

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Pada penelitian ini, digunakan beberapa literatur teori yang relevan sebagai landasan dasar yang menjadi acuan untuk memperkuat penelitian, yaitu terkait Pertahanan Negara, Roket Pertahanan, Propelan Roket, Propelan Komposit Padat, Karakteristik Propelan Komposit, RDX (*Cyclotrimethylene Trinitramine*), *Explosive Handling*, Karakteristik Sensitivitas dan Energetik Propelan Komposit, DSC (*Differential Scanning Calorimetry*), Propelan Rendah Asap, dan Metode Estimasi Pembakaran Propelan Berdasarkan Keseimbangan Termokimia Pembakaran dengan ProPEP (*Propellant Evaluation Program*) dan RPA (*Rocket Propulsion Analysis*).

2.1.1 Pertahanan Negara

Sesuai dengan UU RI No 3 tahun 2002 pasal 1 ayat 1 dan 2 tentang pertahanan negara menyebutkan bahwa: "Pertahanan negara adalah segala usaha untuk mempertahankan kedaulatan negara, keutuhan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI), dan keselamatan segenap bangsa dari ancaman dan gangguan terhadap keutuhan bangsa dan negara". Sistem pertahanan negara adalah sistem pertahanan yang bersifat semesta yang melibatkan seluruh warga negara, wilayah, dan sumber daya nasional lainnya, serta dipersiapkan secara dini oleh pemerintah dan diselenggarakan secara total, terpadu, terarah, dan berlanjut untuk menegakkan kedaulatan negara, keutuhan wilayah, dan keselamatan segenap bangsa dari segala ancaman.

Dalam mencapai tujuan nasional, sistem pertahanan Indonesia disusun dalam suatu sistem pertahanan semesta yang pada hakikatnya adalah suatu pertahanan yang melibatkan seluruh warga negara sesuai peran dan fungsinya. Keterlibatan setiap warga negara didasari atas kecintaan kepada tanah airnya yang diorientasikan terhadap cita-cita

bersama dalam mewujudkan kepentingan nasional. Esensi pertahanan negara menjadi penuntun bagi setiap warga negara untuk dapat memahaminya yang meliputi tujuan nasional, kepentingan nasional, hakikat pertahanan negara, sistem pertahanan negara, fungsi pertahanan negara dan prinsip-prinsip dasar penyelenggaraan pertahanan negara.

Secara umum, pertahanan negara bertujuan untuk menjaga dan melindungi kedaulatan negara, keutuhan wilayah NKRI dan keselamatan segenap bangsa dari segala bentuk ancaman baik yang berasal dari eksternal maupun internal. Dalam mencapai tujuan pertahanan negara tersebut, terdapat 5 sasaran strategis yang saling terkait yang dirumuskan dalam kebijakan pertahanan negara. Pertama, mewujudkan pertahanan negara yang mampu menghadapi ancaman. Kedua, mewujudkan pertahanan negara yang mampu menangani keamanan wilayah maritim, keamanan wilayah daratan dan keamanan wilayah dirgantara. Ketiga, mewujudkan pertahanan negara yang mampu berperan dalam menciptakan perdamaian dunia berdasarkan politik bebas aktif. Keempat, mewujudkan industri pertahanan yang kuat, mandiri dan berdaya saing. Kelima, mewujudkan warga negara Indonesia yang memiliki kesadaran Bela Negara (BPPI, 2015).

2.1.2 Roket Pertahanan

Salah satu perkembangan industri pertahanan saat ini mengacu pada pengembangan roket pertahanan. Sesuai dengan Peraturan Presiden RI Nomor 8 Tahun 2021 tentang Kebijakan Umum Pertahanan Negara Tahun 2020-2024 (Jakumhanneg), dimana roket merupakan salah satu bagian dari 10 program prioritas pengembangan teknologi dan industri pertahanan nasional.

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

sebagai sistem persenjataan sangat efektif karena roket dapat membawa bahan peledak dengan kecepatan tinggi dan dayang jangkau yang cukup jauh. Oleh karena itu, perkembangan teknologi roket di Indonesia sangat penting dilakukan, terutama dalam bidang pertahanan, roket sangat berguna untuk mengamankan wilayah dan melindungi aset-aset nasional.

Teknologi roket merupakan teknologi kunci dari suatu negara dalam upaya pertahanan negara yang harus selalu dikembangkan dan ditingkatkan. Upaya penguasaan teknologi roket di ORPA-BRIN sebagai institusi riset terkait teknologi roket telah dilakukan sejak tahun 1976, dengan berbagai upaya salah satunya melakukan *reverse engineering* dari teknologi roket negara-negara maju. Dengan segala kendala-kendala yang ada, sampai saat ini para tenaga ahli di ORPA-BRIN melakukan kegiatan penelitian dan pengembangan terkait teknologi roket dan selalu mengupayakan peningkatan kinerja roket. 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.

2.1.3 Propelan Roket

Propelan atau bahan pendorong merupakan bagian terpenting dari sistem propulsi roket. Propelan roket dapat dibedakan menjadi dua jenis, diantaranya yaitu propelan padat dan propelan cair. Propelan padat adalah propelan yang berbentuk padat atau propelan non fluida, sedangkan propelan cair atau propelan fluida adalah propelan berbentuk cair. Propelan padat diketahui memiliki beberapa keunggulan diantaranya penyimpanan yang mudah, resiko peledakan rendah dan biaya produksi yang cenderung murah. Sedangkan propelan cair memiliki keunggulan yaitu *thrust* yang dihasilkan dapat diatur atau *throttleable* dan memiliki impuls spesifik relatif besar (Sutton and Biblarz, 2016).

Propelan padat memiliki komposisi yang berbeda-beda sesuai dengan penggunaannya dan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis,

antara lain *single base*, *double base*, *triple base*, komposit, dan komposit yang dimodifikasi *double base*. Bahan pembuatan propelan padat komposit terdiri dari bahan padatan dan bahan cair antara lain *fuel*, *oxidizer*, *binder*, *plasticizer*, *curing agent*, dan *additive*. Fuel pada propelan padat komposit antara lain Aluminium (Al), Beryllium (Be), Zirconium (Zr). *Oxidizer* adalah senyawa atau unsur yang mengoksidasi *fuel* ketika proses pembakaran terjadi, seperti Ammonium Perklorat, Ammonium Nitrat, Potassium Perklorat, Potassium Nitrat, dan Ammonium Dinitramine. Sedangkan *additive* adalah unsur atau senyawa yang dicampurkan pada komposisi propelan yang biasanya bersifat sebagai katalis pada setiap reaksi (Sutton and Biblarz, 2016).

Pada propelan roket cair, dalam aplikasinya memiliki banyak jenis baik *oxidizer* maupun *fuel*, seperti Hidrogen cair (H_2), Oksigen cair (O_2), Avtur ($C_{12}-C_{14}$), Hydrazine (N_2H_2), UDMH, Metana (CH_4), Flourine (F_2), Nitrogen Tetraoksida (NO_4), dan lain-lain. Propelan cair termasuk propelan terbaru pada generasi teknologi propelan saat ini, meskipun dalam penggunaannya propelan padat memang terlebih dahulu telah ditemukan dan digunakan (Mattingly, 2006).

