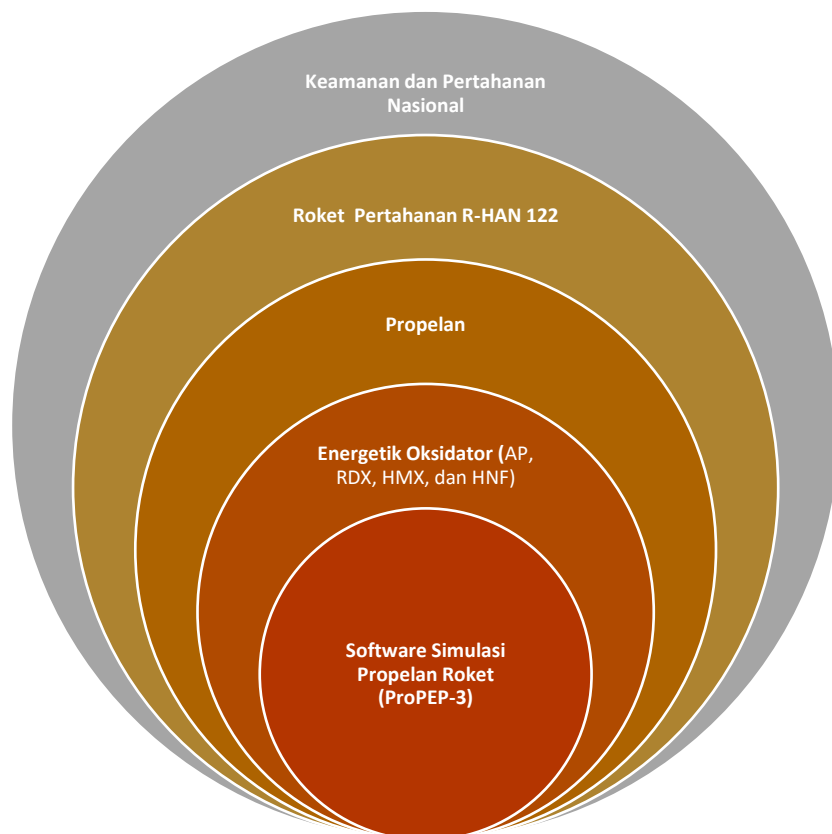


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Setelah membahas pentingnya riset roket untuk pertahanan dan kendalanya selanjutnya dibahas landasan teori terhadap teori-teori yang menjadi landasan penelitian dalam tesis ini. Landasan teori ini yang terbagi menjadi *grand theory*, *middle theory* dan *applied theory*. *Grand theory* mencakup teori keamanan dan pertahanan nasional. *Middle theory* mencakup R-HAN 122B dan propelan. Sedangkan untuk *applied theory* terdiri atas teori energik oksidator dan ProPEP-3 sebagai mana yang terlihat pada gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 2.1 Skema Landasan Teori dan Keterkaitan Antartopik

Sumber: Diolah Peneliti

2.1.1 Keamanan dan Pertahanan Nasional

Konsep keamanan nasional melibatkan berbagai dimensi yang merangkum perlindungan terhadap integritas dan stabilitas suatu negara dari ancaman baik yang berasal dari dalam maupun luar. Awalnya, istilah "keamanan" hanya merujuk pada perlindungan negara. Menurut Komisi Konstitusi (2004), Patrick J. Garrity menyatakan bahwa pengertian "security" : *"closely tied to a state's defense of sovereign interest by military means. At its most fundamental level, the term security has meant the effort to protect a population and territory against organized force while advancing state interest through competitive behavior"*.

Secara mendasar, keamanan berarti usaha melindungi penduduk dan wilayah dari kekuatan terorganisir sambil mendorong kepentingan negara melalui perilaku kompetitif. Istilah "keamanan" berasal dari kata dasar "aman", yang menggambarkan keadaan bebas dari bahaya, terlindungi, dan dapat diandalkan. Sementara itu, "keamanan" mengacu pada suasana yang tenang dan damai. Pandangan konvensional tentang keamanan nasional berfokus pada kemampuan pemerintah untuk melindungi integritas teritorial negara dari ancaman luar dan dalam. Keamanan nasional merupakan unsur esensial dalam penyelenggaraan negara. Mewujudkan negara yang aman dan damai adalah upaya untuk menciptakan lingkungan bebas dari ancaman dan gangguan, baik internal maupun eksternal. Dalam pandangan yang lebih luas, (Darmono, 2010) mengartikan keamanan nasional sebagai "Kebutuhan dasar untuk melindungi dan menjaga kepentingan nasional suatu bangsa yang menegara dengan menggunakan kekuatan politik, ekonomi dan militer untuk menghadapi berbagai ancaman baik yang datang dari luar maupun dari dalam negeri. Keamanan nasional juga dapat diartikan sebagai kebutuhan untuk memelihara dan mempertahankan eksistensi negara melalui kekuatan ekonomi, militer dan politik serta pengembangan diplomasi".

Menurut buku putih pertahanan Indonesia (2015) pertahanan nasional didefinisikan sebagai kerangka konsep yang digunakan untuk memahami dan merencanakan strategi pertahanan suatu negara dengan tujuan menjaga keamanan, kedaulatan, dan integritas wilayahnya dari segala bentuk ancaman dan agresi. Dalam UU Republik Indonesia No. 3 Tahun 2002 tentang pertahanan negara, pasal 1 dan 2 menguraikan landasan konsep dasar yang esensial bagi usaha menjaga keamanan dan kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI). Pasal 1 menjabarkan bahwa pertahanan negara mengimplikasikan langkah-langkah dalam memelihara kedaulatan, wilayah NKRI, dan keamanan seluruh warga negara dari risiko serta perusakan yang mengancam kesatuan dan integritas negara. Sementara itu, pasal 2 menggambarkan kerangka kerja sistem pertahanan negara yang mencakup seluruh komponen masyarakat, wilayah, dan sumber daya nasional. Sistem ini didesain guna menegakkan kedaulatan negara, menjaga kelengkungan wilayah, dan memastikan keselamatan semua warga dari beragam ancaman.

