

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Landasan Teori**

##### **2.1.1. Kebutuhan Pertahanan Negara**

Indonesia saat ini sedang membangun kekuatan dalam memaksimalkan pertahanan negara. Dimana Secara terarah membangun kekuatan perang di tiga matra (Darat, Laut, Udara) untuk mempertahankan negara dari segala bentuk ancaman baik ancaman nir militer maupun militer, dan juga ancaman hibrida. Kekuatan ini dibangun dengan memanfaatkan sumber daya nasional yang tersedia untuk mencapai tingkat kekuatan yang memiliki efek jera yang memadai (*deterren effect*).

Menurut (Anwar, 2018), perang adalah jalan terakhir jika upaya diplomasi untuk mempertahankan kepentingan vital nasional menemui jalan buntu. Upaya tersebut sangat rasional dalam menghadapi situasi internasional yang masih dipenuhi dengan benturan kepentingan dari berbagai negara di dunia, tingkat persaingan yang sangat tinggi dari beberapa negara, dan tatanan global yang masih memprihatinkan.

Untuk meningkatkan *deterren effect*, maka Indonesia menentukan akan prioritas teknologi pertahanan yang diharapkan dapat menjadi fokus dalam pengelolaan sumber daya nasional. Adapun kriteria program prioritas tersebut yaitu: memiliki teknologi yang tinggi, berjangka, dilaksanakan secara bertahap atau dengan tahapan yang terkait penyesuaian terhadap standar hingga anggaran, lintas pemerintahan, terdapat kesinambungan program antar era pemerintahan, kesinambungan pelaksanaan, aspek kelayakan, ekonomi yang bernilai tinggi, dan alih teknologi untuk mengisi kesenjangan teknologi dalam menuju kemandirian industry pertahanan. Beberapa program prioritas kemandirian yang

dibutuhkan dalam industri pertahanan dan sekaligus kebutuhan negara yaitu: pembangunan kapal selam beserta instrument dan industri propelan serta optimasi, serta pengembangan roket, rudal, radar nasional, medium tank, dan pesawat tempur yang dinilai dapat menjadi *deterren effect* sesuai kebutuhan pertahanan negara. (BPPI, 2015)

### 2.1.2. Teknologi Pertahanan

Teknologi pertahanan merupakan suatu tingkatan teknologi yang kompleks, sehingga dalam mewujudkan dan mendorong kemandirian industri pertahanan diperlukan penelitian dan pengembangan bidang pertahanan. Meningkatkan kapasitas dan kapabilitas sumber daya keilmuan untuk menghasilkan produk penelitian dan pengembangan teknologi pertahanan yang efektif bagi sektor produksi nasional. Merujuk pada rencana pembangunan jangka panjang nasional 2005-2025, yaitu pengembangan ilmu teknologi pertahanan menjadi prioritas utama dalam fokus penelitian dan pengembangan. (Kemenristek, 2015)

Kedepan, peperangan dimasa datang diperkirakan, dengan masih menerapkan teori RMA (*Revolution in Military Affairs*), akan mengandalkan peluru kendali jarak jauh seperti fungsi dari sistim peroketan dan juga kemungkinan akan diterapkannya *bacteriological warfare*. (Fučík, 2017).

Dalam menanggapi ancaman sebagai pertempuran masa depan tersebut, Indonesia membutuhkan teknologi persenjataan yang mengarah pada pengembangan roket yang dapat memiliki beragam jenis misi sesuai dengan kebutuhan peperangan. Hal ini juga memiliki tingkat kesinambungan dengan (Bappenas, 2009) pengembangan bidang desain dan *engineering*, meliputi keahlian dan kemampuan mengembangkan dan pembuatan pesawat angkut militer, pesawat misi khusus, roket, kapal patroli cepat, kapal perang, kendaraan

tempur militer, sistem senjata, sistem jaringan komunikasi, pusat komando dan pengendalian serta sistem informasi.

Selain itu juga, Indonesia memiliki fokus utama dalam mengorbitkan roket dan propelan yang menjadi salah satu fokus utama dalam penelitian dan pengembangan dengan mengacu pada buku putih Indonesia (BPPI, 2015). Terdapat penelitian yang sedang berjalan yaitu roket R Han 112, dan roket R Han 450mm yang dirasa perlu dan membutuhkan riset dalam pengembangannya.

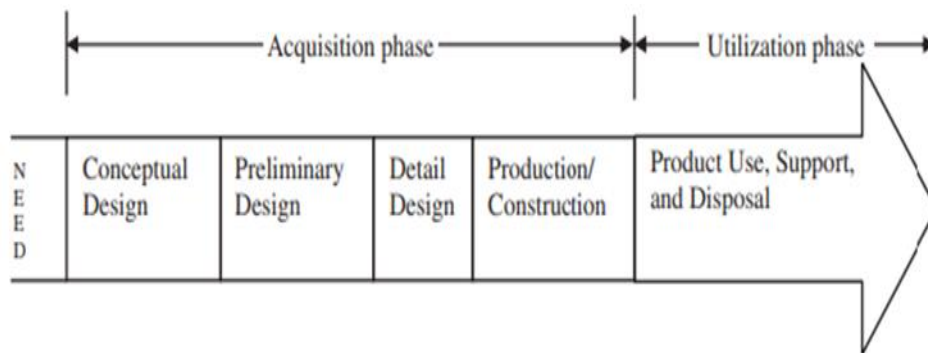
### **2.1.3. System engineering**

*System Engineering* adalah disiplin yang mewujudkan metode, alat atau instrumen, dan proses, yang juga membahas mengenai strategi keseluruhan untuk mengembangkan persyaratan tingkat sistem yang memenuhi kebutuhan pengguna, memenuhi harapan pengguna, menggabungkan pengetahuan dari pengalaman masa lalu, dan memenuhi batasan peraturan dan lainnya.

*System engineering*, di sisi lain adalah proses yang digunakan untuk mengembangkan komponen manusia, perangkat keras, dan / atau perangkat lunak yang terintegrasi sedemikian rupa sehingga sistem atau produk yang dihasilkan memenuhi persyaratan tingkat sistem. (Sadraey, 2013)

- a. Level 1. Sistem transportasi / pertahanan udara yang meliputi pesawat terbang, misil, satelit, stasiun bumi, bandar udara, manajemen lalu lintas udara, dll.
- b. Level 2, Level sistem. Suatu sistem terkait yang mencakup, pengguna, operator, pelatih, pabrik, bengkel perawatan, dll.
- c. Level 3, level subsistem. Subsistem utama yang meliputi mekanisme kontrol, hidrolis, listrik, avionik, pembangkit listrik, bahan bakar, AC, struktur, kursi, dll.

- d. Level 4, Level komponen. Komponen yang meliputi, badan, ekor, sistem pendaratan, radar, pompa, *nacelles*, permukaan kontrol, unit daya tambahan (APU), dll.
- e. Level 5, Level bagian. Bagian yang meliputi alat kelengkapan, pengencang, baling-baling, sekrup, mur, tulang rusuk, spar, bingkai, pengaku, kulit, poros, kabel, pipa, dll.



**Gambar 2. 1. Sistem *Life cycle***

Sumber: Mohammad H Sadraey, *Aircraft Design A Systems Engineering Approach*, Wiley, United Kingdom, 2013)

Untuk memastikan daya saing ekonomi, teknik harus lebih terkait erat dengan kelayakan ekonomi, yang paling baik dicapai melalui pendekatan siklus hidup ke bidang teknik. Sistem *Life Cycle* mencakup desain, pengembangan, produksi, operasi, dukungan, dan *output*. Namun dalam penelitian ini, berfokus pada fase *needs* dan desain konseptual.