2.1.4 Propelan Komposit Padat

Propelan komposit padat merupakan bahan bakar roket 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). Komponen cair (*fuel*) dari suatu propelan perlu ditambahkan *curing agent* agar dapat memadat dan mengikat oksidator serta aditif. *Binder* yang digunakan biasanya dari jenis plastik, resin atau elastomer. *Binder* juga disebut dengan *fuel binder* karena mampu mengikat komponen padat. Karakteristik dari hasil reaksi *fuel binder* dengan *curing agent* akan mempengaruhi kualitas propelan yang akan dihasilkan. Jenis *fuel binder* yang biasa digunakan pada umumnya adalah HTPB (*Hydroxyl Terminated Polyurethane*).

Fuel pada propelan komposit umumnya digunakan sebagai bahan bakar. Salah satu *fuel* yang sering digunakan adalah Aluminium (Al), dan sebagai *curing agent* adalah TDI (*Toluene Diisocyanate*). Oksidator pada propelan komposit padat digunakan sebagai sumber oksigen saat terjadi reaksi pembakaran propelan. Jenis oksidator yang sering digunakan adalah AP (Ammonium Perchlorat). Selama proses pembakaran, AP banyak menghasilkan gas HCl sebagai sumber polusi udara serta menghasilkan asap putih, sehingga trayektori dan posisi awal misil dapat dengan mudah diamati. Beberapa bahan seperti Mg dan Al atau Sodium Nitrat dapat ditambahkan untuk mereduksinya (Wibowo, 2010).

Komponen aditif seperti *plasticizer* berguna untuk mempermudah proses pencampuran bahan-bahan penyusun propelan dan proses pencetakan propelan. Penambahan *plasticizer* energetik juga dapat mempengaruhi performa yang dihasilkan dari propelan komposit padat. *Plasticizer* yang umumnya digunakan adalah DOA (*Dioctyl Adipate*).

Pada penerapannya di teknologi antariksa, propelan komposit padat di ORPA-BRIN hingga saat ini menggunakan komposisi utama berbasis AP/HTPB/Al, yaitu Ammonium Perchlorat (AP) sebagai oksidator, *Hydroxyl Terminated Polyurethane* (HTPB) sebagai *binder*, dan Aluminium (Al) sebagai bahan bakar (*fuel*) yang memiliki tingkat energi yang sangat tinggi (Abdillah *et al.*, 2018). Adapun berbagai komposisi dari propelan komposit padat dan masing-masing karakteristiknya dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Komposisi Propelan Komposit dan Karakteristinya

Komposisi Propelan	Kegunaan	Rumus Kimia	Densitas (g/cm ³)	BM (g/mol)	% OB
HTPB	Binder	C ₇₃ H ₁₁₀ O ₆	0,92	2800	-273,16
AP	Oksidator	NH ₄ ClO ₄	1,95	117,50	+34,04
Al	<i>Fuel</i>	Al	2,70	2,70	-
TDI	<i>Curing Agent</i>	C ₉ H ₆ N ₂ O ₂	1,21	174,20	-174,66

DOA	<i>Plasticizer</i>	$C_{24}H_{38}O_4$	0,98	370,58	-258,28
TEPAN (HX-878)	<i>Bonding Agent</i>	$C_8H_{28}N_{10}O_{15}$	1,10	-	-47,58
RDX	Oksidator	$C_3H_6N_6O_6$	1,82	222,12	-21,60
PU (<i>Polyurethane</i>)	Polymer	$C_3H_8N_2O$	0,03	88,10	-163,43
Grafit	<i>Additive</i>	C	2,26	44,01	-

Sumber: (Agrawal, 2010)

2.1.5 Karakteristik Propelan Komposit

Terdapat beberapa parameter karakteristik terkait sifat-sifat propelan yang bisa digunakan untuk menentukan performa suatu propelan, yaitu laju bakar (*burning rate*) dan impuls spesifik (*Isp*). Laju pembakaran adalah panjang propelan yang terbakar per satuan waktu yang memiliki dimensi L/T (Mattingly, 2006), sedangkan impuls spesifik adalah gaya per laju aliran masa propelan dikali dengan gravitasi, dan memiliki dimensi T (Sutton and Biblarz, 2016). Dapat dilihat pada Tabel 2.2 yaitu terkait standar karakteristik propelan komposit yang harus dipenuhi.

Tabel 2.2 Karakteristik Propelan Komposit Standar

Karakteristik Propelan	Propelan Standar
<i>Isp</i> (s)	260-265
<i>r</i> (cm/s)	0,25-3,00
Solid Content (%)	90%
Metal Content (%)	4-17%
Suhu Pembakaran (K)	3440
AP/HTPB/Al (%w/w)	80/10/10
AP Bimodal (mesh)	200/50
Berat Jenis (gr/cm^3)	1,7-1,75
Homogenitasi (%)	99
Klasifikasi <i>Hazard</i>	1.3

Sumber: (Wibowo, 2016; Sutton and Biblarz, 2016)

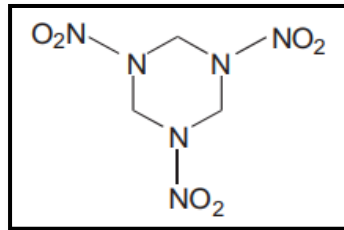
Dalam pengembangan propelan roket padat telah dikembangkan sistem *binder*, oksidator, dan bahan bakar baru berenergi tinggi, khususnya pada propelan komposit berbasis oksidator RDX. Sehingga

aplikasi senyawa baru berenergi tinggi tersebut diharapkan mampu meningkatkan sifat karakteristik propelan komposit dan menyelesaikan masalah performa propulsi roket padat secara signifikan.

2.1.6 RDX (*Cyclotrimethylene Trinitramine*)

RDX (*Cyclotrimethylene Trinitramine*) atau disebut sebagai *Research Department Explosive* merupakan bahan peledak yang secara kimiawi diklasifikasikan sebagai senyawa nitramida. RDX dikenal sebagai material energik kinerja tinggi dan banyak digunakan pada aplikasi industri pertahanan nasional. RDX menjadi salah satu potensi material energetik yang digunakan pada aplikasi bahan peledak, propelan roket padat, dan mesiu, yang memiliki berbagai karakteristik atau sifat senyawa yaitu nilai densitas sebesar $1,82 \text{ g/cm}^3$, titik deflagrasi sebesar 230°C , titik leleh sebesar 201°C , energi panas pembentukan (ΔH_f) sebesar 62 kJ/mol^{-1} , dan nilai *oxygen balance* sebesar $-21,60\%$ (Agrawal, 2010).