Untuk menjamin kemandirian nasional memperkuat kekuatan militer menjadi hal penting, upaya ini dapat dilakukan dengan pengembangan teknologi pertahanan berupa alutsista sebagai instrumen pendukung guna menjamin kekuatan militer dalam melaksanakan tugas pokoknya. Sesuai dengan Undang-undang Nomor 16 tahun 2012 tentang industri pertahanan, KKIP memiliki berbagai tugas dan wewenang, termasuk penyusunan Rencana Induk Industri Pertahanan jangka panjang dan menengah. Hal ini sejalan dengan Peraturan Presiden RI Nomor 8 Tahun 2021 tentang Kebijakan Umum Pertahanan Negara Tahun 2020-2024 (Jakumhaneg), yang menetapkan bahwa pembangunan harus fokus pada penguasaan teknologi kunci dalam 10 program prioritas, termasuk pesawat tempur, kapal selam, propelan, roket, peluru kendali, radar, satelit militer, tank berukuran sedang, pesawat udara tanpa awak, dan penginderaan bawah permukaan air guna memenuhi kebutuhan kekuatan militer Indonesia.

2.1.2 Roket Pertahanan (R-HAN 122B)

Roket R-HAN 122B adalah keluarga artileri roket yang dikembangkan oleh Konsorsium Roket Nasional yang terdiri dari Kementerian Pertahanan, Lapan dan 3 BUMN Industri Pertahanan, yaitu PT Pindad (Persero), PT Dahana (Persero), dan PT Dirgantara Indonesia (Persero) berhasil menciptakan RHan-122B. dengan kecepatan maksimum Mach 2,95 (3.614 km/h) dan jangkauan maksimum 32 km. Roket ini utamanya digunakan oleh Tentara Nasional Indonesia (TNI). R-HAN 122 merupakan hasil pengembangan dari roket sebelumnya, yaitu D-230 tipe RX 1210, yang awalnya dikembangkan oleh Kementerian Riset dan Teknologi. Roket D-230 memiliki kecepatan maksimum Mach 1,8 (2.205 km/h) atau sekitar kecepatan suara. Pada Maret 2012, dilakukan peluncuran sebanyak 50 roket R-HAN 122 di Pusat Latihan Tempur TNI Angkatan Darat Baturaja, Kabupaten Ogan Komering Ulu, Sumatra Selatan. R-HAN 122 digunakan sebagai senjata berdaya ledak optimal dengan fokus pada sasaran darat dan jangkauan tembak hingga 26 kilometer (Karlina, 2013). Dengan kemampuan jangkauan yang signifikan, roket ini mampu mencapai target jarak jauh dengan akurasi yang baik, sehingga sangat efektif dalam menghadapi ancaman dari berbagai arah. Fleksibilitas penggunaannya menjadikannya cocok untuk berbagai peran pertahanan, termasuk pertahanan udara, laut, atau darat. Kemampuan manuver dan mobilitas yang tinggi memungkinkan untuk menempatkan roket ini di lokasi yang strategis sesuai dengan kebutuhan pertahanan nasional. Roket R-HAN 122 juga memiliki kemampuan presisi yang tinggi dalam peluncuran dan pengendalian, memastikan target dapat dicapai dengan akurasi maksimal. Selain itu, roket ini dapat digunakan untuk membawa berbagai jenis hulu ledak, sesuai dengan situasi dan kebijakan pertahanan nasional, termasuk hulu ledak konvensional atau nuklir. Keberadaan dan kemampuan Roket R-HAN 122 mendukung kedaulatan nasional dan memberikan negara kemampuan untuk merespons ancaman terhadap keamanan nasionalnya dengan efektif.

Sejarah pengembangan roket R-HAN 122 dimulai pada tahun 2007 ketika Kementerian Riset dan Teknologi membentuk Tim D230 untuk mengembangkan roket berdiameter 122 mm dengan jangkauan 20 kilometer. Prototipe roket D-230 awalnya dibeli oleh Kementerian Pertahanan dan Keamanan sebagai bagian dari program seribu roket. Untuk menggerakkan program ini, Pemerintah membentuk Konsorsium Roket Nasional yang diketuai oleh PT Dirgantara Indonesia (DI) sebagai koordinator bisnis massal yang telah berjalan sejak tahun 2005. Konsorsium ini terdiri dari berbagai industri strategis yang bertanggung jawab atas berbagai komponen roket. PT Pindad bekerja pada pengembangan peluncur dan sistem penembakan menggunakan platform GAZ, Nissan, dan Perkasa yang dimodifikasi dengan laras 16 dan hulu ledak, serta mobil peluncur (hulu ledak). PT Dahana bertanggung jawab atas propelan, sementara PT Krakatau Steel mengembangkan material tabung dan struktur roket. PT Dirgantara Indonesia bertugas merancang dan menguji jarak terbang roket.

Selain anggota konsorsium, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menyediakan peralatan untuk menentukan posisi jatuh roket. ITB menyediakan sistem kamera nirkabel untuk mengambil dan mengirimkan gambar saat roket mencapai sasaran. Beberapa perguruan tinggi lain, termasuk UGM, ITS, Universitas Ahmad Dahlan, dan Universitas Suryadharma, juga terlibat dalam pengembangan roket ini. Nama D-230 kemudian diubah menjadi R-HAN 122 setelah pembelian oleh Kementerian Pertahanan. Proses pengembangan roket militer melibatkan tantangan yang kompleks, terutama dalam hal sistem isolasi termal. Beberapa kali uji coba dilakukan untuk mencapai kesempurnaan dalam roket R-HAN 122. Pada tahun 2013, para peneliti menghadapi kendala dengan bahan kritis berketebalan baja 1,2 mm yang rentan rusak. Mereka kemudian mengembangkan sistem isolasi termal yang lebih baik, mengingat roket harus mampu bertahan pada suhu tinggi saat peluncuran.

2.1.3 Propelan

Propelan merujuk pada jenis material yang, jika dibakar, menghasilkan molekul gas dalam jumlah besar dan mencapai temperatur yang sangat tinggi selama proses pembakaran berlangsung (Kubota, 2015). Karakteristik ini menjadikan propelan memiliki energi yang signifikan dan mampu menyebabkan ledakan, sehingga material ini sering digunakan dalam konteks senjata api, bahan peledak, dan sistem propulsi roket. Dalam domain teknologi antariksa, propelan memiliki peran penting sebagai bahan bakar dan salah satu komponen sistem propulsi pada wahana antariksa (Susanto & Abdillah, 2014). Pada aplikasinya, penggunaan propelan lebih sering dikaitkan dengan teknologi roket, baik dalam skala militer yang melibatkan penggunaan hulu ledak maupun dalam penggunaan roket pendorong untuk meluncurkan satelit.