#### **2.1.4. *Life Cycle***

Setiap sistem memiliki *Life Cycle Model*, yang dapat digambarkan dengan menggunakan model fungsional abstrak yang mewakili konseptualisasi kebutuhan sistem, realisasinya, pemanfaatannya, evolusi dan pembuangan. *Life Cycle* yang

digunakan pada penelitian ini adalah sebagai standar internasional mendefinisikan serangkaian proses *life cycle* sebagai berikut :

Tabel 2. 1. Tahapan *life cycle*

LIFE CYCLE STAGES	PURPOSE	DECISION GATES
CONCEPT	<i>Identify stakeholders' needs</i> <i>Explore concepts</i> <i>Propose viable solutions</i>	<i>Decision Options</i> – <i>Execute next stage</i> – <i>Continue this stage</i> – <i>Go to a preceding stage</i> – <i>Hold project activity</i> – <i>Terminate project</i>
DEVELOPMENT	<i>Refine system requirements</i> <i>Create solution description</i> <i>Build system</i> <i>Verify and validate system</i>	
PRODUCTION	Produce systems Inspect and test [verify]	
UTILIZATION	<i>Operate system to satisfy users' needs</i>	
SUPPORT	<i>Provide sustained system capability</i>	
RETIREMENT	<i>Store, archive, or dispose of the system</i>	

Sumber :(INCOSE, 2006)

Berdasarkan panduan INCOSE tersebut, penelitian ini berada pada posisi *Concept* dan berfokus dalam penerapan identifikasi *stakeholder needs, explore concepts, dan propose viable solution*.

#### A. *Identify stakeholder needs*

Tujuan dari Proses Definisi identifikasi kebutuhan pemangku kepentingan ini adalah untuk menentukan persyaratan suatu sistem yang dapat menyediakan layanan yang dibutuhkan oleh pengguna dan pemangku kepentingan lainnya dalam suatu lingkungan yang ditentukan. Menentukan kendala pada solusi sistem yang merupakan konsekuensi yang tidak dapat dihindari dari perjanjian yang ada, keputusan manajemen dan keputusan teknis.

### B. *Explore Concept*

Melakukan eksplorasi dalam konsep, berfokus pada tugas-tugas yang menentukan kebutuhan atau kondisi untuk memenuhi produk atau proyek yang baru atau diubah, dengan melakukan *translate requirement into function*, dengan melakukan *decompose function* yaitu *Function Flow Diagram*, *Function Breakdown Structure*, dan *List Of Requirement*.

### C. *Purpose viable Solution*

Tujuan dari proses *purpose viable solution* adalah membuat desain arsitektur untuk mensintesis solusi yang memenuhi persyaratan sistem. Desain arsitektur adalah konsep yang berfokus pada komponen atau elemen struktur. *Design Architecture* menghasilkan dokumen arsitektur berdasarkan analisis kebutuhan.

## 2.1.5. **Quality Function Deployment (QFD)**

*Quality Function Deployment* (QFD) adalah metode perencanaan dan pengembangan produk/jasa secara terstruktur yang memungkinkan tim pengembang mendefinisikan secara jelas kebutuhan dan mengevaluasi kesesuaian produk atau jasa secara sistematis untuk memenuhi kebutuhan dan harapan pengguna (Wahyu, 2003). *Quality Function Deployment* adalah suatu proses atau mekanisme terstruktur untuk menentukan kebutuhan pengguna dan menerjemahkan kebutuhan-kebutuhan itu ke dalam kebutuhan teknis yang relevan, dimana masing-masing area fungsional dan level organisasi dapat mengerti dan bertindak.

Alat utama dari QFD adalah matrik, dimana hasil yang dicapai melalui penggunaan tim antar departemen atau fungsional dengan mengumpulkan, menginterpretasikan, mendokumentasikan dan memprioritaskan kebutuhan-kebutuhan pelanggan. Titik awal (*starting*

*point*) QFD adalah pengguna serta keinginan dan kebutuhan dari pengguna. Dalam penelitian ini, penulis berfokus pada penerapan matriks QFD untuk mendapatkan *relation matrix* atau tingkat kesesuaian desain dengan kebutuhan pengguna, serta memprioritaskan kebutuhan pengguna untuk dilakukan pengembangan.

#### **2.1.6. Manajemen Risiko**

Secara definisi, risiko adalah peristiwa yang jika terjadi dapat membahayakan keberhasilan penyelesaian proyek termasuk peluncuran dan pembakaran propeler. Risiko harus diidentifikasi dan dinilai untuk kemungkinan terjadinya dan berdampak pada proyek. Dalam generalisasinya, menurut (INCOSE, 2006) risiko telah didefinisikan sebagai kemungkinan terjadinya suatu peristiwa ditambah dengan konsekuensi negatif dari peristiwa yang terjadi. Dengan kata lain, risiko adalah masalah potensial, sesuatu yang harus dihindari jika memungkinkan, atau kemungkinan dan/atau konsekuensi yang dihadapi.

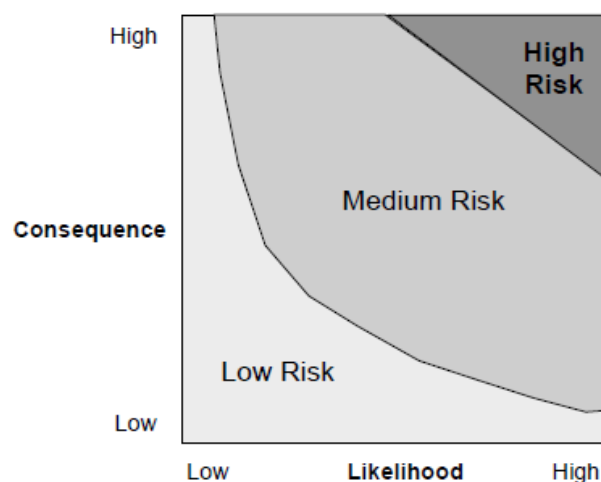
#### **2.1.7. Metode Penilaian Risiko (*Risk Assessment*)**

Penilaian risiko ditandai dengan distribusi hasil berdasarkan kemungkinan terjadinya dan tingkat keparahan konsekuensi. Risiko melibatkan probabilitas dan konsekuensi dari hasil yang dinilai berpotensi. Dalam bentuknya yang paling umum, penilaian risiko harus menangkap spektrum hasil relatif terhadap kinerja teknis proyek yang diinginkan, biaya, dan persyaratan jadwal. Risiko umumnya perlu dinilai secara subjektif karena data statistik yang memadai jarang tersedia. Dalam mewujudkan hubungan antar elemen penilaian risiko, maka dibutuhkan langkah wawancara ahli dalam mengukur penilaian secara subjektif.

Wawancara Ahli, merupakan perolehan penilaian ahli yang efisien sangat penting untuk akurasi keseluruhan upaya manajemen risiko. Teknik wawancara ahli terdiri dari mengidentifikasi ahli yang sesuai, bertanya tentang risiko di bidang keahlian mereka, dan mengukur penilaian secara subjektif. Salah satu hasilnya adalah rentang ketidakpastian atau fungsi kepadatan probabilitas.(INCOSE, 2006)

Adapun penilaian risiko yang menjadi referensi dalam *fundamental of risk assessment*, memiliki dua komponen seperti yang diilustrasikan pada gambar dibawah :

- a. Kemungkinan suatu peristiwa akan terjadi.
- b. Konsekuensi yang tidak diinginkan dari suatu peristiwa jika itu memang terjadi.