RDX juga dikenal sebagai Siklonit, Heksogen, dan T4 yang memiliki rumus kimia $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$, sering digunakan dalam campuran dengan bahan peledak lain yang berupa *plasticizer*, *phlegmatiser* atau *desensitiser*. RDX stabil dalam penyimpanan dan dianggap sebagai salah satu bahan peledak yang paling kuat. RDX dihasilkan dari bahan kimia sintetis dengan komposisi yang terdiri dari *Hexahydro*, *Trinitro*, dan *Triazine*. RDX berwujud padatan putih, tidak berbau, tidak berwarna, dan banyak digunakan sebagai bahan peledak. RDX disebut sebagai monopropelan stoikiometri seimbang yang pada umumnya membentuk tiga daerah pembakaran, yaitu daerah fasa terkondensasi, daerah dua fasa cair-gas, dan daerah fasa gas. Secara kimiawi, RDX termasuk kelompok senyawa nitramida. Adapun struktur kimia RDX dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 2.1 Struktur Kimia RDX
(Agrawal, 2010)

Propelan berbasis material energetik RDX diketahui membawa beberapa fitur yang diperlukan untuk sistem propulsi canggih, termasuk kinerja yang lebih baik dengan sejumlah besar gas, energi tinggi, impuls spesifik tinggi, dan produk pembakaran yang ramah lingkungan (rendah asap). Diketahui bahwa substitusi senyawa RDX ke dalam komposisi AP akan meningkatkan karakteristik pembakarannya (Gnanaprakash *et al.*, 2021).

2.1.6.1 Explosive Handling

Bahan peledak (*explosive*) terbagi menjadi dua, yaitu bahan peledak kuat (*high explosive*) dan bahan peledak lemah (*low explosive*). Bahan peledak militer adalah berbagai produk bahan kimia yang dapat digunakan sebagai bahan peledak untuk kepentingan militer. Salah satu bahan peledak militer adalah propelan roket, yang termasuk ke dalam bahan peledak lemah (*low explosive*). Salah satu material bahan peledak yang saat ini diaplikasikan dalam bidang militer, khususnya pada industri propelan roket adalah material energetik RDX. Material energetik RDX ini diklasifikasikan sebagai *high explosive* dengan klasifikasi *hazard class* 1.1. Sehingga dalam penggunaannya, perlu dilakukan penanganan khusus mengenai bahan peledak tersebut. Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu terkait penyimpanan, pengangkutan dan operasi bahan peledak.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 74 tahun 2001 tentang pengelolaan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) pasal 11 yang berbunyi setiap orang yang memproduksi B3 wajib menyediakan SDS (*Safety Data*

Sheet). Dimana pada pasal 12 menyatakan setiap penanggung jawab pengangkutan, penyimpanan, dan pengedaran B3 wajib menyertakan SDS. Perlu diketahui bahaya dari suatu produk bahan kimia sebelum mulai digunakan harus melihat pada SDS, dengan mengetahui bahaya dari bahan kimia, petunjuk penanganan dan penyimpanan yang aman, serta berisi informasi tentang apa yang harus dilakukan dalam keadaan darurat.

SDS juga disebut sebagai Lembar Data Keselamatan Bahan (LDKB) yang merupakan sumber informasi yang mengandung informasi semua sifat bahaya yang terkandung didalam bahan kimia tersebut, seperti sifat mudah terbakar, beracun, korosif, mudah meledak, bersifat reaktif, bahan sensitif dan lain-lain. SDS juga merupakan sumber informasi cara penanganan jika terjadi kecelakaan dengan bahan kimia tersebut seperti tumpah, keracunan, terkena pada tubuh pekerja dan terhisap serta informasi Alat Pelindung Diri (APD) yang diperlukan saat penanganan atau penggunaan bahan kimia tersebut seperti kacamata *safety*, *respirator* dan sarung tangan (*glove*). Semua informasi tersebut sangatlah penting bagi pengguna untuk menghindari terjadi kecelakaan bahan kimia yang bisa berakibat fatal bagi pengguna.

2.1.7 Karakteristik Sensitivitas dan Energetik Propelan Komposit

2.1.7.1 Uji Sensitivitas Propelan

Penggunaan material energetik perlu memperhatikan beberapa faktor mengenai keselamatan pengoperasiannya, penyimpanan dan transportasi, serta keselamatan lingkungan. Bahan peledak harus ditangani dengan hati-hati karena *impact*, *friction*, *shock*, percikan, dan *heat sensitivity* pada bahan peledak dapat menyebabkan ledakan. Sehingga, uji sensitivitas sangat penting dilakukan, karena sensitivitas merupakan pertimbangan penting dalam memilih bahan peledak untuk aplikasi propelan dan juga akan mempengaruhi kestabilan propelan yang dihasilkan, sebab senyawa yang sensitif akan memiliki kestabilan yang

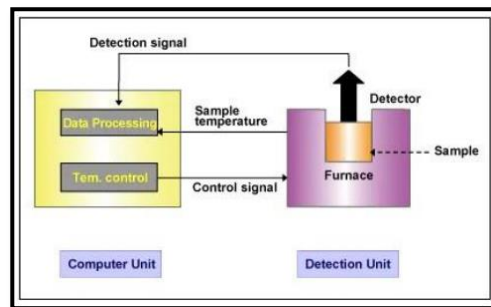
rendah. Hal ini akan mempengaruhi kestabilan selama penyimpanan, proses pembuatan, transportasi, dan proses penggunaan lebih lanjut (Agrawal, 2010).

Material yang tidak sensitif ditandai dengan suhu dekomposisi tinggi, sensitivitas terhadap gesekan rendah, ekspansi volume cepat, tidak ada dekomposisi *autocatalytic*, morfologi kristal bulat, daya adhesi dengan *binder* baik, tidak ada *void* yang dibawa oleh gelembung pelarut atau gas, dan kemurnian bahan kimia tinggi. Analisis sensitivitas diuji dengan melihat nilai sensitivitas terhadap gesekan, benturan, dan panas (suhu nyala atau *autoignition*). Diketahui material energetik RDX memiliki nilai *impact sensitivity* sebesar 7,4 Nm, *friction sensitivity* sebesar 120 N, dengan *deflagration point* sebesar 230°C (Wibowo, 2011). Menurut Liang *et al.* (2020), bahwa propelan berbasis RDX yang ditambah material energetik polymer GAP-ETPE dapat menurunkan sensitivitas terhadap benturan yaitu nilai H₅₀ sebesar 61,4 Nm.

2.1.7.2 DSC (*Differential Scanning Calorimetry*)

Analisa termal dapat didefinisikan sebagai pengukuran sifat-sifat fisik dan kimia material sebagai fungsi dari suhu. Pada prakteknya, istilah analisa termal seringkali digunakan untuk sifat-sifat spesifik tertentu, seperti entalpi, kapasitas panas, massa dan koefisien ekspansi termal. Uji sensitivitas panas propelan dilakukan dengan cara analisis termal menggunakan instrument berupa DSC (*Differential Scanning Calorimetry*).