Secara umum, propelan dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu propelan padat dan propelan cair. Propelan padat memiliki wujud fisik padat atau bersifat non-fluida. Keunggulan propelan padat terletak pada kemampuannya untuk penyimpanan yang lebih mudah, namun kelemahannya terletak pada ketidakmampuannya untuk diatur secara fleksibel (*unthrottleable*) dalam mengatur besar-kecilnya dorongan (*thrust*) yang dihasilkan. Selain itu, impuls spesifik dari propelan padat cenderung lebih rendah dibandingkan dengan propelan cair. Berdasarkan komposisi senyawa kimianya, propelan dapat dikategorikan menjadi tiga golongan utama. Golongan pertama didasarkan pada senyawa nitroselulosa, yang sering digunakan dalam konteks senjata. Propelan jenis ini mencakup propelan SB (*single base*), DB (*double base*), dan SN (semi nitramin). Kemudian, terdapat kelompok propelan yang lebih canggih yang menggunakan polimer sintetik sebagai bahan pengikat. Apabila senyawa nitramin organik dicampur dengan polimer, hal ini dikenal sebagai propelan nitramin. Sedangkan jika padatan garam anorganik digunakan sebagai oksidator, maka disebut sebagai propelan komposit, yang umumnya digunakan dalam konteks propulsi roket (Wibowo, 2010).

Dengan pemahaman mengenai jenis-jenis propelan dan karakteristik kimianya, penggunaan propelan dalam berbagai konteks, terutama dalam teknologi roket menjadi lebih terarah dan efektif. Berikut adalah komposisi umum propelan berdasarkan jenis-jenis nya menurut Kubota (2015):

Tabel 2.1 Komposisi Umum Propelan

No.	Jenis Propelan	Komposisi Bahan Baku		Metode Penyiapan	Pemanfaatan
		Utama	Pendukung		
1	<i>Single Base (SB)</i>	NC	<i>Plasticizers, stabilizers, flash reducers</i>	Extrusion	<i>Small – arms, Gun ammunition</i>
2	<i>Double Base (DB)</i>	NC, NG	<i>Plasticizers, stabilizers (for rocket propellants, ballistic modifiers are also used)</i>	Extrusion (Casting for certain rocket propellants)	<i>Gun ammunition, rockets, missiles</i>
3	<i>Triple Base (TB)</i>	NC, NG, Nitroguanidine	<i>Plasticizers, stabilizers, flash reducers</i>	Extrusion	<i>Large – caliber naval guns, artillery guns</i>
4	<i>Nitramine Base (NB)</i>	NC, NG, RDX	<i>Plasticizers, stabilizers (for rocket propellants, ballistic modifiers are also used)</i>	Extrusion	<i>Gun ammunition, rockets, missiles</i>
5	<i>Composite Propellants</i>	<i>AP, aluminium, polymeric binder cum fuel</i>	<i>Plasticizers, burn rate catalysts, etc</i>	Casting	<i>Rockets and Missiles</i>
6	<i>Composite Modified DB</i>	NC, NG , AP, aluminium	<i>Plasticizers, burn rate, catalysts, etc</i>	Casting	<i>Rockets and Missiles</i>
7	<i>Liquid Propellants for Rockets</i>	Liquid Oxidizers (e.g., red fuming HNO ₃ , hydrogen peroxide), liquid fuels (e.g., aniline, hydrocarbon)	-	Prepared oxidizer and fuels kept in separate tanks	<i>Rockets and Missiles</i>

Sumber: Kubota, 2015

2.1.3.1 Karakteristik Propelan

Secara teoritis karakteristik dari beberapa propelan dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.2 Karakteristik Beberapa Jenis Propelan

No.	Tipe Propelan	<i>I</i> Sp (sec)	Flame Temp (K)	Density (lb/in ³)	Burning Rate (in/sec)	Pressure exponent (n)	Stress (psi) / Strain (%)
1	DB	220-230	2550	0.058	0.05-1.2	0.30	490/60
2	DB/AP/IA	260-265	3880	0.065	0.2-1.0	0.40	120/50
3	DB/AP/HMX/AI	265-270	4000	0.065	0.2-1.2	0.49	50/33
4	PVC/AP/AI	260-265	3380	0.064	0.3-0.9	0.35	38/220
5	PU/AP/AI	260-265	3440	0.064	0.2-0.9	0.15	75/33
6	PBAN/AP/AI	260-263	3500	0.064	0.25-1.0	0.33	71/28
7	CTPB/AP/AI	260-265	3440	0.064	0.25-2.0	0.40	88/75
8	HTPB/AP/AI	260-265	3440	0.067	0.25-3.0	0.40	90/33
9	PBAA/AP/AI	260-265	3440	0.064	0.25-1.3	0.35	41/31

Sumber: Nuryanto, 2008

Dapat dilihat pada tabel diatas pada umumnya senyawa *perchlorate* atau nitrat sangat dominan, sampai saat ini oksidator yang banyak digunakan dalam propelan adalah *Ammonium Perchlorate* (Nuryanto, 2008). Selain amonium perkhlorat sebenarnya ada beberapa oksidator yang juga umum digunakan diantaranya adalah *potassium perchlorate*, *sodium perchlorate*, *ammonium nitrate* dan *potasium nitrate*. Pada tabel berikut akan di uraikan sifat dari beberapa oksidator:

Tabel 2.3 Sifat dari Beberapa Oksidator

No.	Oksidator	Simbol Kimia	Massa Molekul	Density (Kg/m ³)	Kandungan Oksigen (%)	Keterangan
1	<i>Ammonium Perchlorate</i>	NH ₄ ClO ₄	117.49	1949	54.5	- Low cost - Mudah didapat
2	<i>Potassium Perchlorate</i>	KClO ₄	138.55	2519	46.2	- Low burning rate - Medium performace
3	<i>Sodium Perchlorate</i>	NaClO ₄	122.44	2018	52.3	- Hygroscopic - High performace
4	<i>Ammonium Nitrate</i>	NH ₄ NO ₃	80.0	1730	60.0	- Smokeless - Medium performace
5	<i>Potassium Nitrate</i>	KNO ₃	101.10	2109	47.5	- Low cost - Low performace

Sumber: Nuryanto, 2008

Dari tabel diatas dapat dipahami mengapa AP (*Ammonium perchlorate*) menjadi oksidator yang paling banyak digunakan hal ini dikarenakan AP memiliki biaya yang murah serta mudah didapatkan, disisi lain Nuryanto (2008) juga mengungkapkan beberapa kriteria sifat propelan yang diharapkan untuk keperluan roket mencakup 8 poin yaitu:

- a. Performace tinggi/ISP tinggi.
- b. Menghasilkan kurva *Thrust-Time* sesuai dengan rancangan.
- c. *Reproducible, safe, lowcost, controllable, low-hazard manufacturing.*
- d. Memiliki konstanta exponent kecepatan pembakaran dan koefisien suhu yang rendah.
- e. Kerapatan/density yang tinggi.
- f. Memiliki sifat fisis dan mekanis yang baik, dapat beroperasi pada lingkungan yang ekstrim.
- g. Tidak mudah rusak selama penyimpanan.
- h. Gas hasil pembakaran tidak bersifat racun.