**Gambar 2. 2. Tingkat risiko**

Sumber : INCOSE v. 3 (INCOSE, 2006)

Kombinasi kemungkinan rendah dan konsekuensi yang tidak diinginkan rendah memberikan risiko rendah, sedangkan risiko tinggi dihasilkan oleh kemungkinan tinggi dan konsekuensi yang sangat tidak diinginkan.

Adapun beberapa metode yang menjadi elaborasi dan dapat digunakan dalam penelitian untuk menentukan penilaian risiko, sebagai berikut :

a. *Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)*

FMEA pertama kali digunakan oleh kontraktor untuk NASA pada awal 1960-an. Pada 1967, sipil industri penerbangan mulai menggunakan FMEA dan teknik terkait. FMEA merupakan metode untuk mencegah terjadinya kecelakaan yang dapat membahayakan nyawa orang. Sasaran ini juga masih berlaku hingga saat ini. hanya sasaran penggunaan *Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)* saat ini sudah sangat luas. Namun pada intinya adalah mencegah terjadinya kegagalan dan dampaknya sebelum terjadi.(Puji, Sumarsono, & Saptadi, 2019)

FMEA merupakan salah satu program peningkatan dan pengendalian kualitas yang dapat mencegah terjadi kegagalan dalam suatu produk atau proses. FMEA adalah sekumpulan petunjuk, sebuah proses, dan form untuk mengidentifikasi dan mendahulukan masalah-masalah potensial (kegagalan) (Bongiorno, 2001). Sebuah FMEA dapat digunakan untuk mengidentifikasi cara - cara kegagalan yang potensial untuk sebuah produk atau proses. Metode RPN kemudian memerlukan analisa dari tim menggunakan pengalaman masa lalu dan keputusan engineering untuk memberikan peringkat pada setiap potensial masalah berdasar:

- a) *Severity*, merupakan skala yang memeringkatkan severity dari efek-efek yang potensial dari kegagalan.
- b) *Occurrence*, merupakan skala yang memeringkatkan kemungkinan dari kegagalan akan muncul.
- c) *Detection*, merupakan skala yang memeringkatkan kemungkinan dari masalah akan di deteksi sebelum sampai ketangan pengguna akhir atau konsumen.

Setelah pemberian rating dilakukan, nilai RPN dari setiap penyebab kegagalan dihitung dengan rumus:

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection \quad \dots\dots(1)$$

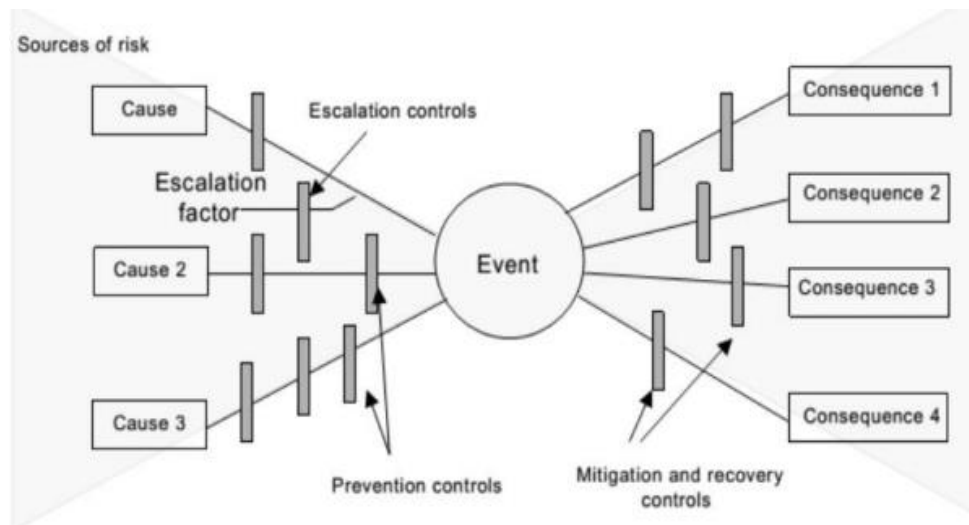
Dalam Manajemen Risiko Proyek, *Severity* akan diganti menjadi *Likelihood* dan *Occurance* akan menjadi *Impact* (Carbone & Tippett, 2004). Sehingga persamaan rumus untuk RPN akan menjadi:

$$RPN = Likelihood \times Impact \times Detection \quad \dots\dots(2)$$

#### b. *Bow Tie Analysis*

*Bow tie analysis* merupakan sebuah diagram sederhana untuk menggambarkan dan menganalisis jalur risiko dari penyebab hingga konsekuensi. Hal ini dapat dikatakan sebagai kombinasi dari *fault tree analysis* dari penyebab suatu peristiwa dan *event tree analysis* dari hasil peristiwa yang ditampilkan dalam bentuk simpul kupu-kupu. Namun fokus dari *bow tie analysis* ini adalah pada hambatan antara penyebab dengan risiko, serta risiko dengan konsekuensinya. Diagram ini dapat dibangun dari *fault and event tree*, namun lebih sering diambil langsung dari sesi *brainstorming* (ISO, 2016).

*Input* dari *Bow tie analysis* adalah adanya pemahaman dari penyebab dan konsekuensi dari sebuah risiko serta kendala dan kontrol yang dapat mencegah, mengurangi dan menstimulasikan risiko tersebut. *Output* dari *bow tie analysis* berupa gambar diagram sederhana yang menunjukkan jalur utama risiko dan hambatan untuk mencegah atau mengurangi konsekuensi yang tidak diinginkan atau merangsang dan mempromosikan konsekuensi yang diinginkan. (Muradi, 2015)



**Gambar 2. 3. Analisis Sumber Risiko**

Sumber : (Puji et al., 2019)

c. HIRADC

Dalam mengidentifikasi dan melakukan analisis risiko bahaya maka dapat dilakukan dengan menggunakan *Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control* (HIRADC). *Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control* (HIRADC) merupakan salah satu persyaratan yang harus ada dalam menerapkan SMK3 berdasarkan ISO 45001:2018. HIRADC di bagi menjadi 3 tahap yaitu: Identifikasi bahaya, *Risk Assesment*, dan Pengendalian. (Saputro & Lombardo, 2021)

1. Identifikasi bahaya

Identifikasi bahaya dilakukan dengan tujuan mengetahui potensi bahaya yang dihadapi pekerja saat bekerja. Tahap identifikasi bahaya ini dapat dilakukan dengan melakukan wawancara, pengamatan langsung dilapangan dan melalui data historis.

## 2. Penilaian Risiko

Penilaian Risiko (Risk Assessment) adalah proses untuk menentukan prioritas pengendalian terhadap tingkat risiko kecelakaan atau penyakit akibat kerja. Dalam metode ini, penilaian risiko diambil berdasarkan :

$$R \text{ (Risiko)} = C \text{ (Consequence)} \times P \text{ (Probability)} \quad \dots(3)$$

Dalam menentukan besar kecilnya suatu risiko diperlukan teknik analisa risiko, analisa risiko adalah teknik untuk menentukan besarnya suatu risiko yang di cerminkan dari kemungkinan dan dampak yang di timbulkan berdasarkan aspek ancaman dan peluang.