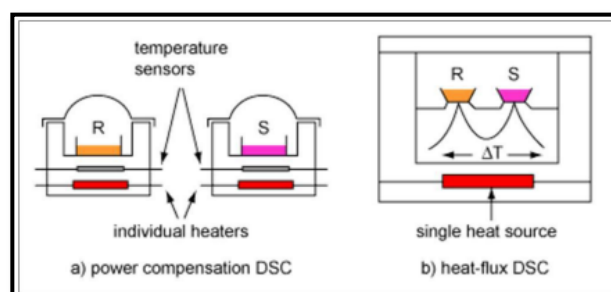
DSC merupakan suatu teknik analisa termal yang mengukur energi yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai fungsi waktu atau suhu. Ketika transisi termal terjadi pada sampel, DSC memberikan pengukuran kalorimetri dari energi transisi dari temperatur tertentu. Prinsip analisis termal secara umum dapat digambarkan pada instrument analisis termal seperti pada Gambar 2.2 sebagai berikut.



Gambar 2.2 Thermal Analysis Instrument
(Sumber: Almoselhy, 2020)

DSC mengukur suhu dan aliran panas yang berhubungan dengan transisi dalam bahan sebagai fungsi waktu dan suhu dalam suasana yang terkendali. Pengukuran ini memberikan informasi kuantitatif dan kualitatif tentang perubahan fisik dan kimia yang melibatkan proses endotermik atau eksotermik, atau perubahan kapasitas panas. Teknik ini memberikan keuntungan dari perubahan energi yang terlibat dalam transisi fase berbagai molekul polimer tertentu yang memungkinkan suatu material diketahui sifat fisika dan kimianya.

Beberapa hal yang dapat diketahui dari penggunaan DSC adalah transisi gas, titik leleh dan titik didih, waktu kristalisasi dan suhu, seberapa besar kristal yang ada, energi fusi dan reaksi, suhu degradasi, stabilitas termal, energi kinetik dan kemurnian suatu bahan. Prinsip pengukuran analisis termal menggunakan instrument DSC dapat dilihat pada Gambar 2.3 sebagai berikut.



Gambar 2.3 DSC Measuring Principles
(Sumber: Almoselhy, 2020)

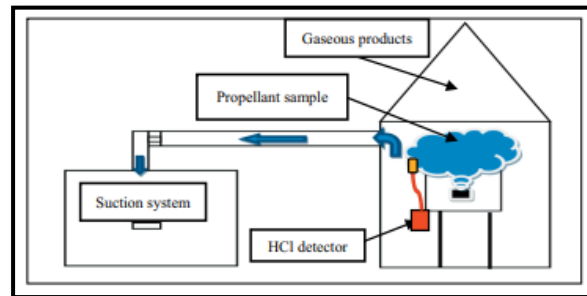
2.1.7.3 Propelan Rendah asap

Propelan komposit performa tinggi biasanya mengandung Al (Aluminium) karena memiliki suhu pembakaran tinggi dan oksidator AP (Ammonium Perklorat). Kelemahan propelan komposit saat ini, khususnya terhadap penggunaan AP yang akan menghasilkan gas HCl berupa gas putih yang cukup korosif dan sumber polusi udara yang dapat merusak lingkungan pada hasil pembakaran propelan. Selain itu, Al yang terbakar akan menghasilkan Aluminium Oksida (Al_2O_3) yang merusak lingkungan. 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). Beberapa bahan seperti Mg dan Al atau sodium nitrat ditambahkan untuk mereduksinya. Diketahui penambahan senyawa RDX ke dalam komposisi Al dan AP akan meningkatkan karakteristik pembakaran dan mengurangi asap (*reduced smoke*) pada hasil pembakaran propelan.

Saat ini, teknologi propelan rendah asap (*reduced smoke*) pada hasil pembakaran propelan menjadi fokus dalam penelitian dan pengembangan. Untuk mengetahui tingkat asap (*smoke*) suatu pembakaran propelan dapat diukur dari jumlah gas-gas yang dihasilkan dari pembakaran propelan (HCl, Al_2O_3). Uji rendah asap pada propelan dapat dilakukan dengan mengamati asap yang keluar dari hasil pembakaran propelan. Kemudian konsentrasi asap yang keluar diukur dengan *smoke filter device*.

Salah satu alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi asap hasil pembakaran propelan adalah *Gasmet dx4030 Portable Gas Analyzer*. Alat ini digunakan untuk menentukan konsentrasi gas HCl dalam produk gas dari asap hasil pembakaran propelan. Alat ini dapat mendeteksi hingga 25 gas secara bersamaan dan memberikan hasil yang divalidasi dalam waktu kurang dari 30 detik. Selanjutnya, kalibrasi internal dijalankan bersamaan dengan pengukuran sampel. Alat ini juga dilengkapi dengan pompa hisap *built-in* untuk membuang gas pembakaran setelah

setiap sampel dan penganalisis gas yang digunakan untuk menentukan persentase setiap gas yang dihasilkan termasuk HCl (Lin, 2019). Ruang pengujian asap sekunder dapat dilihat pada Gambar 2.4 sebagai berikut.



Gambar 2.4 Ruang Pengujian *Secondary Smoke*
(Sumber: Lin, 2019)

2.1.8 Metode Estimasi Pembakaran Propelan Berdasarkan Keseimbangan Termokimia Pembakaran

Energi pembakaran propelan dapat diuji dengan metode empiris maupun numeris. Pembakaran propelan dapat diprediksi secara numeris dengan beberapa metode seperti berdasarkan keseimbangan termokimia pembakaran (RPA, ProPEP), termodinamika pembakaran (CFD, BV), dan kinetika reaksi pembakaran.

Perhitungan performa energetik secara teoritis dibutuhkan untuk mengkarakterisasi performa dari sebuah propelan komposit. Setiap analisis dari masing-masing *software* akan memberikan nilai teoritis mengenai berat molekul, temperatur pembakaran, rasio kapasitas panas dari hasil pembakaran dan kecepatan karakteristik.

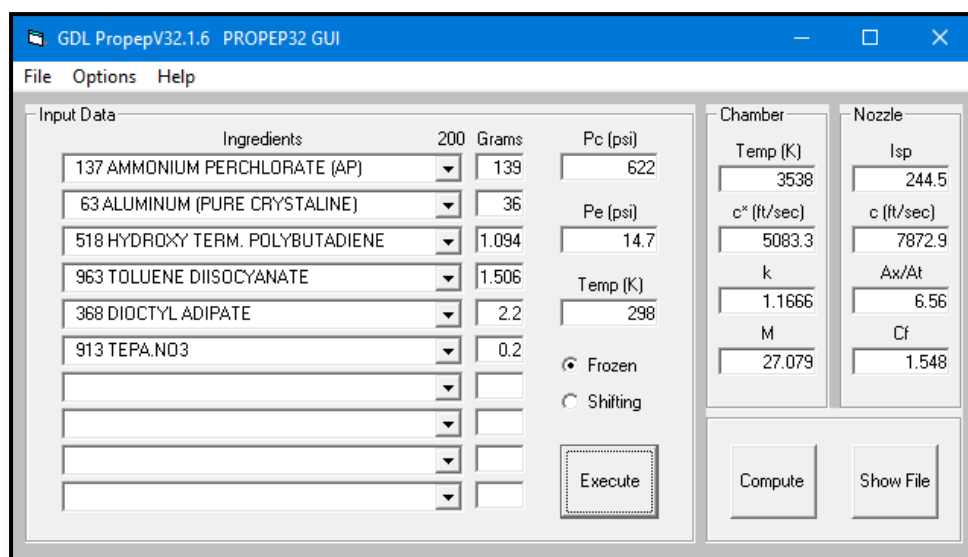
Pada penelitian ini, digunakan pendekatan keseimbangan termokimia pembakaran menggunakan ProPEP (*Propellant Evaluation Program*) dan RPA (*Rocket Propulsion Analysis*). Diketahui kedua *software* ini lebih sederhana, relative mudah digunakan, dan dapat memperoleh data komposisi gas hasil pembakaran dan nilai energi pembakarannya. Hasil simulasi akan divalidasi dengan pengujian pembakaran. Hasil perbandingan dari analisis kedua *software* tersebut merupakan "*decision tool*" untuk menetapkan *software* yang lebih tepat