2.1.3.2 Kinerja Propelan

Kinerja propelan mengacu pada kemampuan propelan untuk menghasilkan dorongan atau daya dorong yang diperlukan untuk menggerakkan roket atau kendaraan luar angkasa. Menurut Hillier dkk (2011) Karakteristik kinerja propelan mencakup daya dorong, impuls spesifik, dan efisiensi. Selain itu ada beberapa faktor lainnya yang digunakan untuk mengukur dan menguraikan kinerja propelan:

- a. Daya Dorong (*Thrust*), adalah gaya atau kekuatan yang dihasilkan oleh propelan yang mendorong roket ke depan (Mubarak & Jatmiko, 2020). Daya dorong diukur dalam satuan Newton (N) atau *pound-force* (lbf). Daya dorong pada roket dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$F = p \times A \times V_e \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan : F = Daya dorong
 p = Massa jenis propelan
 A = Luas aliran propelan
 V_e = Kecepatan keluar propelan

- b. Impuls (*Impulse*), adalah integral dari daya dorong terhadap waktu dan diukur dalam satuan Newton-sekon (Ns) atau *pound-force-sekon* (lbf-s) (Rismanto dkk, 2021). Ini mencerminkan seberapa efektif propelan dalam memberikan dorongan dalam jangka waktu tertentu. Impuls ini dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I = F_{avg} \times \Delta t \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan : I = Impuls
 F_{avg} = Daya dorong rata-rata
 Δt = Waktu bakar

- c. Impuls Spesifik (*Specific Impulse*), adalah parameter yang sangat penting dalam kinerja propelan (Rismanto dkk, 2021). Impuls spesifik adalah impuls per unit massa propelan yang

digunakan dan diukur dalam satuan Ns/kg atau lbf-s/lb. Semakin tinggi impuls spesifiknya, semakin efisien propelan dalam menghasilkan dorongan dengan jumlah propelan yang lebih sedikit. Untuk mengetahui nilai dari impuls spesifik dapat melalui persamaan berikut:

$$ISP = I / m \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan : ISP = Impuls Spesifik
 I = Impuls
 m = Massa Propelan

- d. Waktu Bakar (*Burn Time*), adalah durasi saat propelan terbakar sepenuhnya dalam roket. Waktu bakar dapat mempengaruhi durasi penerbangan roket dan tingkat akselerasinya.

$$\Delta t = m / \dot{m} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan : Δt = Waktu bakar
 m = Massa propelan
 \dot{m} = Laju aliran propelan

- e. Efisiensi Pembakaran (*Combustion Efficiency*), Ini mengacu pada sejauh mana propelan dapat membakar bahan bakar dengan efisien dan mengubahnya menjadi energi dorongan. Efisiensi pembakaran roket dapat dihitung dengan persamaan:

$$\eta = (ISP \text{ Sebenarnya} / ISP \text{ Teoritis}) \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan : η = Efisiensi pembakaran
 ISP = Impuls Spesifik

- f. Energi Spesifik (*Specific Energy*), adalah jumlah energi yang dihasilkan oleh propelan per unit massa dan diukur dalam satuan joule/kg. Untuk menghitung nilai dari energi spesifik sebuah roket dapat menggunakan persamaan berikut:

$$E = F \times d / m \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan : E = Energi spesifik

F = Daya dorong
d = Jarak eksak
m = Massa Propelan

- g. Karakteristik Asap (*Smoke Characteristics*), mencakup volume, kepadatan, dan sifat-sifat asap yang dihasilkan oleh propelan saat terbakar. Karakteristik asap dapat memengaruhi visibilitas dan keamanan misi roket. Tidak ada rumus standar untuk karakteristik asap, tetapi parameter seperti volume, kepadatan, dan sifat-sifat asap dapat diukur secara empiris selama pengujian dan simulasi kinerja propelan menggunakan *software* ProPEP-3.

Penting untuk diingat bahwa dalam praktiknya, perhitungan kinerja propelan seringkali melibatkan data eksperimental yang diperoleh dari pengujian fisik, sehingga hasil perhitungan dapat digunakan untuk membandingkan dan menganalisis propelan yang berbeda dalam aplikasi roket yang sebenarnya.

2.1.4 Energetik Oksidator (AP, RDX, HMX, dan HNF)

Energetik oksidator adalah istilah yang merujuk pada sekelompok senyawa atau bahan kimia dengan sifat khusus yang memungkinkannya untuk bertindak sebagai agen oksidasi dalam reaksi kimia (Agrawal, 2010). Oksidator adalah zat yang mampu melepaskan oksigen atau unsur-unsur yang berpotensi mendukung pembakaran atau reaksi eksotermik lainnya. Dalam konteks bahan peledak, propelan, dan bahan kimia energi, peran energetik oksidator sangatlah penting, karena mereka dapat memfasilitasi reaksi eksotermik yang sangat cepat dan kuat, menghasilkan energi dalam bentuk panas, gas, dan tekanan yang tinggi. Beberapa jenis energetik oksidator yang sering digunakan dalam aplikasi militer, propulsi, dan industri kimia termasuk *Ammonium Perchlorate* (AP),

Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX), *Cyclotetramethylene tetranitramine* (HMX), dan *Hydrazinium nitroformate* (HNF).

2.1.4.1 Ammonium Perchlorat (AP)

Ammonium Perchlorate (AP) adalah senyawa kimia yang memiliki peranan penting dalam industri propulsi, bahan peledak, dan petrokimia (Jos & Mathew, 2017). Senyawa ini adalah jenis oksidator yang sangat umum digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan reaksi pembakaran yang kuat dan stabil. AP adalah garam yang terbentuk dari ion *ammonium* (NH_4^+) dan ion *perchlorate* (ClO_4^-), dan memiliki rumus kimia NH_4ClO_4 . Salah satu penggunaan utama *Ammonium Perchlorate* adalah sebagai komponen dalam campuran bahan bakar dan oksidator pada roket dan propelan. Dalam konteks ini, AP berperan sebagai oksidator yang memberikan oksigen untuk reaksi pembakaran yang mendukung penghasilan dorongan yang kuat. Propelan berbasis AP biasanya dikenal karena memiliki efisiensi pembakaran yang tinggi, yang penting untuk mengoptimalkan performa sistem propulsi. Namun, *Ammonium Perchlorate* juga memiliki sensitivitas terhadap guncangan dan panas. Senyawa ini dapat menjadi potensial dalam menyebabkan ledakan jika tidak ditangani dengan benar.