Tabel 2. 2. Tingkat risiko

KESERINGAN / LIKELIHOOD (K1)	<i>Almost Certain</i> (Sering Terjadi)	5	T (5)	T (10)	E (15)	E (20)	E (25)
	<i>Likely</i> (Kemungkinan Besar Terjadi)	4	S (4)	T (8)	T (12)	E (16)	E (20)
	<i>Possible</i> (Mungkin Terjadi)	3	R (3)	S (6)	T (9)	E (12)	E (15)
	<i>Unlikely</i> (Kemungkinan Kecil Terjadi)	2	R (2)	R (4)	S (6)	T (8)	E (10)
	<i>Rare</i> (Jarang Terjadi)	1	R (1)	R (2)	S (3)	T (4)	T (5)
		Skor	1	2	3	4	5
			<i>Insignificant</i> (Tidak Signifikan)	<i>Minor</i> (Cidera Ringan)	<i>Moderate</i> (Cidera Berat)	<i>Major</i> (Kematian/ Cidera Tetap)	<i>Catastrophic</i> (Bencana)
<b>KEPARAHAN / SEVERITY (K2)</b>							

Sumber: HIRADC (Emilia, Wilson, & Doaly, 2018)

## 3. Pengendalian

Pengendalian dapat dilakukan secara bertahap mulai dari peringkat risiko paling rendah hingga paling tinggi. Adapun hirarki pengendalian risiko yang dimaksud adalah:

Tabel 2. 3. Hirarki pengendalian risiko

<b>Hirarki Pengendalian Risiko</b>		
Eliminasi	Eliminasi Sumber Bahaya	Tempat Kerja / Pekerjaan Aman Mengurangi Bahaya
Substitusi	Substitusi Alat/Mesin/Bahan	
Perekayasaan	Modifikasi/Perekayasaan Alat/Mesin/Tempat Kerja yang Lebih Aman	
Administrasi	Prosedur, Aturan, Pelatihan, Durasi Kerja, Tanda Bahaya, Rambu, Poster, Label	
APD	Alat Perlindungan Diri Tenaga Kerja	

Sumber : Dokumentasi Lapan

Dalam upaya untuk melakukan suatu penilaian risiko (*Risk Assesment*), terdapat beberapa metode dalam menentukan suatu penilaian tersebut. Beberapa metode tersebut memiliki fokus penilaian yang berbeda dengan konsep yang hampir sama. Adapun metode Bow tie analysis, berfokus pada analisis hambatan antara penyebab dengan risiko, serta risiko dengan konsekuensinya. Kemudian metode FMEA, berdasarkan literature yang dibaca oleh penulis, metode FMEA lebih berfokus pada Implementasi *prefentive* dan analisis suatu produk yang sudah lama digunakan dan menganalisis potensi Kegagalan pada alat sistem produksi.

Untuk metode HIRADC sendiri, memiliki metode yang sama dengan INCOSE yang digunakan sebagai rujukan, yaitu dengan melakukan wawancara, pengamatan langsung dilapangan, dan melalui data historis. Rangkaian kegiatan tersebut juga cukup simpel dilakukan dalam penelitian. Dalam penilaian risiko yang digunakan dalam HIRADC ini, dilakukan juga sesuai dengan Instansi LAPAN,

yaitu dengan cara menentukan prioritas pengendalian terhadap tingkat risiko.

Sehingga pada penelitian ini, penulis mencuplik panduan dari HIRADC yang berfokus dalam suatu penelitian dan penerapan sistem *engineering*. Kesesuaian antara panduan dan juga metode yang digunakan oleh Instansi LAPAN menjadi pertimbangan tersendiri dalam penelitian ini.

#### **2.1.8. Roket**

Roket adalah wahana yang memiliki mesin konversi energi yang dapat bergerak sesuai dengan besar gaya dorong yang dibangkitkan oleh perubahan energi kimia bahan bakar menjadi energi panas (Irfansyah Ahmad, 2020). Gaya dorong yang dihasilkan juga cukup besar sampai dengan kecepatan *hypersonic*, sehingga dorongan reaktif akan sebanding dengan reaksi balasannya, Hal ini sesuai dengan hukum pergerakan Newton ke tiga. Di Indonesia sendiri, penelitian dan pengembangan roket sudah menjadi prioritas utama dalam fokus menuju kemandirian Alutsista, pengujian demi pengujian pun telah dilakukan guna mendapatkan apa yang diinginkan.

Pengembangan roket kendali yang dilakukan oleh Indonesia, sedikit demi sedikit telah menemukan titik terang dan memberikan hasil yang cukup menggembirakan. Tentunya hal tersebut didukung oleh perkembangan ilmu penerapan teknologi yang telah di cerna oleh Indonesia seperti sistem navigasi, struktur badan roket, bahan bakar dan pembakaran, serta sistem aktuator.

Pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar motor roket, Selanjutnya energi panas ini akan menghasilkan tekanan yang dapat menimbulkan gaya dorong melalui nosel roket, sehingga roket dapat bergerak ke arah berlawanan dengan arah gaya dorong tersebut, dan kemudian dihasilkan energi kinetik berupa gerakan roket meluncur

menuju sasarannya, baik sasaran di darat, di udara maupun di perairan.

Saat ini pengembangan roket di Indonesia sudah mencapai penerapan teknologi level ke 7 dimana sudah mencapai tahapan pengujian prototipe dan telah memasuki tahapan kendali aktif yang memiliki artian bahwa masukan telah mencapai tujuan yang ingin dicapai, sudut elevasi, posisi atau hal lainnya. Dan pada kendali aktif sistem pengontrol akan mengeluarkan perintah ke permukaan untuk bergerak memenuhi tujuan yang telah diterapkan. (Irfansyah Ahmad, 2020) mengutip laporan atik bintoro, 2013.

#### **2.1.9. Motor roket**

Mesin roket, adalah sebuah mesin jet yang menggunakan massa propelan yang hanya disimpan untuk membentuk kecepatan tinggi pada jet pendorongnya. Motor roket adalah mesin reaksi dan memperoleh daya dorong sesuai dengan hukum ketiga Newton. Karena mereka tidak perlu bahan eksternal untuk membentuk jet mereka, mesin roket dapat digunakan untuk propulsi pesawat ruang angkasa atau kendaraan peluncur luar angkasa serta penggunaan terestrial, seperti rudal. Kebanyakan mesin roket adalah mesin pembakaran internal, meskipun bentuk non-pembakaran juga ada. (Corradini, Zhu, Fan, & Jean, 2016)

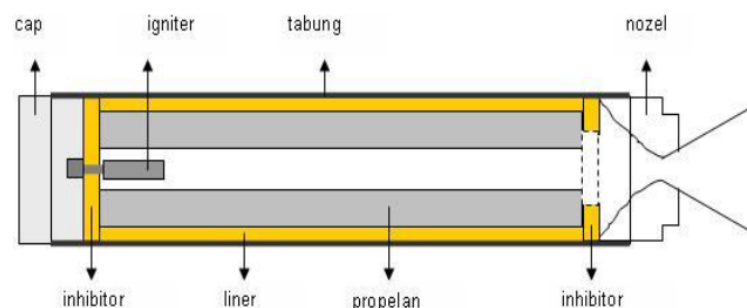
Mesin roket sebagai sebuah kelompok memiliki *nozzle* kecepatan tertinggi, yang jauh yang paling ringan, tetapi propelan paling efisien (memiliki impuls spesifik terendah) dari semua jenis mesin jet. Pada motor roket yang memiliki propulsi padat, propelan diletakan didalam chamber pembakaran dan proses pembakarannya dimulai dengan menjalankan penyala awal (Igniter) yang bersifat sebagai sumbu api dan mengenai ujung propelan padat.