digunakan untuk memprediksi performa energetik propelan yang diproduksi oleh ORPA-BRIN.

2.1.8.1 ProPEP (Propellant Evaluation Program)

ProPEP (*Propellant Evaluation Program*) merupakan sebuah “*Chemical Equilibrium Solver*” yang menyeimbangkan persamaan kimia yang berhubungan dengan reaktan dan produk propelan dengan metode yang dikenal dengan “*Minimization of Gibbs free Energy*”. Reaktan yang membentuk propelan ditransformasikan secara *adiabatic* dan *irreversible* terhadap reaksi unsur pokok produk dalam jumlah yang tetap menggunakan relasi *equilibrium*, tekanan ruang bakar, dan keseimbangan masa pada sebuah temperatur reaksi.

ProPEP diketahui sebagai *software* termokimia yang sangat berguna untuk mengevaluasi performa teoritis dari sebuah propelan padat. *Software* ini juga dapat digunakan untuk mengecek kemungkinan komposisi propelan, yang juga dapat digunakan menentukan dengan cepat rasio efektif kandungan untuk mencapai performa yang diinginkan. Adapun tampilan pada *software* ProPEP V32.1.6 dapat dilihat pada Gambar 2.5 sebagai berikut.

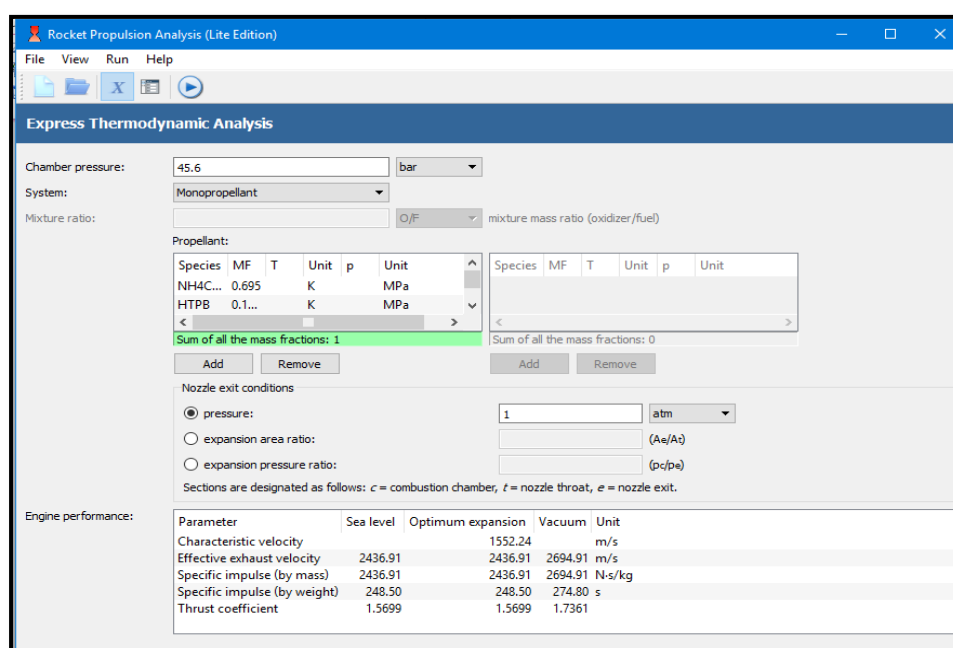


Gambar 2.5 Tampilan Software ProPEP
(Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2022)

Output pada *software* ini berupa *MS Notepad*, dimana hasil simulasi dicantumkan. Data yang telah dimasukkan, akan ditampilkan kembali dengan tambahan berupa kode pada *pepcoded.dat*, yang berupa nama unsur, persentase berat, delta enthalpy, densitas unsur, dan rumus kimia. Diketahui parameter penting dari keluaran ini adalah temperatur pembakaran yang dianggap sebagai temperatur nyala *adiabatic*, C_p/C_v dan rasio panas spesifik (k) untuk campuran pada kondisi ruang bakar, dan jumlah mol gas produk pembakaran (Jihad and Rosita., 2006).

2.1.8.2 RPA (Rocket Propulsion Analysis)

RPA (*Rocket Propulsion Analysis*) merupakan sebuah *software* yang digunakan untuk memprediksi performa *rocket engines* sebuah propelan komposit. RPA adalah program yang dirancang untuk menghitung konsentrasi produk kesetimbangan kimia dari serangkaian komponen propelan tertentu, menentukan sifat termodinamika untuk campuran produk, dan menghitung kinerja nosel uji teoritis serta estimasi. Adapun tampilan pada *software* RPA versi 1.2.9.0 dapat dilihat pada Gambar 2.6 sebagai berikut.



Gambar 2.6 Tampilan Software RPA
(Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2022)

Output pada *software* ini berupa parameter dan komposisi pembakaran. Dengan memberikan beberapa parameter mesin seperti tekanan ruang bakar, komponen propelan yang digunakan, dan parameter nosel, program memperoleh komposisi kesetimbangan kimia dari produk pembakaran, menentukan sifat termodinamika, dan memprediksi kinerja roket teoritis. Hasil perhitungan juga dapat digunakan untuk merancang ruang bakar, generator gas, dan pra pembakaran mesin roket propelan cair.

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian terdahulu yang relevan berkaitan dengan tesis ini merupakan referensi bagi peneliti untuk meneliti lebih lanjut terkait uji karakteristik propelan komposit berbasis RDX. Pada penelitian ini, terdapat 10 referensi jurnal penelitian terdahulu terkait propelan dengan penambahan RDX, dan karakteristik sensitivitas dan energetik propelan komposit rendah asap sebagai panduan awal peneliti untuk melakukan penelitian, antara lain sebagai berikut:

1. Liang *et al.* (2020), telah melakukan penelitian terkait karakteristik energetik dan sifat mekanik propelan berbasis RDX yang berenergi tinggi dan tidak sensitif. Pada penelitian ini, propelan energi tinggi dibuat berbasis RDX, NC, dan GAP-ETPE yang dicampur sebagai binder. Pengaruh rasio GAP-ETPE/NC, ukuran partikel RDX, dan kandungan RDX terhadap sifat mekanik propelan dipelajari dengan uji *impact sensitivity*, *friction sensitivity*, dan uji sifat permukaan padat. Hasil perhitungan 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. Dibandingkan dengan propelan standar SF-3, komposisi propelan yang disiapkan tidak sensitif terhadap benturan dan gesekan.