Di luar aplikasi propulsi, AP juga digunakan dalam berbagai aplikasi industri lainnya. Contohnya termasuk penggunaan dalam produksi kertas, sebagai oksidator dalam bahan peledak, sebagai bahan pengisi dalam airbag kendaraan, dan dalam proses produksi gula mentah. Seiring dengan perkembangan teknologi, riset terus dilakukan untuk memahami karakteristik dan potensi aplikasi *Ammonium Perchlorate* dengan lebih baik. Pada akhirnya, *Ammonium Perchlorate* adalah salah satu bahan kimia yang berperan penting dalam industri propulsi dan bahan peledak. Meskipun memiliki manfaat besar dalam mendukung eksplorasi antariksa dan aplikasi industri lainnya, penting bagi pengguna untuk memahami risiko dan

mengikuti pedoman keselamatan yang ketat dalam penggunaan dan penanganannya.

2.1.4.2 *Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX)*

RDX, atau *Cyclotrimethylenetrinitramine*, merupakan senyawa nitroamina yang berperan sentral dalam industri bahan peledak dan propelan. Senyawa ini pertama kali ditemukan pada awal abad ke-20 dan telah menjadi elemen kunci dalam berbagai aplikasi militer dan industri. Dengan rumus molekul $C_3H_6N_6O_6$, RDX tergolong dalam kelompok bahan peledak tinggi yang ditandai oleh struktur kristalnya yang padat, berwarna putih atau hampir putih (Akhavan, 2022). Sebagai bahan peledak, RDX menunjukkan sifat eksplosif yang signifikan, dan penggunaannya meluas dalam berbagai konteks, termasuk sebagai komponen integral dalam propelan roket untuk meningkatkan efisiensi dan daya dorong. Proses sintesis RDX melibatkan reaksi kimia antara asam nitrat dan heksamina, dan meskipun senyawa ini dapat menjaga stabilitasnya dalam kondisi penyimpanan yang sesuai, penanganan RDX memerlukan prosedur yang sangat hati-hati disebabkan sifat eksplosif intrinsiknya.

Dalam aplikasi militer, RDX berfungsi sebagai bahan peledak utama dalam amunisi dan bahan peledak, memberikan kontribusi yang signifikan terhadap daya hancur dan penetrasi proyektil (Baxter, 2018). Kendati RDX telah terbukti efektif selama beberapa dekade, penelitian terus dilakukan untuk mengeksplorasi alternatif yang lebih aman dan efisien. Keamanan dalam setiap tahapan produksi, penanganan, dan transportasi RDX sangat penting untuk mencegah potensi risiko kecelakaan dan bahaya. Meskipun telah lama digunakan secara meluas, sifat eksplosif RDX menjadikannya sebagai bahan yang memerlukan perhatian khusus dalam rangka memastikan keamanan dan keefisienan pada semua tahap proses produksi dan penggunaannya.

2.1.4.3 *Cyclotetramethylene tetranitramine (HMX)*

Cyclotetramethylene tetranitramine (HMX) adalah senyawa kimia yang termasuk dalam kelompok bahan peledak energetik (Klapotke, 2022). Senyawa dengan rumus kimia $C_4H_8N_8O_8$ ini memiliki sifat fisik dan kimia yang membuatnya cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi militer dan propulsi. HMX dikenal karena memiliki titik leleh yang tinggi, kestabilan termal yang baik, serta daya ledak yang tinggi. Kombinasi sifat-sifat ini membuat HMX menjadi bahan peledak yang efisien dan dapat diandalkan dalam berbagai kondisi operasional.

Cyclotetramethylene tetranitramine (HMX) pertama kali ditemukan pada tahun 1930-an oleh para peneliti di Jerman selama pencarian senyawa yang dapat digunakan sebagai bahan peledak yang lebih kuat dan stabil (Becker, 1995). HMX, yang juga dikenal sebagai *Octogen*, awalnya ditemukan sebagai turunan dari senyawa lain, RDX (*Hexahydrotrinitrotriazine*), yang juga merupakan bahan peledak kuat. Penelitian lebih lanjut terhadap HMX menunjukkan bahwa senyawa ini memiliki sifat yang sangat menguntungkan, termasuk titik leleh yang tinggi, kestabilan termal, dan kemampuan memberikan daya ledak yang tinggi. Oleh karena itu, HMX segera diadopsi untuk digunakan dalam industri militer sebagai bahan peledak dan oksidator dalam formulasi propelan roket.

Sejak penemuan awalnya, HMX telah menjadi bahan yang sangat penting dalam berbagai aplikasi pertahanan dan propulsi. Penggunaannya terus berkembang, dan HMX menjadi komponen utama dalam banyak formulasi bahan peledak dan propelan tingkat tinggi yang digunakan di seluruh dunia. Keunggulannya dalam memberikan daya ledak yang kuat dan stabil membuatnya menjadi pilihan yang penting dalam berbagai sistem senjata dan kendaraan ruang angkasa modern. Keunikan HMX terletak pada kemampuannya untuk memberikan dorongan yang kuat dan stabil

pada suhu tinggi, menjadikannya pilihan yang ideal untuk aplikasi propulsi yang melibatkan suhu ekstrem. Selain itu, kestabilan termal HMX membuatnya dapat diandalkan dalam situasi di mana propelan atau bahan peledak harus tahan terhadap suhu tinggi dan fluktuasi tekanan.

2.1.4.4 *Hydrazinium nitroformate* (HNF)

Hydrazinium nitroformate (HNF) adalah senyawa nitrat yang digunakan sebagai bahan bakar dalam beberapa propelan roket. HNF memiliki karakteristik yang membuatnya menarik dalam aplikasi propulsi, termasuk tingkat keamanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa bahan peledak tradisional (Aggarwal & Sharma, 2015).

Keunggulan pertama HNF (NH_3OHNO_3) adalah tingkat keamanannya yang tinggi, ditandai dengan stabilitas termal yang baik dan resistensi terhadap inisiasi yang tidak disengaja, yang secara signifikan mengurangi risiko kecelakaan. Selain itu, HNF menunjukkan stabilitas yang luar biasa selama penyimpanan jangka panjang, memungkinkan penggunaan propelan dengan HNF dalam aplikasi militer dan antariksa yang melibatkan persiapan dan penyimpanan yang lebih lama. Keunggulan berikutnya adalah efisiensi energi yang tinggi yang diberikan oleh HNF sebagai bahan bakar padatan. Propelan yang mengandung HNF dapat memberikan dorongan yang kuat dan konsisten, meningkatkan kinerja sistem propulsi secara keseluruhan. Selain itu, HNF memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan beberapa bahan bakar roket konvensional, sehingga menjadikannya pilihan yang lebih ramah lingkungan (Badgular dkk, 2008).