Permukaan yang hendak terkena nyala api penyala awal, terus melebar dan berpropagasi kedaerah propelan padat yang belum

terbakar. Pembakaran pada grain propelan ini menghasilkan gas dengan temperature yang tinggi, gas setelah pembakarannya dikeluarkan melalui *noozle* yang didesign dengan diameter *throat noozle* lebih kecil dari bagian terluarnya. Sehingga diharapkan dari desain tersebut, gas yang dikeluarkan dapat menghasilkan gas buang dengan kecepatan subsonik yang digunakan untuk menghasilkan dorongan yang reaktif pada roket. (sandy. 2015)

#### 2.1.10. Proses Pembakaran

Secara general, setiap motor roket berpropulsi menggunakan oksigen dari ruang terbuka dalam mendukung proses pembakaran propelan yang memiliki sifat padat. Namun, pada roket yang memiliki propulsi cair, oksigen didapatkan dari tabung penyimpanan pada bagian dari motor roket. Sehingga dalam aplikasinya, motor roket ini dapat digunakan dalam medan yang memiliki tingkat kadar oksigen yang rendah sekalipun dengan area hampa udara. (sandy. 2015) Contoh struktur arsitektur dari motor roket dapat dilihat pada Gambar 2.5, sebagai berikut:



**Gambar 2. 4. Arsitektur motor roket**

Sumber : (Dewi, 2016)

Prinsip kerja roket mirip dengan prinsip terdorongnya balon mainan. Sebuah roket mengandung tangki yang berisi bahan hidrogen cair dan oksigen cair. Kedua bahan bakar ini dicampur dalam ruang

pembakaran sehingga terjadi pembakaran yang menghasilkan gas panas yang akan menyembur keluar melalui mulut pipa yang terletak pada ekor roket (*nozzle*).

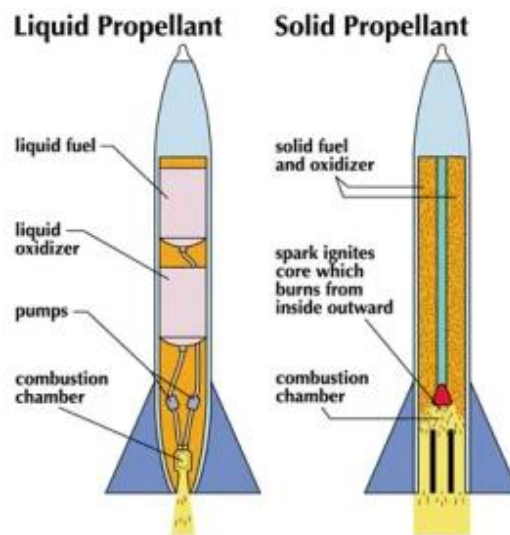
Terjadi perubahan momentum gas dari nol (0) menjadi  $mv$  selama selang waktu tertentu ( $\Delta t$ ). Ini menghasilkan gaya yang dikerjakan roket pada gas (sesuai dengan persamaan  $F = \Delta p / \Delta t$ , gaya yang bekerja pada suatu benda sama dengan perubahan momentum benda per satuan waktu) dengan arah ke bawah. Sesuai hukum III Newton, timbul reaksi gaya yang dikerjakan gas pada roket, yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan yaitu ke atas. Jadi, gas akan mengerjakan gaya ke atas pada roket sehingga roket akan terdorong ke atas.

Penyalan propelan padat terdiri dari serangkaian peristiwa cepat yang kompleks, yang dimulai setelah menerima sinyal (biasanya listrik) dan mencakup pembangkitan panas, pemindahan panas dari penyala ke permukaan butiran motor, menyebarkan api ke seluruh pembakaran. Luas permukaan, mengisi volume bebas ruang (rongga) dengan gas, dan menaikkan tekanan ruang tanpa kelainan serius seperti tekanan berlebih, osilasi pembakaran, gelombang kejut yang merusak, kebakaran (pengapian tertunda), pemadaman, dan pengosongan. Penyala pada motor roket padat menghasilkan panas dan gas yang dibutuhkan untuk penyalan motor. (Corradini et al., 2016)

#### **2.1.11. Komponen motor roket**

Pada umumnya, roket terdiri dari tiga bagian. Bagian pembawa muatan, pengendali, dan bagian mesin atau motor roket. Bagian pembawa muatan berfungsi untuk mengangkut barang satelit, objek lainnya, hingga bahan peledak. Bagian pengendali merupakan bagian di mana terdapat peranti untuk mengendalikan roket. Dan, bagian motor roket, merupakan bagian di mana terdapat mesin serta bahan

bakar roket. Sebagai catatan, mesin roket ini terbagi dalam dua kelompok, tergantung dari jenis bahan bakarnya yaitu cair dan padat, yang dapat dilihat pada gambar dibawah sebagai berikut :



**Gambar 2. 5. Roket Cair dan Padat**

Sumber : Robert A. 2008

#### a. Roket Cair

Roket cair adalah sebuah roket yang menggunakan propelan dalam bentuk *liquid*. Propelan jenis ini dapat disimpan di bawah tekanan rendah. Hal itu dikarenakan penggunaan cairan memungkinkan volume tangki propelan menjadi relatif rendah, dan memungkinkan untuk menggunakan *turbopumps* sentrifugal yang ringan untuk memompa propelan dari *chamber* ke pembakaran.

Beberapa jenis roket cair sebagai berikut:

- a. Roket monopropellant menggunakan satu jenis propelan
- b. Roket bipropellant menggunakan dua jenis propelan
- c. Roket tripropellant lebih eksotis menggunakan tiga jenis propelan

Roket cair adalah propelan yang berbentuk cair. Propelan jenis ini dapat diaplikasikan pada roket peluncur seperti peluncur satelit maupun manusia yang mengorbit ke luar angkasa, karena memiliki daya dorong (*Thrust*) yang lebih besar dari roket berjenis padat. Kelebihan propelan cair adalah level dorongan yang dihasilkan bisa diatur, namun kelemahan roket cair adalah biaya pembuatannya yang cukup mahal.

b. Roket padat

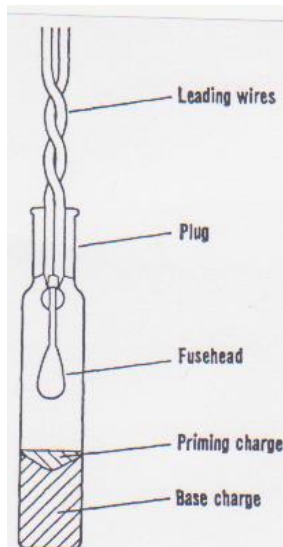
Roket padat adalah bahan bakar propelan yang berbentuk padat. Propelan ini diaplikasikan pada peluru kendali balistik, missile pesawat tempur, *Solid Rocket Booster* (SRB), dan lain-lain. Kelebihan propelan jenis padat yaitu lebih mudah untuk disimpan dan kekurangan propelan jenis ini adalah besar kecilnya *thrust* yang dihasilkan tidak mampu diatur dan memiliki impuls spesifik lebih kecil daripada propelan cair. Jadi ketika roket yang menggunakan propelan padat dinyalakan, *thrust* tidak bisa diatur sesuai keinginan. Roket berbahan bakar padat dapat tetap dalam penyimpanan untuk waktu yang lama, dan kemudian memulai andal dalam waktu singkat, mereka telah sering digunakan dalam aplikasi militer seperti rudal. (Robert A. 2008)

Berfokus pada bagian motor roket dengan bahan bakar padat (*solid propulsion*) sesuai dengan Implementasi yang sedang berlangsung di Lapan, bahan bakar propelan diletakan didalam ruang pembakaran dan proses pembakaran dimulai dengan mengalirkan listrik pada squib, squib merupakan bagian penghubung antara listrik dengan penyala awal. Pada konsepnya, penyala awal kemudian menyala dan mengenai titik permukaan bahan bakar propelan. Pembakaran propelan disebut sebagai grain ini menghasilkan gas dengan temperature yang tinggi. Gas hasil pembakaran tersebut yg

kemudian keluar melalui corong *noozlle* sehingga mendapatkan gaya dorong roket yang reaktif. (Corradini et al., 2016) Terdapat beberapa Komponen utama dalam tersusunnya motor roket, dimana terdiri dari: (Dapat dilihat pada sub bab 2.1.12, hingga 2.1.15)

### 2.1.12. *Squib*

Secara definisi, squib merupakan bagian Komponen penyala awal dari suatu motor roket dan pemantik paling pertama yang diaplikasikan untuk membakar komposisi primer (inisiator atau bahan isian) squib *fusehead*, yang kemudian membakar bahan isian utama penyala awal. Squib merupakan sumbu penyala listrik. (Lestariana, 2008) Dapat dilihat pada Gambar 2.6, Terdapat arsitektur squib sebagai pematik pada roket.