2. Lin, G., (2019), telah melakukan penelitian terkait metode baru untuk mengukur densitas asap primer (gas oksida logam dan karbon) dan asap sekunder (gas HCl) propelan komposit padat berbasis material energetik nitramine. Pada penelitian ini, menggunakan metode teoritis dan praktis untuk menentukan asap utama propelan komposit padat berdasarkan material energetik HMX dan *binder* HTPB. Formulasi propelan disiapkan dan kepadatan asap primer dan sekunder ditentukan secara eksperimental menggunakan *smoke filter device* untuk mengukur konsentrasi asap primer dan sekunder kemudian membandingkannya dengan hasil teoritis dari program termodinamika ICT yang digunakan untuk menghitung parameter balistik dan konsentrasi asap propelan komposit. Hasil penelitian menunjukkan penambahan bahan energetik nitramine HMX memiliki hasil yang baik untuk menghilangkan asap sekunder sumber penghasil gas HCl. Selain mengurangi sumber penghasil asap primer (gas HCl), penambahan nitramine HMX juga dapat mengubah hasil kinerja balistik.
3. Jensen *et al.* (2017), telah melakukan penelitian terkait propelan *Smokeless* berbasis GAP-RDX yang mengandung Diaminodinitroetilen (FOX-7). Pada penelitian ini, propelan GAP-RDX dibuat dengan RDX yang disubstitusikan ke dalam FOX-7. Penerapan FOX-7 dalam propelan *Smokeless* yang mengandung 60% padatan energetik dan 15% *plasticizer* energetik BuNENA. 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.

4. Fu *et al.* (2021), telah melakukan penelitian terkait pengaruh penambahan aditif nanokomposit berbasis *Phase Change Material* (PCM) pada dekomposisi termal dan karakteristik pembakaran propelan berenergi tinggi berbasis RDX. Pada penelitian ini, Nanokomposit berbasis PCM disiapkan dan ditambahkan ke propelan berenergi tinggi berbasis RDX sebagai aditif untuk mengetahui pengaruhnya terhadap dekomposisi termal dan karakteristik pembakaran propelan energi tinggi. Pengaruh nanokomposit berbasis PCM pada dekomposisi termal propelan energi tinggi diselidiki oleh teknologi TG/DSC-FTIR-MS. Hasil SEM dan EDS menunjukkan bahwa nanokomposit berbasis PCM memiliki kompatibilitas yang baik dalam formulasi propelan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa dekomposisi termal propelan berenergi tinggi dan stabilitas termal propelan berenergi tinggi meningkat setelah penambahan nanokomposit berbasis PCM. Diketahui bahwa penambahan nanokomposit berbasis PCM tidak hanya meningkatkan stabilitas termal dan menurunkan kinerja erosi, tetapi juga menyesuaikan proses pembakaran dan meningkatkan pembakaran progresif propelan energi tinggi yang mengandung RDX.
5. Gnanaprakash *et al.* (2021), telah melakukan penelitian yang bertujuan untuk memahami mekanisme pembakaran propelan berbasis RDX dan propelan *sandwich*. Empat jenis campuran matriks AP/Al/*binder*, dimana dua sampel mengandung 5% dan 20% RDX sedangkan dua campuran lainnya tanpa RDX sebagai perbandingan. Diketahui bahwa tingkat pembakaran keseluruhan propelan *sandwich* berbasis RDX relatif tinggi jika dibandingkan dengan propelan tanpa RDX yang sesuai.
6. Wen *et al.* (2021), telah melakukan penelitian terkait penerapan poliester bercabang pada propelan komposit padat berbasis HTPE/AP/Al/RDX. Dalam penelitian ini, *polyester hyperbranched* termodifikasi (MHBPE) disiapkan dan dimasukkan ke dalam propelan

padat HTPE/AP/Al/RDX sebagai aditif yang efektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat peningkatan kinerja mekanik, ketahanan mulur, dan perilaku relaksasi tegangan yang sangat penting untuk memperluas potensi aplikasi propelan padat komposit berbasis HTPE/AP/Al/RDX.

7. Guo *et al.* (2017), telah melakukan penelitian terkait pengaruh binder GAP-ETPE/NC terhadap karakteristik dekomposisi termal, stabilitas, dan sifat mekanik propelan berbasis nitramine. Pada penelitian ini, analisa termal propelan menggunakan DSC, stabilitas termal propelan diuji dengan percobaan metil violet dan uji stabilitas vakum, serta diuji sifat mekanik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa GAP-ETPE memiliki kompatibilitas yang baik dengan NC, dan tidak ada interaksi antara GAP-ETPE dan RDX dalam frasa padat. Ketika meningkatkan kandungan GAP-ETPE dalam system *binder*, puncak dekomposisi NC menghilang secara bertahap, dan suhu puncak dekomposisi utama meningkat. Sementara itu, energi aktivasi dan faktor frekuensi yang dihitung dengan metode *Kissinger* dan FWO menggunakan data termoanalitik non-isotermal semuanya sedikit meningkat. Stabilitas termal propelan juga meningkat pesat ketika GAP-ETPE dimasukkan ke dalam sistem pengikat. Ketika proporsi GAP-ETPE/NC adalah 1:1 dan 1:2 dalam sistem pengikat, sifat mekanik propelan nitramine relatif sangat baik.
8. Fu *et al.* (2021), telah melakukan penelitian terkait koefisien sensitivitas temperatur propelan berbasis RDX dan muatan campurannya. Pada penelitian ini, propelan berbasis RMNEGP (RDX-NC-NG-DEGDN) dan MNEGP (NC-NG-DEGDN) disiapkan untuk mendapatkan muatan campuran dengan koefisien sensitivitas suhu yang berbeda. Koefisien sensitivitas suhu propelan dan muatan campurannya dianalisis dengan menggunakan uji bejana tertutup, SEM, dan eksperimen penembakan balistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan permukaan pembakaran propelan

RMNEGP mengkompensasi penurunan laju pembakaran propelan ketika suhu awal diturunkan dibandingkan dengan MNEGP. Koefisien sensitivitas suhu propelan RMNEGP lebih rendah daripada propelan MNEGP, dimana koefisien sensitivitas suhu dari muatan campuran propelan RMNEGP dan propelan MNEGP berada di antara kedua koefisien sensitivitas suhu dalam kisaran 40°C - 20°C dan 20°C - 50°C .