Dengan kombinasi keunggulan-keunggulan ini, HNF menjadi bahan bakar roket yang menjanjikan untuk pengembangan teknologi propulsi modern. Pemilihan HNF dalam formulasi propelan tidak hanya dapat meningkatkan kinerja sistem, tetapi juga memprioritaskan keamanan, stabilitas, dan dampak lingkungan yang minim.

2.1.5 Software Simulasi Propelan Roket (ProPEP-3)

Perkembangan software dan aplikasi simulasi uji propelan roket telah menjadi bagian penting dari desain dan pengembangan propelan roket modern. Hal ini memungkinkan insinyur dan ilmuwan untuk mengidentifikasi kinerja propelan, menganalisis berbagai parameter, dan memprediksi perilaku propelan dalam berbagai kondisi tanpa harus melakukan uji fisik yang mahal dan berisiko tinggi. Berikut adalah perkembangan software uji propelan roket ini hingga terpilihnya software ProPEP-3:

- a. Perang Dunia II: Selama Perang Dunia II, penggunaan roket dalam militer mendorong pengembangan awal program simulasi propelan. Namun, komputer pada saat itu masih sangat terbatas.
- b. Dekade 1950-an: Seiring dengan kemajuan teknologi komputer, program simulasi semakin berkembang. Salah satu software awal yang dikenal adalah JANNAF (Joint Army-Navy-NASA-Air Force) Chemical Propulsion Information Agency (Strange, 1984).
- c. Dekade 1970-an: Pengembangan propelan roket semakin canggih, dan dengan itu, aplikasi simulasi semakin penting. Software seperti CPROPEP (Chemical Rocket Propulsion with Extended Analysis Program) menjadi salah satu alat utama untuk analisis propelan (Paccagnella dkk, 2016).
- d. Dekade 1990-an: ProPEP-2, yang dikembangkan oleh NASA, menjadi salah satu software simulasi terkemuka untuk analisis propelan roket. Ini mencakup berbagai model termokimia dan termodinamika untuk propelan berbasis bahan bakar padat, cair, dan hibrida (Parvez & Adhikari, 2018).
- e. Abad ke-21: ProPEP-3 adalah evolusi dari versi sebelumnya. ProPEP 3 memungkinkan pengguna untuk melakukan perhitungan yang lebih rinci terkait kinerja, termokimia, dan parameter lainnya dari propelan (Muhammad dkk, 2022).

ProPEP-3 memiliki kemampuan yang lebih canggih dibandingkan dengan pendahulunya dan telah menjadi salah satu alat yang sangat penting dalam industri roket dan pengembangan propelan modern. Ini memungkinkan perancang propelan dan roket untuk mengoptimalkan kinerja propelan, menghemat biaya, dan mengurangi risiko yang terkait dengan pengujian fisik. Dengan ProPEP, berbagai alternatif komposisi propelan dapat diuji, memungkinkan penentuan rasio bahan yang paling efektif untuk mencapai kinerja yang diinginkan. Kelebihan lainnya adalah kemudahan penggunaan software ProPEP dan kemampuannya untuk mendukung hingga 10 bahan yang berkontribusi dalam komposisi propelan, dengan total massa yang tidak melebihi 100 gram. Hasil simulasi diberikan dalam format berkas MS Notepad yang mencakup informasi seperti kode dalam *pepcoded.dat*, nama unsur, persentase berat, delta enthalpy (kalori per gram), densitas unsur (*pound* per inchi kubik), dan rumus kimia terkait.

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Tabel 2.4 Hasil Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti, Judul, dan Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1	<p>Peneliti: Runtu, K. R., Setiani, W. S., & Utami, M. (2023).</p> <p>Judul: <i>Application Energetic Materials for Solid Composite Propellant to Support Defense Rocket Development.</i></p> <p>Metode: Kuantitatif.</p>	<p>Hasil simulasi pembakaran menggunakan perangkat lunak ProPEP dan RPA menunjukkan bahwa komposisi gas hasil pembakaran (Al_2O_3 dan HCl) mengalami penurunan saat menggunakan propelan berbasis bahan berenergi RDX. Diketahui bahwa RDX dapat secara signifikan mengurangi produksi asap dalam pembakaran propelan.</p>	<p>Berfokus pada propelan komposit</p>	<p>Lebih berfokus pada material RDX.</p>

2	<p>Peneliti: Cahyono A. M., Navalino R. D. A. & Yogaswara Y. H. (2021).</p> <p>Judul: Analisis Persyaratan Dan Tingkat Kesiapterapan Teknologi Sistem Senjata Roket Balistik R-HAN 122B Untuk Pertahanan Indonesia.</p> <p>Metode: Metode Kualitatif melalui pendekatan deskriptif analisis.</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan pengembangan roket balistik R-HAN 122B belum sesuai dengan kebutuhan Korps Marinir TNI AL. Perbedaan terletak pada jenis propelan: R-HAN 122B menggunakan komposit HTPB dengan asap tebal, berbeda dari roket balistik RM 70 Grad yang memakai double base solid propellant dengan asap tipis. Diperlukan peningkatan presisi peluncuran dan tahapan pengembangan sistem rekayasa.</p>	<p>Membahas propelan dari R-HAN 122 yang menggunakan propelan komposit HTPB.</p>	<p>Lebih fokus membahas tingkat ketersiapan dari teknologi sistem senjata roket balistik R-HAN bukan energetik oksidator nya.</p>
3	<p>Peneliti: Chen, L. dkk (2022).</p>	<p>Penelitian ini menghasilkan sebuah bahan energetik nanokomposit baru NBC/CL-20/AP dan mengkarakterisasi</p>	<p>Membahas tentang propelan komposit dan oksidator.</p>	<p>Tidak spesifik pada R-HAN 122 dan pengaruh energetik oksidatornya.</p>