**Gambar 2. 6. *Squib***

Sumber : (Lestariana, 2008)

Selama ini squib yang digunakan LAPAN dalam pengujian-pengujiannya, baik uji nyala penyala awal, uji statik, dan uji terbang didapat dari luar instansi LAPAN dan luar negeri. Dari luar instansi

LAPAN, misalnya dari PT. PINDAD dan dari luar negeri antara lain dari Jepang dan Prancis (*Societe' Nationale des Poudres et Explosives*, SNPE).

### 2.1.13. Penyala awal (*Igniter*)

Dalam pengoperasian roket, salah satu komponen dari roket yang memiliki fungsi untuk pemacu penyalaan propelan di dalam motor roket adalah komponen *Igniter*. Menurut (Supriyatno, 2009) penyala awal ialah suatu elemen di dalam roket yang juga tersusun oleh : *squib*, isian piroteknik dan tabung casing.

Mekanisme penyala awal yang dioperasikan yaitu bermula dengan *squib* yang dialiri arus listrik akan teraktivasi sehingga menghasilkan percikan atau nyala api yang membakar *fusehead*, api tersebut akan menyalakan bahan baku piroteknik yang terdapat di dalam tabung penyala awal, dan mengeluarkan nyala api yang akan membakar propelan di dalam tabung motor roket.

Jika berbicara tentang jenis penyala awal, terdapat 4 tipe penyala awal yang umum digunakan saat ini, yaitu tipe *jellyroll basket*, *can* dan *pyrogen* (*Thiokol Rocket Basic*). Sementara itu, jika dipertimbangkan dari posisi pemasangannya, menurut (Supriyatno, 2009) penyala awal dalam sebuah proses pembakaran didalam roket dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu :

- a. Penyala awal yang terpasang disisi depan roket (*cap*)
- b. Penyala awal yang terpasang disisi nosel (belakang roket)
- c. Penyala awal yang terpasang di tengah-tengah propelan di dalam ruang bakarnya, yang berfungsi untuk membakar propelan dari dalam.

Dalam penelitian ini, penulis hanya fokus dalam membahas igniter berjenis cap yang ditempatkan di sisi depan roket. Adapun jenis piroteknik igniter yang digunakan adalah jenis composite yang sesuai dan digunakan pada operasi roket X 450.

#### 2.1.14. *Combustion Chamber*

Tekanan pada *combustion chamber* dapat dikatakan penting, dimana berkaitan dengan keberhasilan dari suatu sistim operasi motor roket. Tekanan pada ruang bakar, dapat mempengaruhi pembakaran propelan, gaya dorong yang dihasilkan, serta tekanan struktur didalam *combustion chamber* yang lebih berkonsentrasi pada beban casing motor roket dengan penutupnya. Untuk itu, jika kita dapat memahami sifat tekanan *combustion chamber*, maka dapat diperoleh prediksi design motor roket yang kuat untuk menahan tekanan di ruang pembakaran. (Sandy. 2015)

#### 2.1.15. Propelan

Propelan modern yang sudah diproses dapat diklasifikasikan dalam beberapa bagian, sebagai berikut:(Corradini et al., 2016)  
Adapun representative formulasi bahan propelan pada Gambar 2.7 Sebagai berikut :

Double-Base (JPN Propellant)		Composite (PBAN Propellant)		Composite Double-Base (CMDDB Propellant)	
Ingredient	Wt %	Ingredient	Wt %	Ingredient	Wt %
Nitrocellulose	51.5	Ammonium perchlorate	70.0	Ammonium perchlorate	20.4
Nitroglycerine	43.0	Aluminum powder	16.0	Aluminum powder	21.1
Diethyl phthalate	3.2	Polybutadiene-acrylic acid-acrylonitrile	11.78	Nitrocellulose	21.9
Ethyl centralite	1.0	Epoxy curative	2.22	Nitroglycerine	29.0
Potassium sulfate	1.2			Triacetin	5.1
Carbon black	< 1%			Stabilizers	2.5
Candelilla wax	< 1%				

**Gambar 2. 7. Formulasi Propelan**

Sumber : (Corradini et al., 2016) dikutip dari *Courtesy of Air Force Phillips Laboratory, Edwards, California.*

1. Propelan sering disesuaikan dan diklasifikasikan berdasarkan aplikasi khusus, seperti propelan pendorong peluncuran ruang

angkasa atau propelan rudal taktis; masing-masing memiliki bahan kimia yang cukup spesifik, kecepatan pembakaran yang berbeda, sifat fisik yang berbeda, dan kinerja yang berbeda. Propelan untuk motor roket memiliki gas panas (lebih dari 2400 K) dan digunakan untuk menghasilkan daya dorong, tetapi propelan generator gas memiliki gas pembakaran bersuhu lebih rendah (800 hingga 1200 K) dan digunakan untuk menghasilkan tenaga, bukan daya dorong.

2. Propelan *double base* (DB) membentuk butiran propelan homogen, biasanya berupa nitroselulosa (NC), bahan padat yang menyerap nitrogliserin cair (NG) ditambah sedikit aditif. Kedua bahan utamanya adalah bahan peledak dan berfungsi sebagai bahan bakar gabungan dan pengoksidasi. Propelan *double base* yang diekstrusi (EDB) dan *Cor Double Base* (CDB) telah menemukan aplikasi yang luas, sebagian besar pada rudal taktis kecil dengan desain yang lebih tua. Dengan menambahkan kristal nitramine (HMX atau RDX) kinerja dan kepadatan dapat ditingkatkan, ini disebut propelan *double base* yang dimodifikasi. Perbaikan lebih lanjut adalah menambahkan pengikat elastomer (seperti karet, seperti polibutadiena berikatan silang), yang meningkatkan sifat fisik dan memungkinkan lebih banyak nitramine dan dengan demikian sedikit meningkatkan kinerja. Propelan yang dihasilkan disebut *elastomeric-modified cast double-base* (EMCDB).
3. Propelan komposit membentuk butiran propelan heterogen dengan kristal pengoksidasi dan bahan bakar bubuk (biasanya aluminium) yang disatukan dalam matriks pengikat karet sintetis (atau plastik), seperti polibutadiena (HTPB). Propelan komposit dihasilkan dari campuran bahan padat (kristal AP, bubuk A1) dan cairan (HTPB, PPG). Propelan dikeraskan dengan mengikat silang atau mengawetkan polimer pengikat cair dengan sedikit bahan pengawet, dan mengawetkannya dalam oven, yang menjadi keras dan padat.

Dalam tiga dekade terakhir propelan komposit telah menjadi kelas yang paling umum digunakan.

