

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang terdiri dari 17.508 pulau. Badan Informasi Geospasial (BIG) mencatat luas daratan Indonesia mencapai 1,905 juta km², sedangkan wilayah perairannya mencakup 3,257 juta km². Total luas wilayah Indonesia sekitar 5,180 juta km² (Effendi, S., 2023). Indonesia memiliki potensi besar dalam teknologi kedirgantaraan dan pertahanan, didukung oleh kekayaan sumber daya alam dan melimpahnya sumber daya manusia. Kondisi ini menjadi dasar kuat bagi pengembangan industri domestik yang berkontribusi pada keamanan regional dan global.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2002 tentang Pertahanan Negara, menegaskan bahwa pertahanan negara diselenggarakan untuk menjaga dan melindungi kedaulatan negara, keutuhan wilayah NKRI, dan keselamatan segenap bangsa dari segala bentuk ancaman menggunakan semua potensi yang ada, termasuk Alat Utama Sistem Senjata (Alutsista) (Lubis, A. F., 2024). Alutsista merupakan komponen vital dalam menjaga kedaulatan dan integritas Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI). Indonesia menetapkan Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan untuk mengatur dan mengelola alutsista serta teknologi pertahanan. Undang-undang tersebut mengatur pengembangan industri pertahanan nasional, termasuk produksi dan pengadaan alutsista (Dwiguna, A. R *et al.*, 2023).

Undang-Undang Industri Pertahanan mengatur beberapa poin penting. Pemerintah mendorong pengembangan industri pertahanan yang mandiri untuk mengurangi ketergantungan impor. Pengadaan alutsista harus transparan dan akuntabel dengan memprioritaskan produk dalam negeri. Kerja sama dengan negara lain diatur untuk transfer teknologi dan peningkatan industri pertahanan domestik.

Melalui kerangka hukum ini, Indonesia berupaya membangun sistem pertahanan yang kuat, mandiri, dan modern. Pemerintah menetapkan Peraturan Presiden No. 8 Tahun 2021 tentang Kebijakan Umum Pertahanan Negara 2020-2024, dengan program prioritas seperti medium tank, pesawat tempur, kapal selam, *unmanned aerial vehicle (UAV)*, satelit militer, radar, penginderaan bawah air, propelan, roket, dan peluru kendali.

Propelan roket menjadi teknologi kunci yang mendukung pertahanan negara. Pembangunan pabrik propelan diharapkan memperkuat kemandirian industri pertahanan hulu, meningkatkan efek penangkalan dan efek pengganda, serta memastikan keberlanjutan pasokan amunisi dan substitusi impor (Permatasari, C. S *et al.*, 2021).

Sumber daya manusia dan alam yang melimpah mendukung produksi dan pengelolaan sistem persenjataan yang efektif dan efisien, termasuk bahan baku propelan. Propelan berperan krusial sebagai bahan bakar yang menghasilkan gas bersuhu tinggi dengan energi signifikan, digunakan dalam senjata api, bahan peledak, dan roket karena potensinya untuk meledak. Namun, Indonesia masih bergantung pada impor bahan baku propelan dari luar negeri (Hutauruk, J *et al.*, 2020). Propelan di Indonesia diklasifikasikan berdasarkan jenis bahan baku, yaitu *single base propellant (SBP)* dari nitroselulosa untuk amunisi pistol, *double base propellant (DBP)* dari nitroselulosa dan nitrogliserin untuk amunisi kaliber kecil, besar, dan roket, serta *triple base propellant (TBP)* dari nitroselulosa, nitrogliserin, dan nitroguanidin untuk amunisi kaliber besar dan howitzer (Finalis, E. R *et al.*, 2022). Dalam produksi, DBP dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan bentuk akhir hasil produksi: *spherical powder*, *extruded double base*, dan *cast double base*. Saat ini, seluruh kebutuhan propelan DBP masih bergantung pada impor. Diproyeksikan pada tahun 2025, kebutuhan *spherical powder* akan mencapai 400 MT dan *extruded double base* sekitar 80 MT, dengan peningkatan sebesar 70% pada tahun 2045 (Wibowo, H. B., 2017).

