

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

- a. Propelan hibrida berbasis parafin dan HDPE dengan oksidator N_2O dan LO_2 menunjukkan kinerja unggul dibandingkan propelan padat RHAN-450. Parafin memberikan laju regresi tinggi dan pembakaran stabil, sedangkan HDPE memiliki ketahanan mekanis baik. LO_2 menghasilkan efisiensi pembakaran lebih tinggi daripada N_2O . Propelan hibrida lebih aman disimpan, lebih terkontrol, dan mendukung kemandirian teknologi. Isp propelan hibrida, yang mencapai 276,82 s (Parafin/ LO_2), 273,13 s (HDPE/ LO_2), 249,56 s (Parafin/ N_2O), dan 247,63 s (HDPE/ N_2O), lebih tinggi dibandingkan Isp propelan roket padat RHan-450 (228,67 s).
- b. Simulasi CEA dan RPA efektif memodelkan kinerja propelan hibrida untuk melampaui kinerja RHan-450. CEA melakukan perhitungan termokimia dengan mengukur parameter seperti temperatur ruang bakar (T_c), impuls spesifik (Isp), kecepatan karakteristik (C^*), dan komposisi produk pembakaran, memungkinkan analisis mendalam terhadap pengaruh rasio campuran (O/F ratio) terhadap performa. Sementara itu, RPA lebih fokus pada dinamika fluida, termasuk efisiensi nozzle dan kerugian tekanan, menghasilkan model yang saling melengkapi untuk evaluasi kinerja propelan secara keseluruhan.
- c. Optimasi motor roket hibrida parafin dan HDPE dapat mendukung kemandirian teknologi propelan Indonesia. Parafin menawarkan efisiensi pembakaran tinggi dengan potensi dari turunan minyak bumi, sedangkan HDPE memiliki stabilitas dan nilai kalori tinggi,

serta potensi dari daur ulang limbah plastik. Pasangan propelan Paraffin/LO₂ memberikan kinerja optimal dengan Isp 228,17 s, thrust 8539,16 kgf dan impuls total 161918,29 N.s hanya dengan membutuhkan massa propelan 709,63 kg. Motor roket dengan oksidator LO₂ lebih efisien dibandingkan N₂O. Sehingga jauh lebih unggul dibandingkan dengan motor roket padat RHan 450 dengan Isp 209,91 s, thrust 8352,10 kgf, total impulse 148000 N.s yang membutuhkan massa propelan 735 kg.

5.2 Saran

5.2.1 Saran Teoritis

Rekomendasi yang dapat dihasilkan dari penelitian ini yang bermanfaat untuk studi-studi selanjutnya adalah:

a. Pengembangan Model Simulasi yang Lebih Akurat.

Penelitian lanjutan berfokus pada pengembangan model simulasi kompleks dan akurat untuk memprediksi performa propelan hibrida dengan memperhitungkan efek termokimia, dinamika pembakaran, dan interaksi fluida dengan struktur internal roket.

b. Ekspansi Studi ke Berbagai Oksidator dan Bahan Bakar Lokal.

Untuk meningkatkan independensi teknologi, disarankan mengeksplorasi bahan bakar lokal, termasuk bio-komposit, biomassa, dan oksidator rendah toksisitas, serta meneliti potensi mereka dalam sistem propelan hibrida.

c. Integrasi Multidisiplin dalam Simulasi dan Optimasi.

Penelitian masa depan mengintegrasikan pemodelan numerik, kecerdasan buatan, dan analisis mekanik untuk optimasi serta prediksi deformasi akibat tekanan tinggi, guna menciptakan pendekatan holistik dan komprehensif.

d. Studi Kelayakan untuk Aplikasi Operasional.

Penelitian perlu menganalisis kestabilan pembakaran, kompatibilitas material, dan pengaruh lingkungan terhadap performa roket guna meningkatkan validitas model dalam aplikasi nyata.

e. Perbandingan dengan Sistem Propelan Lainnya.

Studi disarankan membandingkan performa propelan hibrida, padat, dan cair secara teoritis dalam efisiensi energi, kestabilan, dan dampak lingkungan.

5.2.2 Saran Praktis

Saran praktis diharapkan membantu pemimpin mempertimbangkan kelanjutan penelitian dan pengembangan roket hibrida hingga implementasi untuk mendukung operasional roket pertahanan:

a. Pengembangan Prototipe Roket Hibrida.

Setelah optimasi simulasi, langkah berikutnya membangun dan menguji prototipe roket dengan propelan hibrida untuk memvalidasi model teoritis melalui uji lapangan.

b. Penggunaan Bahan Lokal untuk Mendukung Kemandirian.

Untuk mendukung kemandirian teknologi, disarankan menggunakan bahan bakar dan oksidator lokal, seperti parafin, HDPE, LO_2 , dan N_2O yang mudah diakses dan diproses.

c. Kolaborasi dengan Industri dan Pemerintah.

Untuk mempercepat penerapan teknologi, kolaborasi dengan industri pertahanan, lembaga penelitian, dan pemerintah diperlukan guna memastikan pengembangan propelan hibrida sesuai kebutuhan strategis nasional.

d. Pelatihan dan Transfer Teknologi.

Dalam jangka panjang, pelatihan dan transfer teknologi perlu dilakukan agar penguasaan propelan roket hibrida bersifat

aplikatif dan terintegrasi dalam institusi pendidikan, perguruan tinggi, dan lembaga penelitian.

e. Pembangunan Infrastruktur Uji Coba.

Untuk mendukung pengembangan propelan hibrida, diperlukan fasilitas uji coba khusus seperti ruang pembakaran, instalasi uji statik motor roket, dan laboratorium bahan bakar. Infrastruktur ini akan memungkinkan pengujian lebih aman dan mendalam.

f. Peningkatan Standar Keamanan dan Regulasi.

Pengembangan propelan hibrida perlu diiringi dengan standar keamanan dan regulasi yang sesuai. Disarankan untuk mengembangkan protokol khusus untuk penyimpanan, penanganan, dan pengujian bahan bakar dan oksidator guna mengurangi risiko kecelakaan.

g. Peningkatan Kapasitas Sumber Daya Manusia (SDM).

Selain pengembangan infrastruktur, penguatan kapasitas SDM melalui pelatihan intensif dalam bidang simulasi, material, dan teknologi roket sangat diperlukan. SDM yang kompeten akan menjadi fondasi utama dalam mendukung kemandirian teknologi.

h. Analisis Lingkungan dan Dampak Ekologis.

Disarankan dilakukan analisis lebih lanjut mengenai dampak lingkungan dari penggunaan propelan hibrida, terutama emisi gas buang. Hal ini penting untuk memastikan teknologi roket yang dikembangkan ramah lingkungan dan sesuai dengan standar keberlanjutan.

i. Implementasi dalam Program Strategis Nasional.

Propelan roket hibrida yang dioptimalkan ini dapat dijadikan bagian dari program strategis nasional di bidang pertahanan dan keamanan, seperti pengembangan roket pertahanan, penginderaan jarak jauh, atau eksplorasi antariksa.