#### **2.1.16. Aturan Umum Keselamatan Operasi Roket**

Cara yang dikatakan efektif untuk mengendalikan bahaya dan mencegah kecelakaan adalah :

- a. Melatih personel tentang bahaya setiap propelan yang menjadi perhatian dan mengajari mereka cara menghindari kondisi berbahaya, mencegah kecelakaan, dan cara memulihkan diri dari kecelakaan.
- b. Merancang motor, fasilitas, dan perlengkapan agar aman.
- c. Untuk melembagakan dan menegakkan aturan keselamatan yang baku selama desain, manufaktur, dan operasi, ada banyak aturan seperti itu. Contohnya adalah dilarang merokok dan tidak ada korek api di area di mana terdapat propelan atau motor bermuatan, mengenakan sepatu anti percikan api dan menggunakan alat anti percikan, melindungi semua peralatan listrik, menyediakan sistem pemadam kebakaran air banjir di fasilitas pengujian untuk mendinginkan motor atau memadamkan pembakaran, atau pengardean yang benar untuk semua peralatan listrik dan item yang dapat menimbulkan muatan listrik statis.

#### **2.1.17. Persyaratan Desain Penyala Awal (*Igniter*)**

Dalam melakukan perancangan penyala awal, hal yang harus diperhatikan adalah tekanan, temperatur, dan waktu pembakaran. Artinya bahwa tekanan dari hasil pembakaran igniter itu harus melebihi tekanan minimum yang diperlukan untuk menghasilkan pembakaran yang stabil, panas yang ditransfer dari hasil penyalaan igniter harus mampu meningkatkan temperatur permukaan propelan

melebihi *self ignition* temperature-nya, dan waktu pembakaran igniter harus memiliki rentang waktu tertentu, sehingga proses transfer panas dari pembakaran igniter ke permukaan propelan dapat berlangsung secara optimum (Supriyatno, 2009) dikutip dari Hans Florin, 1979.

*Solid Rocket Motors* (SRMs) membutuhkan sistem pengapian yang efisien untuk memulai fungsinya. Sistem *igniter*, yang disebut penyala awal, dipasang di motor roket untuk mencapai tugasnya. Igniter untuk SRM pada dasarnya terdiri dari dua jenis, yaitu *Igniter pirogen* yang digunakan untuk motor roket besar dari rudal balistik, dan *Igniter Pyrotechnic* yang digunakan untuk motor roket kecil.

Gaya dorong motor propelan padat berasal dari pembakaran propelan padat pada suhu dan tekanan tinggi. Penyala awal menginduksi reaksi pembakaran dengan cara yang terkendali dan dapat diprediksi dengan menghasilkan fluks panas dalam bentuk gas panas dan padat yang dengan cepat menyalakan permukaan propelan. (Alka Suri, 2020)

Aspek *safeguard* dari inisiator muncul sebagai ciri desain dasar yang merujuk pada buku *ignition system for solid rocket motor* (Alka Suri, 2020) berupa :

1. Ambang minimum daya listrik yang diperlukan untuk aktivasi penyala awal sebagai pemacu pembakaran.
2. Ketententuan sebagai penyumbatan tegangan (biasanya celah udara atau semikonduktor pada rangkaian listrik)
3. Daya tanggap hanya terhadap gelombang energi atau pita frekuensi tertentu, sehingga dapat terhindar dari gangguan ataupun energi lain yang bergesekan.

Tanpa kecuali, pengamanan semacam itu sampai taraf tertentu mengganggu keselamatan yang diberikan oleh *classical safe and arm device*.

Persyaratan umum dari sebuah Igniter adalah:

- a. Suhu permukaan propelan harus tinggi di atas suhu penyalaan otomatisnya
- b. Tekanan *motor chamber* harus tinggi di atas tekanan ambang batas untuk pembakaran propelan yang stabil
- c. Penundaan pengapian (waktu tunda dari penerapan *pulse electricity* ke titik ketika 10% dari tekanan puncak motor tercapai), harus dalam batas yang ditentukan
- d. Laju kenaikan tekanan, di dalam *motor chamber* selama transien pengapian tidak boleh terlalu tinggi yang menyebabkan puncak atau beban kejut yang tidak diinginkan. Di sisi lain, tidak boleh terlalu rendah untuk menyebabkan ketidakstabilan, hang-fires, dll.,
- e. Penyala awal harus memenuhi persyaratan fungsional, lingkungan, dan masa simpan/penyimpanan

#### **2.1.18. Gangguan Pada Penyala Awal (*Igniter*)**

Jika motor roket dinyalakan dan memulai pembakaran pada saat yang tidak diharapkan, konsekuensinya dapat mencakup gas yang sangat panas, kebakaran lokal, atau penyalaan motor roket yang berdekatan. Kecuali jika motor dibatasi atau diikat ke bawah, daya dorongnya tiba-tiba akan mempercepatnya ke kecepatan tinggi yang tidak terduga atau jalur penerbangan yang tidak menentu yang dapat menyebabkan kerusakan. Asap buangnya dapat menjadi racun dan korosif. Menurut (Corradini et al., 2016) Penyalaan yang tidak disengaja dapat disebabkan oleh efek ini :

- a. Arus statis atau arus induksi mengaktifkan penyala. Pelepasan muatan listrik statis menyebabkan percikan api atau pelepasan busur listrik. Kebakaran menyebabkan pemanasan yang

berlebihan pada bagian luar motor, yang dapat menaikkan suhu penggerak di atas titik penyalan.

- b. Penetrasi, atau menjatuhkan motor ke permukaan yang keras. Penyerapan energi dari getaran mekanis yang berkepanjangan dapat menyebabkan propelan menjadi terlalu panas.

Sistem elektromekanis biasanya digunakan untuk mencegah arus yang tidak dikehendaki mengaktifkan penyala. Hal itu disebut *safe and arm system*. Ini mencegah percikan api ataupun pembakaran yang disebabkan oleh arus di kabel lain kendaraan, arus yang diinduksi radar atau frekuensi radio, gelombang elektromagnetik, atau pulsa dari ledakan bom nuklir. Ini mencegah arus listrik mencapai sirkuit penyala selama kondisi "*unarmed*". Saat diletakkan di posisi "*arm*", alat siap menerima dan mengirimkan sinyal start ke penyala.

Pelepasan muatan listrik statis (ESD: *Electrostatic Discharges*) dapat disebabkan oleh petir, gesekan bahan isolasi, atau pemisahan bergerak dari dua isolator (Briody, 2000). Penumpukan potensial elektrostatik yang tinggi dari ribuan volt, setelah dilepaskan, memungkinkan peningkatan arus listrik yang cepat, yang pada gilirannya dapat menyebabkan reaksi lengkung atau reaksi eksotermik di sepanjang jalur arus. Karena alasan ini, semua propelan, *squib*, atau penyala awal harus memiliki konduktivitas listrik yang cukup untuk mencegah penumpukan muatan elektrostatik. Penyalan yang tidak disengaja dari roket *ground-to-ground* diyakini disebabkan oleh pelepasan muatan listrik statis saat berada di dalam kendaraan *transporter-erector*.

#### 2.1.19. Contoh Kegagalan Igniter

Dalam mencuplik contoh Kegagalan yang disebabkan pada peluncuran dan diindikasikan oleh errornya sistem igniter, terjadi di beberapa negara besar. Seperti yang dimuat oleh BBC News Tahun 2003, sekitar 20 orang tewas dalam ledakan yang menghancurkan

roket luar angkasa Brazil. Kegagalan tersebut disebabkan oleh salah satu dari empat motor roket terbakar, memicu ledakan yang menyebabkan landasan peluncuran runtuh saat teknisi melakukan tes akhir. (Sudjana, 2012)

Adapun kasus berikutnya yang dikutip dari *Ibbusinessjournal* 2021, pada misi "*Running Out of Toes*" yang membawa dua satelit pengamat bumi untuk konstelasi pemantauan global perusahaan intelejen, Geospasial Blacksky. Rocket Lab telah menyimpulkan bahwa misi tersebut gagal sebagai akibat dari masalah dengan sistem penyala tahap kedua roket Electron sekitar tiga menit dan 20 detik dalam penerbangan yang menyebabkan mesin mati.