	<p>Judul: Preparation and characterisation of the NBC/ CL-20/AP nanoenergetic composite material.</p> <p>Metode: Eksperimental.</p>	<p>morfologi, struktur, perilaku dekomposisi termal, dan sensitivitasnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa partikel CL-20 dan AP terdistribusi secara homogen dalam matriks gel NBC, serta struktur kristal stabil ϵ-CL-20 tetap terjaga dengan baik</p>		
4	<p>Peneliti: Abdillah, Wibowo & Hartaya (2018).</p> <p>Judul: Penggunaan Binder HTPB Berenergi Tinggi Untuk Meningkatkan Energetik Propelan Komposit.</p> <p>Metode:</p>	<p>Nitro-HTPB memiliki potensi yang signifikan dalam meningkatkan sifat energetik propelan padat komposit. Dalam penelitian ini, metode proses pembuatan Nitro-HTPB yang paling efektif dan optimal adalah melalui proses nitrasi dengan menggunakan bahan sodium nitrit pada suhu rendah (0°C). Dengan demikian,</p>	<p>Berfokus pada sifat energetik propelan padat komposit.</p>	<p>Tidak berfokus pada R-HAN 122</p>

	Metode eksperimental dengan menambahkan gugus yang bersifat energetik seperti gugus nitro pada propelan.	dapat disimpulkan bahwa Nitro-HTPB dapat digunakan sebagai komponen yang meningkatkan kinerja propelan padat komposit melalui metode proses nitrasi dengan suhu rendah.		
5	<p>Peneliti: Maulana, Sofyan & Prasetyo (2021).</p> <p>Judul: Database Aerodinamika Roket Balistik 122.</p> <p>Metode: Metode Kuantitatif deskriptif dengan analisis aerodinamika.</p>	Parameter seperti kondisi penerbangan, geometri badan, dan daftar nama memiliki pengaruh terhadap database aerodinamika roket balistik 122. Dengan menggunakan perangkat lunak Datcom, data CA, CN, dan CM berhasil diperoleh. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa peningkatan sudut serangan dan angka Mach mempengaruhi nilai CA, CN, dan CM. Meskipun nilai CN mengalami peningkatan,	Membahas tentang Roker Balistik R-HAN 122	Pembahasan lebih berfokus pada fenomena Aerodinamika R-HAN 122 bukan pengaruh energetik oksidatornya.

		perubahan CM tetap menjaga stabilitas roket.		
6	<p>Peneliti: Heri Budi Wibowo (2019).</p> <p>Judul: Kajian program peningkatan kinerja propelan komposit berbasis AP/HTPB/Al.</p> <p>Metode: Metode Kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi literatur.</p>	<p>untuk meningkatkan kinerja propelan komposit berbasis AP/HTPB/Al, strategi berkelanjutan dan tahapan terstruktur diperlukan. Optimasi solid loading content dan penambahan material energetik menjadi pendekatan penting dalam mengatasi tantangan bahan baku dan teknologi proses. Kemandirian dalam penyediaan bahan baku propelan menjadi fokus utama.</p>	<p>Membahas tentang propelan komposit termasuk <i>Ammonium Perklorat (AP)</i></p>	<p>Penelitian bersifat umum pada propelan komposit tidak spesifik pada yang digunakan oleh R-HAN 122</p>
7	<p>Peneliti: Shofhani, C., Apriyanto, I. N. P., & Jandhana, I. P. (2022).</p>	<p>Percepatan yang telah dilakukan oleh konsorsium roket nasional dalam menguasai teknologi pada roket R-HAN 122B terbukti</p>	<p>Membahas R-HAN 122 dalam mendukung pemenuhan alat</p>	<p>Tidak membahas lebih khusus pada propelan yang digunakan R-HAN</p>

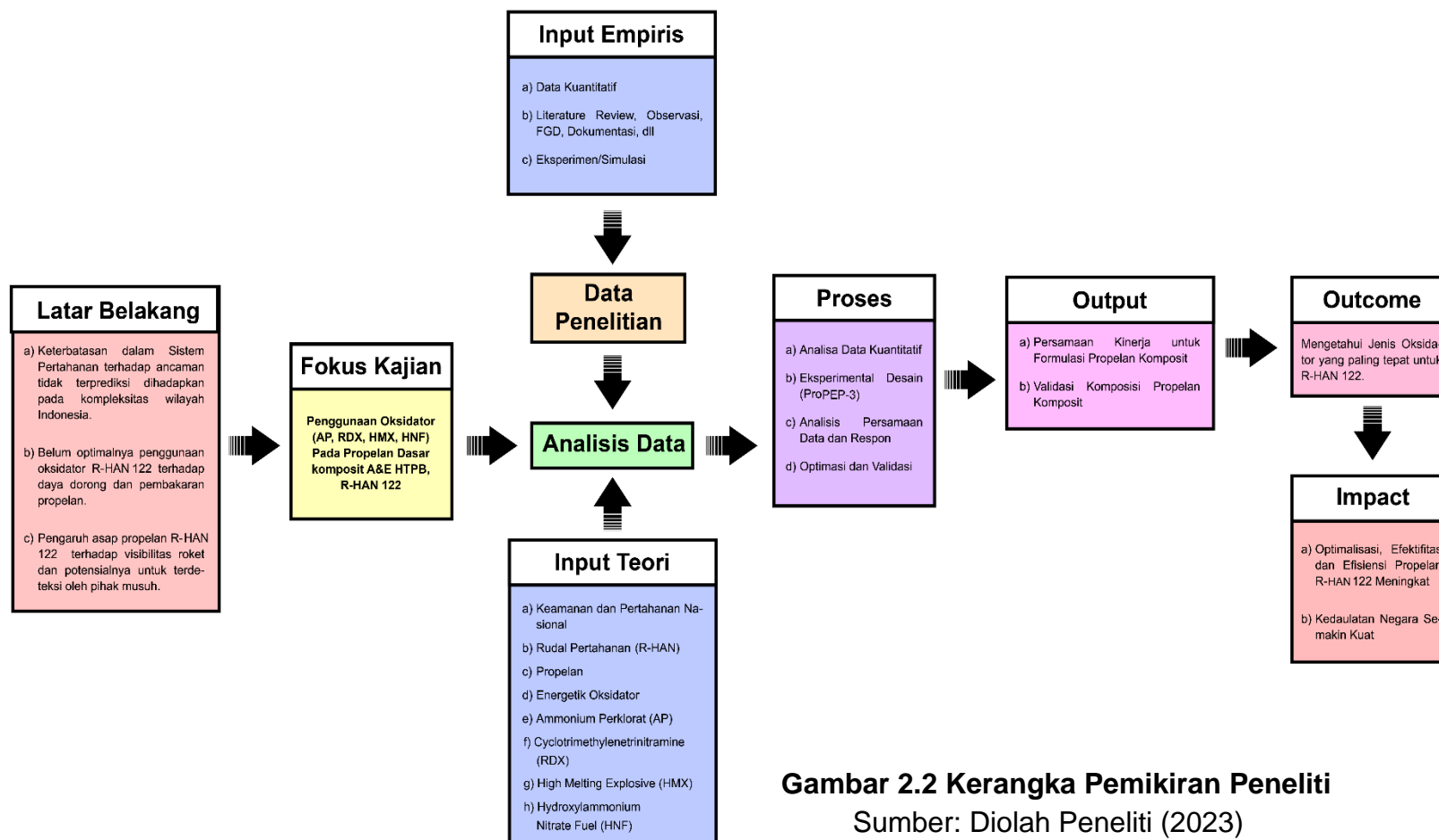
	<p>Judul: Acceleration of Defense Technology Mastery: R-HAN 122 B Rocket for the Establishment of National Defense Industry Independence in Supporting the Fulfillment of Defense and Security Equipment.</p> <p>Metode: Metode Kualitatif dengan pendekatan analisis deskriptif.</p>	<p>melalui perubahan desain nozzle dan fin assy. Hal ini menunjukkan bahwa Transfer Teknologi yang dilakukan dengan Avibras merupakan bentuk kerjasama internasional dalam mencapai penguasaan teknologi.</p>	<p>pertahanan dan keamanan negara.</p>	<p>122 dan pengaruh energetik oksidatornya.</p>
8	<p>Peneliti: Xie, W., Zhao, Y., Zhang, W., Liu, Y., Fan, X., Wang, B., ... & Yan, Q. L. (2018).</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan FOX-7 (0-34% massa), keseimbangan oksigen (F) dan densitas (1) propelan tetap konstan (0,56 dan 1,80 g cm³),</p>	<p>Membahas tentang propelan dengan penambahan oksidator.</p>	<p>Tidak membahas khusus pada propelan yang digunakan R-HAN 122B dan penggabungannya</p>