9. Xie *et al.* (2018), telah melakukan penelitian terkait peningkatan sensitivitas dan stabilitas propelan NEPE (*Nitrate Ester Plasticized Polyether*) dengan menambahkan FOX-7. Pada penelitian ini, kinerja propelan dievaluasi dengan cara perhitungan teoritis, pembakaran, mekanik dan uji sensitivitas. Hasil penelitian menunjukkan laju pembakaran meningkat seiring dengan peningkatan eksponen tekanan dari 0,44 menjadi 0,48, nilai *friction sensitivity* propelan menurun (dari 100% menjadi 88% di bawah tekanan 2,45 MPa) dan *impact sensitivity* (H_{50}) meningkat dari 6,74 Nm menjadi 9,31 Nm (*hammer* 2,5 kg). Diketahui bahwa penambahan FOX-7 dapat meningkatkan laju pembakaran dan meningkatkan keamanan propelan tanpa mengurangi energi propelan secara signifikan.
10. Deschner *et al.* (2018), telah melakukan penelitian terkait propelan rendah asap dengan sensitivitas yang rendah. Pada penelitian ini, diuji sensitivitas, sifat balistik dan mekanik dari propelan GAP yang mengandung 65% pengisi energetik. Diketahui bahwa perbedaan sifat antara propelan yang mengandung RS-RDX atau RS-HMX hanya sedikit. Hasil penelitian menunjukkan, propelan yang mengandung AN menunjukkan sifat mekanik terbaik. Namun, tingkat *burn rate* turun drastis untuk propelan GAP/AN dibandingkan dengan propelan GAP/nitramine. *Impact sensitivity* dan *friction sensitivity* dari propelan GAP berbasis AN atau FOX-7 lebih rendah dibandingkan dengan propelan GAP berbasis nitramine.

Tabel 2.3 Hasil Penelitian Terdahulu

No	Nama Penulis	Judul	Permasalahan	Metode	Hasil	Persamaan	Perbedaan
1	Liang, T., Zhang, Y., Ma, Z., Guo, M., Xiao, Z., Zhang, J., Dong, M., Fan, J., Guo, Z. and Liu, C., (2020)	Energy Characteristics and Mechanical Properties of Cyclotrimethylenetri nitramine (RDX)-Based Insensitif High-Energy Propellant	Ingin mengetahui karakteristik energi dan sifat mekanik dari propelan berenergi tinggi dan <i>low sensitivity</i> yang berbasis RDX	Eksperimen laboratorium: Pembuatan dan karakteristik energi dan sifat mekanik propelan (<i>impact sensitivity, friction sensitivity, dan sifat permukaan</i>)	Sifat mekanik dan energi permukaan propelan meningkat pesat ketika partikel RDX lebih kecil. Propelan yang dipelajari menunjukkan peningkatan linier dalam gaya propelan dan suhu ledakan dengan meningkatnya RDX. Namun, meningkatnya RDX secara signifikan mengurangi rasio kompresi maksimum, kekuatan <i>impact</i> dan energi permukaan.	Uji karakteristik sensitivitas dan energetik propelan <i>Minimum Smoke</i> berbasis material energetik RDX	Propelan yang dibuat mengandung GAP-ETPE dan NC
2	Lin, G., (2019)	Novel Method for Measuring Primary	Ingin mengetahui dan mengukur	Eksperimen laboratorium:	Penambahan bahan energetik nitramine HMX	Uji karakteristik	Propelan yang dibuat

		and Secondary Smoke Density of Reduced HCl Exhaust Composite Solid Rocket Propellant (CSR) Based on Nitramine Energetic Material	densitas asap primer dan asap sekunder (gas HCl) dari hasil pembakaran propelan roket komposit padat berbasis material energetik Nitramine.	Pembuatan dan pengukuran densitas asap primer dan sekunder menggunakan <i>smoke filter device</i>	memiliki hasil yang baik untuk menghilangkan asap sekunder sumber penghasil gas HCl. Selain mengurangi sumber penghasil asap primer (gas HCl), penambahan nitramine HMX juga dapat mengubah hasil kinerja balistik.	propelan <i>Minimum Smoke</i> berbasis material energetik Nitramine	berbasis material energetik HMX
3	Jensen, T.L., Unneberg, E. and Kristensen, T.E., (2017)	<i>Smokeless</i> GAP-RDX Composite Rocket Propellants Containing Diaminodinitroethylene (FOX-7)	Ingin mengetahui kinerja propelan <i>Smokeless</i> GAP-RDX yang mengandung Diaminodinitroethylene (FOX-7)	Eksperimen laboratorium: Pembuatan dan karakterisasi (MTS, DMA, DSC, FTIR)	Penambahan FOX-7 diketahui dapat mengurangi kinerja termokimia propelan, dan sampel propelan tanpa RDX cenderung mengalami pembakaran yang tidak stabil pada tekanan rendah.	Uji karakteristik propelan <i>Smokeless</i> berbasis material energetik RDX	Mensubstitusi RDX dengan FOX-7
4	Fu, E.F., Sun, N. and Xiao,	Effects of Phase Change Material	Ingin mengetahui pengaruh	Eksperimen laboratorium:	Penambahan nanokomposit berbasis PCM tidak hanya	Uji karakteristik	Terdapat penambahan

	Z.G., (2021)	(PCM)-based Nanocomposite Additives on Thermal Decomposition and Burning Characteristic of High Energy Propellants Containing RDX	penambahan aditif nanokomposit berbasis <i>phase change material</i> (PCM) terhadap dekomposisi termal dan karakteristik pembakaran propelan berenergi tinggi yang mengandung RDX.	Pembuatan dan karakterisasi (SEM, DSC, FTIR)	meningkatkan stabilitas termal dan menurunkan kinerja erosi, tetapi juga menyesuaikan proses pembakaran dan meningkatkan pembakaran progresif propelan berenergi tinggi berbasis RDX.	propelan <i>Minimum Smoke</i> berbasis material energetik RDX	bahan aditif nanokomposit berbasis PCM ke dalam propelan
5	Gnanaprakash, K., Chakravarthy, S.R., Jayaraman, K., Appu, H. and Singh, D.,	Combustion Behaviour of Composite Sandwich Propellants Containing RDX	Ingin mengetahui mekanisme pembakaran propelan berbasis RDX dan propelan sandwich.	Eksperimen laboratorium: Pembuatan dan karakterisasi (SEM)	Hasil menunjukkan bahwa tingkat pembakaran keseluruhan propelan sandwich berbasis RDX relatif tinggi jika dibandingkan dengan propelan non-RDX yang sesuai.	Uji karakteristik propelan <i>Minimum Smoke</i> berbasis material	Pengukuran laju pembakaran propelan

