara itu, secara praktis, penelitian ini dapat digunakan sebagai panduan bagi ORPA-BRIN dalam upaya mencapai kemandirian di sektor industri pertahanan. Selain itu, penguasaan teknologi propelan sebagai salah satu elemen kunci diharapkan dapat mendorong kemajuan teknologi militer serta meningkatkan daya saing di tingkat global.