	<p>Judul: Sensitivity and stability improvements of nepe propellants by inclusion of FOX-7.</p> <p>Metode: Metode Kuantitatif dengan pendekatan Eksperimental.</p>	<p>sedangkan suhu pembakaran (Tc) mengalami penurunan dari 3700 K menjadi 3592 K. Berat molekul rata-rata produk gas hasil pembakaran (Mc) sedikit meningkat dari 27,28 gmol¹ menjadi 27,48 gmol¹, sementara impuls spesifik teoretis (ISp) mengalami penurunan dari 2615 N s kg¹ menjadi 2560 N s kg¹.</p>		<p>dengan variasi oksidator RDX, HMX dan HNF.</p>
9	<p>Peneliti: Cican, G., & Mitrache, A. D. (2017).</p> <p>Judul: <i>Rocket Solid Propellant Alternative Based on Ammonium Dinitramide.</i></p>	<p>Hasil penelitian ini menawarkan alternatif propelan padat yang baru yang dapat diandalkan, efisien, dan memungkinkan. Seperti yang diamati, kinerja propelan padat baru ini dapat dibandingkan dengan yang digunakan saat ini dalam peluncur orbital, oleh karena itu, melalui</p>	<p>Membahas Ammonium Dinitramide sebagai inovasi propelan hijau yang rendah asap.</p>	<p>Tidak membahas khusus pada propelan yang digunakan oleh R-HAN 122B, serta tidak digabungkan dengan oksidator lain seperti RDX, HMX dan HNF.</p>

	Metode: Metode Kuantitatif.	formulasi ini, jalan baru menuju langit yang lebih bersih dapat terbuka.		
10	Peneliti: Pang, W. Q., Wang, K., Zhang, W., Luca, L. T. D., Fan, X. Z., & Li, J. Q. (2020). Judul: CL-20-Based Cocrystal Energetic Materials: Simulation, Preparation and Performance. Metode: Metode Kuantitatif.	Hasil penelitian menunjukkan penggunaan teknologi eutektik untuk memodifikasi bahan <i>high explosive</i> yang memiliki sensitivitas rendah. Namun, terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi dalam pengembangan kocrystal berenergi. Salah satunya adalah penyederhanaan metode persiapan kocrystal yang optimal, karena metode penguapan pelarut yang saat ini digunakan belum memenuhi persyaratan rekayasa.	Membahas Oksidator dengan berbagai variasi gabungannya.	Berfokus pada oksidator CL-20 tidak spesifik pada variasi AP, RDX, HMX, dan HNF serta penggunaannya sebagai propelan komposit R-HAN 122B.

Sumber: Diolah Peneliti (2023)

2.3 Kerangka Berfikir



Gambar 2.2 Kerangka Pemikiran Peneliti
Sumber: Diolah Peneliti (2023)

Latar belakang penelitian ini muncul dari kebutuhan untuk mengatasi keterbatasan dalam sistem pertahanan terhadap ancaman tidak terprediksi dihadapkan kompleksitas wilayah Indonesia, belum optimalnya penggunaan oksidator R-HAN 122 terhadap daya dorong dan pembakaran propelan hingga pengaruh asapnya. Daya jangkau roket adalah faktor krusial dalam memastikan efektivitas operasional. Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis pengaruh substitusi bahan oksidator, seperti RDX, HMX, dan HNF, terhadap karakteristik daya dorong dan kinerja asap propelan pada roket ini. Penelitian dilakukan dengan pendekatan kuantitatif melalui simulasi komputas menggunakan *software* ProPEP-3, memungkinkan pemodelan yang mendalam terkait performa propelan dengan variasi oksidator. Data empiris yang digunakan mencakup hasil simulasi nilai ISp roket dengan berbagai kombinasi oksidator pada tekanan chamber yang berbeda. Teori-teori yang digunakan dalam analisis data melibatkan *grand theory* yang mencakup teori keamanan dan pertahanan nasional, *middle theory* mencakup R-HAN 122B dan propelan dan *applied theory* terdiri atas teori energi oksidator dan ProPEP-3.

Analisis data ini melibatkan pemahaman mendalam tentang bagaimana substitusi oksidator, seperti HNF, dapat meningkatkan nilai ISp roket secara signifikan. Hasil analisis ini mencerminkan adanya potensi peningkatan daya dorong roket R-Han 122B melalui optimalisasi propelan dengan mempertimbangkan sifat-sifat oksidator yang digunakan. Proses ini kemudian berlanjut ke tahap output, di mana hasil simulasi nilai Isp dan karakteristik pembakaran propelan dirangkum. *Outcome* dari penelitian ini adalah pemahaman yang lebih mendalam tentang potensi peningkatan daya dorong roket dengan menggunakan oksidator tertentu. Implikasi operasional pertahanan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah bahwa substitusi oksidator dapat menjadi langkah kritis dalam meningkatkan efisiensi propelan. Dampak dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam memajukan teknologi propulsi roket untuk mendukung pertahanan nasional.