	(2021)					energetik RDX	
6	Wen, X., Chen, K., Sang, C., Yuan, S. and Luo, Y., (2021)	Applying Modified Hyperbranched Polyester in (HTPE/AP/AI/RDX) Composite Solid Propellant	Ingin mengetahui karakteristik mekanik terhadap penerapan poliester bercabang pada propelan komposit padat berbasis HTPE/AP/AI/RDX.	Eksperimen laboratorium: Pembuatan dan karakterisasi (FTIR, SEM, DMA)	Terdapat peningkatan kinerja mekanik, ketahanan mulur, dan perilaku relaksasi tegangan yang sangat penting untuk memperluas potensi aplikasi propelan Uji karakteristik propelan <i>Minimum Smoke</i> berbasis material energetik RDX komposit padat berbasis HTPE/AP/AI/RDX.	Uji karakteristik propelan <i>Minimum Smoke</i> berbasis material energetik RDX	Propelan berbasis HTPE/AP/AI/RDX
7	Guo, M., Ma, Z., He, L., He, W. and Wang, Y., (2017)	Effect of Varied Proportion of GAP-ETPE/NC as <i>Binder</i> on Thermal Decomposition Behaviors, Stability and Mechanical	Ingin mengetahui pengaruh <i>binder</i> GAP-ETPE/NC terhadap karakteristik dekomposisi termal, stabilitas,	Eksperimen laboratorium: Pembuatan dan karakterisasi (Analisa termal DSC, uji stabilitas termal	GAP-ETPE memiliki kompatibilitas yang baik dengan NC, dan tidak ada interaksi antara GAP-ETPE dan RDX dalam frase padat. Meningkatkan kandungan GAP-ETPE dalam sistem	Uji karakteristik sifat energetic dan mekanik propelan berbasis nitramine RDX	Propelan menggunakan <i>binder</i> GAP-ETPE/NC

		Properties of Nitramine Propellants	dan sifat mekanik propelan berbasis nitramine.	dengan percobaan metil violet, uji stabilitas vakum, dan uji sifat mekanik.	<i>binder</i> , membuat suhu puncak dekomposisi utama meningkat, dan peningkatan pada stabilitas termal propelan. Proporsi GAP-ETPE/NC sebesar 1:1 dan 1:2 dalam sistem <i>binder</i> menghasilkan sifat mekanik propelan yang baik.		
8	Fu, Y., Zhu, Y., Liu, Z., Xu, B., Shen, J., Wang, Y. and Liao, X., (2021)	Temperature Sensitivity Coefficients of RDX-Based Propellants and Their Mixed Charges	Ingin mengetahui terkait koefisien sensitivitas temperature propelan berbasis RDX dan muatan campurannya.	Eksperimen laboratorium: Pembuatan dan karakterisasi (SEM).	Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien sensitivitas suhu propelan RMNEGP lebih rendah daripada propelan MNEGP.	Uji karakteristik propelan <i>Minimum Smoke</i> berbasis material energetik RDX	Fokus terhadap propelan double base
9	Xie, W., Zhao, Y., Zhang, W.,	Sensitivity and Stability	Ingin mengetahui kinerja propelan	Eksperimen laboratorium:	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan FOX-7	Uji karakteristik	Material energetik

	Liu, Y., Fan, X., Wang, B., He, W. and Yan, Q.L., (2018)	Improvements of NEPE Propellants by Inclusion of FOX-7	(uji energetik, uji mekanik, dan uji sensitivitas).	Pembuatan dan karakterisasi (Uji energetik dengan perhitungan teoritis, uji mekanik, dan <i>BAM test</i>).	dapat meningkatkan laju pembakaran dan meningkatkan keamanan propelan tanpa mengurangi energi propelan secara signifikan.	sifat energetik dan sensitivitas propelan berbasis material energetik	berbasis FOX-7
10	Deschner, T., Lokke, E.A., Kristensen, T.E., Jensen, T.L. and Unneberg, E., (2018)	Insensitif Minimum Smoke Propellants for Tactical Missiles	Ingin mengetahui sensitivitas, sifat balistik dan mekanik dari propelan GAP yang mengandung 65% material energetik.	Eksperimen laboratorium: Pembuatan dan karakterisasi (Uji mekanik, <i>burn rate</i> , dan <i>BAM test</i>)	Diketahui propelan yang mengandung AN menunjukkan sifat mekanik terbaik. Namun, tingkat <i>burn rate</i> tinggi pada propelan GAP/nitramine. Sensitivitas propelan GAP/AN/FOX-7 lebih rendah dibandingkan dengan propelan berbasis GAP/nitramine.	Uji karakteristik sifat energetik dan sensitivitas propelan berbasis material energetik	Material energetik berbasis FOX-7

Sumber: (Olahan Peneliti, 2022)

2.3 Kerangka Pemikiran

Input

Latar Belakang:

- Pada penerapannya di teknologi antariksa, propelan komposit padat sering digunakan sebagai bahan bakar pada roket pertahanan untuk keperluan militer.
- Dalam rangka penguasaan teknologi propelan roket di Indonesia, pengembangan propelan di ORPA-BRIN saat ini menggunakan komposisi propelan komposit berbasis komposisi utama AP/HTPB/Al.
- Teknologi propelan rendah asap (*reduced smoke*) menjadi fokus dalam penelitian yang saat ini gencar dilakukan pengembangan. Saat ini, di ORPA-BRIN sedang mengembangkan propelan dengan komposisi RDX (*Cyclotrimethylene Trinitramine*).



Permasalahan:

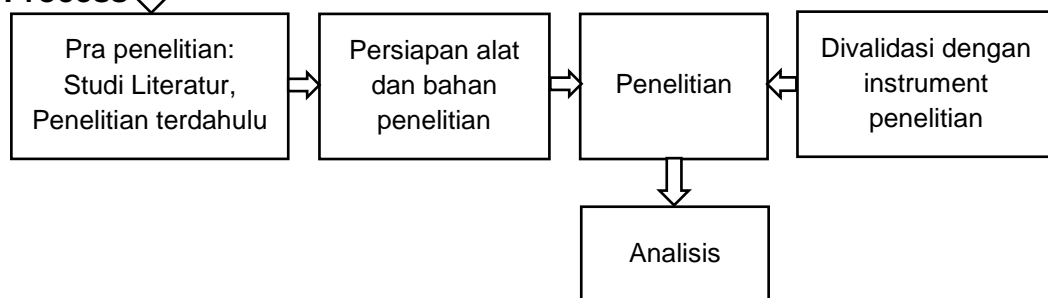
Perkembangan propelan komposit padat saat ini di ORPA-BRIN masih menghasilkan asap (*smoke*) dan jelaga pada hasil pembakarannya. Selain dapat mengganggu pembakaran (*erosive burning*), asap dan jelaga yang dihasilkan juga berdampak buruk terhadap lingkungan. Oleh karena itu, saat ini teknologi propelan rendah asap atau *reduced smoke* menjadi fokus dalam penelitian yang saat ini gencar dilakukan pengembangan.



Rumusan Masalah:

- Seberapa sensitif propelan komposit dengan menggunakan RDX yang dilapisi material polymer?
- Bagaimana karakteristik sifat energetik pada propelan komposit padat yang dihasilkan dengan penambahan RDX yang dilapisi material polymer?
- Bagaimana karakteristik propelan rendah asap pada propelan komposit padat yang dihasilkan dengan penambahan RDX yang dilapisi material polymer?

Process



Output

Hasil analisis berupa data hasil beberapa parameter uji karakteristik pada propelan komposit padat berupa hasil uji sensitivitas, uji sifat energetik dan uji propelan rendah asap.