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), kini ORPA

BRIN, mengembangkan propelan roket di Indonesia. *Ammonium Perchlorat (AP)* digunakan sebagai komponen utama dalam propelan roket, dengan kandungan mencapai 80% dari total berat. *HTPB (Hydroxy Terminated Polybutadiene)* dan *TDI (Toluen Diisocyanate)* berfungsi sebagai pengikat bahan bakar, sementara serbuk aluminium (Al) dan aditif lainnya meningkatkan suhu serta kecepatan pembakaran. *Plastisizer* ditambahkan untuk menurunkan viskositas campuran propelan guna mempermudah pencetakan. *Ammonium Perchlorat* yang digunakan PRTR ORPA BRIN masih diimpor dari China. Sebagai bahan strategis, peredarannya diawasi ketat, sehingga sulit diperoleh di pasar bebas. Kondisi ini menyebabkan variasi spesifikasi AP yang diterima ORPA BRIN, yang berdampak pada performa roket yang diluncurkan (Setyaningsih, H., 2010).

Ketergantungan impor bahan baku propelan menjadi tantangan strategis bagi Indonesia, menyebabkan kerentanan terhadap fluktuasi pasar global dan kebijakan negara pemasok. Hal ini dapat mengganggu produksi serta kesiapan persenjataan militer, sekaligus menunjukkan belum tercapainya kemandirian teknologi dan produksi propelan. Padahal, kemandirian dalam komponen kritis ini krusial untuk keberlanjutan pertahanan nasional di tengah dinamika geopolitik dan potensi ancaman (Setyaningsih, H., 2010).

Untuk mengatasi tantangan ini, Indonesia perlu meningkatkan kapasitas dan kapabilitas industri pertahanan nasional. LAPAN telah mengembangkan Roket RCX1H-1 dengan propelan roket cair, namun roket ini terkendala dalam penerbangan karena propelan cair lebih rumit dibandingkan propelan padat (Hakim, A. N *et al.*, 2020). Oleh karena itu, roket hibrida menawarkan alternatif dalam pengembangan. Pengembangan teknologi dan fasilitas produksi propelan di dalam negeri menjadi prioritas utama. Dengan memproduksi bahan baku propelan sendiri, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan impor, memastikan stabilitas pasokan, dan meningkatkan kemandirian teknologi di sektor pertahanan. Peningkatan kapasitas produksi juga mendorong inovasi,

pengembangan teknologi baru, dan dapat berdampak positif pada ekonomi nasional melalui penciptaan lapangan kerja serta penguatan industri terkait. Riset dan pengembangan propelan roket secara mandiri penting untuk mengikuti perkembangan teknologi global dan memperkuat kapabilitas pertahanan. Salah satu strateginya adalah melalui simulasi dan optimasi propelan hibrida setara dengan RHan-450.

Propelan roket hibrida menawarkan sejumlah keuntungan dibandingkan dengan propelan padat dan cair, termasuk tingkat keamanan yang lebih tinggi, kontrol dorongan yang lebih baik, dan biaya produksi yang lebih rendah (Okninski, A *et al.*, 2021). Namun, desain dan optimasi propelan hibrida menghadapi tantangan kompleks yang memerlukan penelitian mendalam. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi tantangan tersebut dan mencari solusi optimal dalam pengembangan propelan hibrida di Indonesia.

Roket RHan-450 adalah salah satu roket unggulan Indonesia dengan spesifikasi dan performa yang tinggi (Riyadl, A *et al.*, 2024). Ketergantungan pada komponen propelan impor untuk RHan-450 perlu diatasi. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan dan mengoptimasi propelan hibrida setara RHan-450 dengan memanfaatkan sumber daya lokal. Simulasi akan dilakukan menggunakan perangkat lunak simulasi roket untuk menguji berbagai jenis bahan bakar dan oksidator guna menemukan kombinasi optimal. Optimasi berfokus pada peningkatan efisiensi, performa propelan hibrida, dan pengurangan biaya produksi. Pendekatan ini diharapkan menghasilkan propelan yang berkinerja tinggi, ekonomis, dan aman.

Indonesia memiliki banyak sumber daya alam yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk propelan hibrida, seperti hidrokarbon dari minyak dan gas bumi (Barato, F *et al.*, 2023). Mengembangkan propelan dari bahan baku lokal dapat mengurangi ketergantungan pada impor dan meningkatkan nilai tambah sumber daya alam Indonesia. Kemandirian dalam teknologi propelan memberikan manfaat bagi sektor industri

nasional, seperti industri kimia, manufaktur, dan rekayasa, melalui transfer teknologi dan peningkatan kapasitas produksi. Kolaborasi antara lembaga riset, universitas, dan industri mendorong inovasi dan pengembangan di bidang kedirgantaraan dan pertahanan. Penelitian ini juga relevan dalam konteks geopolitik dan keamanan nasional. Dengan teknologi roket dan propelan yang mandiri, Indonesia dapat meningkatkan kapabilitas pertahanan dan keamanan nasional, yang penting mengingat posisi geografis strategis dan potensi ancaman dari luar (Cahyono, A. M., 2021).

Pengembangan propelan hibrida meningkat secara global, dengan negara maju seperti Amerika Serikat dan Rusia melakukan riset untuk berbagai aplikasi, termasuk peluncuran satelit dan misi antariksa. Perusahaan seperti *Virgin Galactic* dan *SpaceDev* menggunakan roket hibrida, seperti *SpaceShipOne*, yang memenangkan Ansari X Prize pada 2004. Selain itu, lembaga riset dan universitas mengembangkan roket hibrida untuk eksplorasi atmosfer dan demonstrasi ilmiah, seperti *HyEnD (Hybrid Engine Development)* dari *University of Stuttgart* (Akhter, M. Z *et al.*, 2020). Oleh karena itu, Indonesia perlu mengikuti perkembangan ini agar tetap kompetitif dalam teknologi kedirgantaraan dan pertahanan.

Pengembangan propelan hibrida setara RHan-450 membuka peluang eksplorasi antariksa dan peluncuran satelit domestik. Hal ini memperkuat posisi Indonesia di kancah internasional dan meningkatkan kapabilitas kedirgantaraan nasional. Penelitian ini berkontribusi pada kemandirian propelan roket dan teknologi pertahanan di Indonesia. Dengan mengembangkan propelan hibrida, Indonesia meningkatkan teknologi kedirgantaraan, mengurangi ketergantungan impor, serta mendorong industri dan inovasi teknologi domestik. Selain itu, penelitian ini memperkuat kapasitas sumber daya manusia melalui pelatihan dan pendidikan, membekali generasi muda dengan keterampilan untuk pengembangan teknologi nasional.

Hasil penelitian ini memberikan gambaran tentang simulasi dan optimasi propelan hibrida setara RHan-450 untuk mendukung kemandirian

propelan dan teknologi pertahanan Indonesia. Pendekatan yang komprehensif dan berbasis sumber daya lokal diharapkan berkontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi kedirgantaraan nasional serta meningkatkan kapabilitas pertahanan Indonesia.

1.2 Identifikasi Masalah

Pengembangan roket andal penting bagi strategi pertahanan nasional, dengan RHan-450 telah digunakan dalam misi militer dan penelitian. Namun, ketergantungan impor propelan menjadi tantangan utama. Penelitian ini berfokus pada simulasi dan optimasi propelan hibrida untuk mencapai performa setara RHan-450 demi kemandirian teknologi persenjataan dan propelan. Berikut adalah identifikasi permasalahan yang menjadi fokus dalam penelitian ini:

- a. Perbandingan Kinerja Propelan Hibrida dengan Propelan Roket RHan-450. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan menganalisis kemampuan propelan hibrida dalam memenuhi atau melampaui kinerja roket RHan-450. Permasalahan utama terletak pada rasio massa antara propelan dan struktur, di mana roket RHan-450 memiliki proporsi massa propelan lebih tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisis komposisi dan parameter optimal propelan hibrida agar kinerjanya setara atau lebih unggul dibandingkan propelan padat saat ini.
- b. Efektivitas Metode Simulasi dalam Memodelkan Kinerja Propelan Hibrida. Penelitian ini menggunakan metode simulasi berbasis numerik dan komputasi yang efisien tetapi memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan aspek fisik pembakaran propelan hibrida secara akurat. Fokus utama penelitian ini adalah mengevaluasi kemampuan model simulasi dalam mencerminkan kondisi nyata serta mengidentifikasi perbedaan antara hasil simulasi dan aplikasi praktisnya.
- c. Proses Optimasi untuk Mendukung Kemandirian Teknologi

Propelan Indonesia. Tantangan utama penelitian ini adalah mengoptimalkan komposisi propelan hibrida untuk meningkatkan efisiensi dan performa. Penelitian ini mencakup pemanfaatan maksimal sumber daya lokal dalam proses optimasi untuk mendukung kemandirian teknologi serta mengidentifikasi potensi hambatan selama tahap implementasi.

Identifikasi masalah menunjukkan kendala dalam mencapai kemandirian teknologi propelan dan persenjataan pertahanan di Indonesia. Penelitian ini bertujuan mengatasi kendala melalui simulasi dan optimasi propelan hibrida setara dengan propelan padat roket RHan-450. Dengan demikian, Indonesia diharapkan dapat mengurangi ketergantungan impor, memanfaatkan teknologi propelan hibrida, dan memperkuat kapasitas industri pertahanan dalam negeri.

1.3 Pembatasan Masalah

Untuk memastikan fokus dan keterjangkauan penelitian, beberapa batasan berikut akan diterapkan:

- a. Ruang Lingkup Teknologi Propelan: Penelitian ini terbatas pada pengembangan dan analisis propelan hibrida sebagai alternatif untuk propelan yang digunakan dalam roket RHan-450. Fokus penelitian hanya pada propelan hibrida, tanpa membahas secara mendalam jenis propelan lainnya, seperti propelan padat (*solid*) atau cair (*liquid*). Propelan hibrida yang digunakan yaitu Parafin/N₂O, Parafin/LO₂, HDPE/N₂O, dan HDPE/LO.
- b. Metode Simulasi: Simulasi kinerja propelan hibrida akan dibatasi pada penggunaan model numerik dan perangkat lunak komputasi seperti *NASA CEA* dan *RPA (Rocket Propulsion Analysis)*. Simulasi ini hanya akan mencakup parameter-parameter tertentu yang relevan dengan performa roket, seperti *Isp (specific impulse)*, *CF (thrust coefficient)*, *C* (characteristic velocity)*, dan lain sebagainya. Faktor-faktor eksternal dan kompleksitas fisik

yang tidak dapat dimodelkan dalam simulasi akan dibahas secara terbatas. Kemudian didukung dengan analisis *genetic algorithm* dan internal balistik motor roket menggunakan simulasi MATLAB.

- c. Konteks Kemandirian: Penelitian ini berfokus pada pengembangan kemandirian teknologi propelan hibrida di Indonesia. Penelitian menekankan optimalisasi sumber daya lokal, seperti Parafin dari minyak bumi dan HDPE dari sampah plastik. Analisis faktor non-teknis, seperti kebijakan, regulasi, dan dampak ekonomi, hanya diuraikan secara umum sebagai konteks pendukung.
- d. Konseptual Desain Motor untuk Propelan dan Nosel: Penelitian akan mengkaji rasio optimal antara oksidator dengan bahan bakar dan *dimensioning* motor roket dalam propelan hibrida. Detail sintesis kimia bahan bakar atau oksidator tidak akan dijelaskan mendalam.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, ada beberapa permasalahan yang peneliti rumuskan sebagai berikut:

- a. Bagaimana karakteristik dan kinerja propelan hibrida yang berbasis bahan bakar parafin dan HDPE dengan oksidator N_2O dan LO_2 dibandingkan dengan propelan padat yang digunakan pada roket RHan-450?
- b. Bagaimana simulasi berbasis perangkat lunak (NASA CEA, RPA, dan MATLAB) dapat memodelkan kinerja propelan hibrida secara akurat sehingga mampu memenuhi atau bahkan melampaui kinerja RHan-450 dengan propelan padat?
- c. Bagaimana proses optimasi untuk meningkatkan kinerja motor roket hibrida dengan memaksimalkan potensi penggunaan sumber daya lokal (*paraffin* dan *HDPE*) guna mendukung kemandirian industri propelan Indonesia?

1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan, menganalisis, dan mengoptimalkan propelan hibrida yang dapat mendukung kemandirian Indonesia dalam teknologi persenjataan pertahanan. Dengan fokus pada simulasi dan optimasi, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan propelan hibrida yang setara dengan roket RHan-450. Adapun tujuan utama penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis karakteristik dan kinerja propelan hibrida berbasis bahan bakar parafin dan HDPE dengan oksidator N_2O dan LO_2 , serta membandingkannya dengan propelan padat yang digunakan pada roket RHan-450.
- b. Menganalisis simulasi berbasis perangkat lunak (NASA CEA, RPA, dan MATLAB) sehingga dapat memodelkan kinerja propelan hibrida secara akurat untuk memenuhi atau bahkan melampaui kinerja RHan-450 dengan propelan padat.
- c. Melakukan proses optimasi untuk meningkatkan kinerja motor roket hibrida dengan memanfaatkan potensi sumber daya lokal, seperti parafin dan HDPE, dalam rangka mendukung kemandirian industri propelan di Indonesia.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan mendukung kemandirian Indonesia dalam teknologi persenjataan dan propelan melalui simulasi dan optimasi propelan hibrida roket setara RHan-450. Manfaat teoritisnya mendukung pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi propelan hibrida dan kemandirian teknologi, sementara manfaat praktisnya memberikan solusi nyata untuk kebutuhan pertahanan dan industri nasional dengan memanfaatkan sumber daya lokal secara optimal.

1.6.1 Aspek Teoritis

Adapun manfaat teoritis penelitian ini sebagai berikut:

- a. Pengembangan Ilmu Pengetahuan tentang Propelan Roket Hibrida: Memperluas pemahaman tentang karakteristik, performa, dan optimasi propelan roket hibrida, khususnya dalam konteks teknologi roket Indonesia.
- b. Model Simulasi dan Optimasi Propelan yang Lebih Akurat: Menyediakan model simulasi numerik untuk evaluasi dan optimasi performa propelan, menjadi referensi penelitian serupa.
- c. Peningkatan Pemahaman tentang Perbandingan Teknologi: Memberikan wawasan tentang potensi propelan hibrida dalam bersaing atau melampaui kinerja propelan padat, khususnya pada roket RHan-450.
- d. Mendukung Konsep Kemandirian Teknologi: Mendukung pengembangan konsep kemandirian teknologi pertahanan berbasis sumber daya lokal.

1.6.2 Aspek Praktis

Adapun manfaat praktis dari penelitian ini sebagai berikut:

- a. Pengurangan Ketergantungan terhadap Teknologi Asing: Mengembangkan propelan roket berbasis material lokal untuk mengurangi impor teknologi dan bahan baku.
- b. Efisiensi Biaya Produksi Propelan: Penelitian ini dapat membantu menemukan desain propelan roket pertahanan yang lebih hemat biaya namun tetap memiliki performa yang baik, mendukung efisiensi dalam skala produksi massal.
- c. Aplikasi pada Roket Pertahanan Nasional dan Sipil: Mendukung pengembangan roket pertahanan nasional dan sipil dengan performa optimal dan efisiensi tinggi, dengan dukungan sumber daya manusia.
- d. Dukungan terhadap Industri Pertahanan Nasional: Memberikan

rekomendasi teknis untuk memperkuat industri propelan nasional.