Contoh dari risiko yang ditimbulkan yaitu pada tahun 2010, setidaknya 200 orang tewas oleh ledakan roket selama pemrosesan, pengujian, persiapan peluncuran, dan operasi peluncuran. Beberapa kasus lagi melibatkan peluncuran di mana wahana tersebut tidak berhasil mengorbit dan jatuh kembali ke bumi. Contoh lain kasus baru-baru ini yaitu *China Great Wall Industry Corporation* yang meluncurkan roket Long March-3B/G2 (Chang Zheng-3B/G2) dan membawa muatan satelit Nusantara 2, mengalami kegagalan pada tahapan ketiga peluncuran.

Dalam negeri sendiri, terdapat beberapa kegagalan roket yang dilakukan pada saat pengujian dan juga peluncuran, dengan rincian kegagalan dalam penyalaan penyala awal, hingga mengakibatkan gagalnya roket meluncur. Adapun kegagalan ini, disimpulkan berdasarkan hasil wawancara ahli yang dilakukan oleh penulis mencakup :

"Kegagalan yang ada di instansi X dilakukan pada saat pengujian, dengan intensitas kegagalan 1:10 pengujian. Sumber kegagalan tersebut diantaranya adalah gagalnya pembakaran pada penyala awal, sistem kelistrikan yang terjadi konsleting Sehingga gagal dalam penyalaan, hasil yang tidak memuaskan karena waktu delay yang tinggi diatas 3 detik pada penyala awal, roket gagal menyala, serta roket yang gagal meluncur"

Penulis berhasil menarik kegiatan berupa kasus yang baru saja terjadi, adalah kegagalan pengujian pada roket X di bulan November 2021, yang bertepatan dengan kegiatan observasi penulis. Indikasi kegagalan yang didapatkan adalah terlepasnya nozzle yang terpasang pada roket tersebut. Informasi yang penulis terima, analisis yang didapatkan mengarah pada tingginya temperature penyala awal pada awal waktu pembakaran, yang menyebabkan peningkatan percepatan pada pembakaran propelan dalam tabung, hingga nozzle tidak mampu menahan temperature tersebut.

Hasil wawancara tersebut juga didukung oleh data mentah yang berhasil diambil oleh penulis di sumber instansi Y yang masih dalam satu konsorsium, yaitu hasil evaluasi pada pengembangan roket dengan kaliber yang berbeda pada Tahun 2018, yaitu :

Tabel 2. 4. Contoh kasus kegagalan roket Y dalam lima pengujian

ROKET KE	ELEVASI	AZIMUTH	WARHEAD	SASARAN LAUT/DARAT	JARAK JATUHAN	KETERANGAN
1	40	88	TAJAM	LAUT	± 15 Km	<i>Trajectory</i> berbelok ke kiri setelah <i>launch</i> pada T=7 derajat
2	40	88	TAJAM	LAUT		Gagal meluncur meskipun dilaksanakan 4x <i>firing</i>
3	40	88	TAJAM	LAUT	± 17 Km	<i>Trajectory</i> berbelok ke kanan setelah <i>launch</i> pada T=15 derajat
4	40	88	TAJAM	LAUT	± 17 Km	<i>Trajectory wobbling</i> dan menukik pada T=9 derajat
5	40	88	TAJAM	LAUT	± 17 Km	<i>Trajectory</i> meluncur lurus namun roket wobbling pada T=16 derajat

Sumber : Dirahasiakan. 2018

Keselamatan, atau dalam bahasa Inggris “*safety*”, menurut John M. Rising diartikan sebagai “*freedom from accidents*”. (Damayanti, 2020). Beberapa kasus dan peristiwa yang didapatkan dari hasil wawancara serta pengambilan data sekunder tersebut, membuktikan bahwa kegiatan peluncuran memerlukan tingkat keselamatan yang tinggi, yang selain untuk menghindari jatuhnya korban, tetapi juga

menghindari kegagalan sistem yang berakibat tidak efektifnya penggunaan roket.

## 2.2. Penelitian Terdahulu

Penelitian yang mengangkat topik tentang sistem keselamatan penyala awal dalam pembakaran propelan pada motor roket X, khususnya di Indonesia dapat dibidang cukup terbatas. Pada umumnya, yang lebih sering dibahas adalah perihal *propeller*, dan penyala awal secara umum. Namun, hal tersebut tidak menjadi halangan dalam mendapatkan literatur penelitian-penelitian terdahulu yang memiliki relevansi dengan penelitian ini, diantaranya :

- a. Robert briody, *Electrical Current Requirements of Model Rocket Penyala awals*. Dimana terdapat syarat standar atau mungkin minimum listrik yang dibutuhkan dalam pengoperasian penyala awal sebagai penyala pada sistem pembakaran propelan pada suatu motor roket. Kebutuhan arus listrik pada penyala awal sangat bervariasi, Bentuk gelombang digambarkan dari hasil Pengujian 3 jenis penyala awal dengan pabrikan yang berbeda. Karena hanya tiga penyala yang diuji dari masing-masing pabrikan, hasil pengujian hanya berupa '*snap shot in time*'. Saat memilih korek api, Anda harus memahami aplikasi target. Jika terhubung ke elektronik yang dikendalikan komputer atau logika digital, Anda harus merancang sistem untuk permintaan seperti sistem pengaman pada saat puncak dari penyala awal. Kegagalan saat melakukan pembakaran dapat menyebabkan kerusakan serius atau Kegagalan peluncuran roket.
- b. Heru supriyanto, penelitian yang membahas tentang "Penyala awal roket lapan". Dimana, dalam penelitiannya dibahas mengenai pemilihan dalam penggunaan penyala awal yang

disesuaikan untuk operasi roket yang dibutuhkan. Selama ini, untuk motor roket yang memiliki diameter kecil, jenis isian penyala awal yang umum digunakan adalah *Black Powder* dan potongan propelan. Sejalan dengan berkembangnya pemakaian diameter motor roket, maka untuk mempersingkat waktu tunda penyalannya, saat ini telah dikembangkan jenis isian berbentuk pellet. Dengan menggunakan isian berbentuk pellet yang dimasukkan ke dalam struktur tabung yang dirancang dengan mengacu pada jenis penyala awal roket Kappa-8, penyala awal telah berhasil menyalakan propelan roket berdiameter besar secara stabil, dengan waktu tunda penyalan yang singkat.

- c. S N Rohil, Perancangan penyala awal untuk motor roket padat RX 420. Dalam bahasan yang dilakukan, didapatkan perancangan penyala awal tipe pirogen dirancang untuk motor roket RX 420 mm dengan panjang 4000mm yang menggunakan propelan konfigurasi ganda uxigon wheel – silinder. Adapun hasilnya yaitu : panjang tabung = 302,6 mm dengan diameter = 52 mm. main charge dengan berat 388.31 gr dengan volume sebesar 212,19 cm. berat black powder yang digunakan = 310,87 gr dengan volume 141,37cc. panjang keseluruhan penyala awal dengan tangkai pemegangnya = 402,6mm. dengan hasil perancangan tersebut diharapkan penyala awal dapat membakar seluruh propelan yang terdapat pada tabung secara maksimal.
- d. Ganda samosir, perhitungan dan perancangan penyala awal berbasis kalkulasi propulsi roket dengan studi kasus roket RX 320. Dimana dalam penelitian ini dibahas mengenai metode perhitungan jumlah propulsi yang akan mempengaruhi pemilihan jenis penyala awal pada pembakaran. Ada 2 faktor yang mempengaruhi kinerja penyala awal yaitu, faktor internal berupa

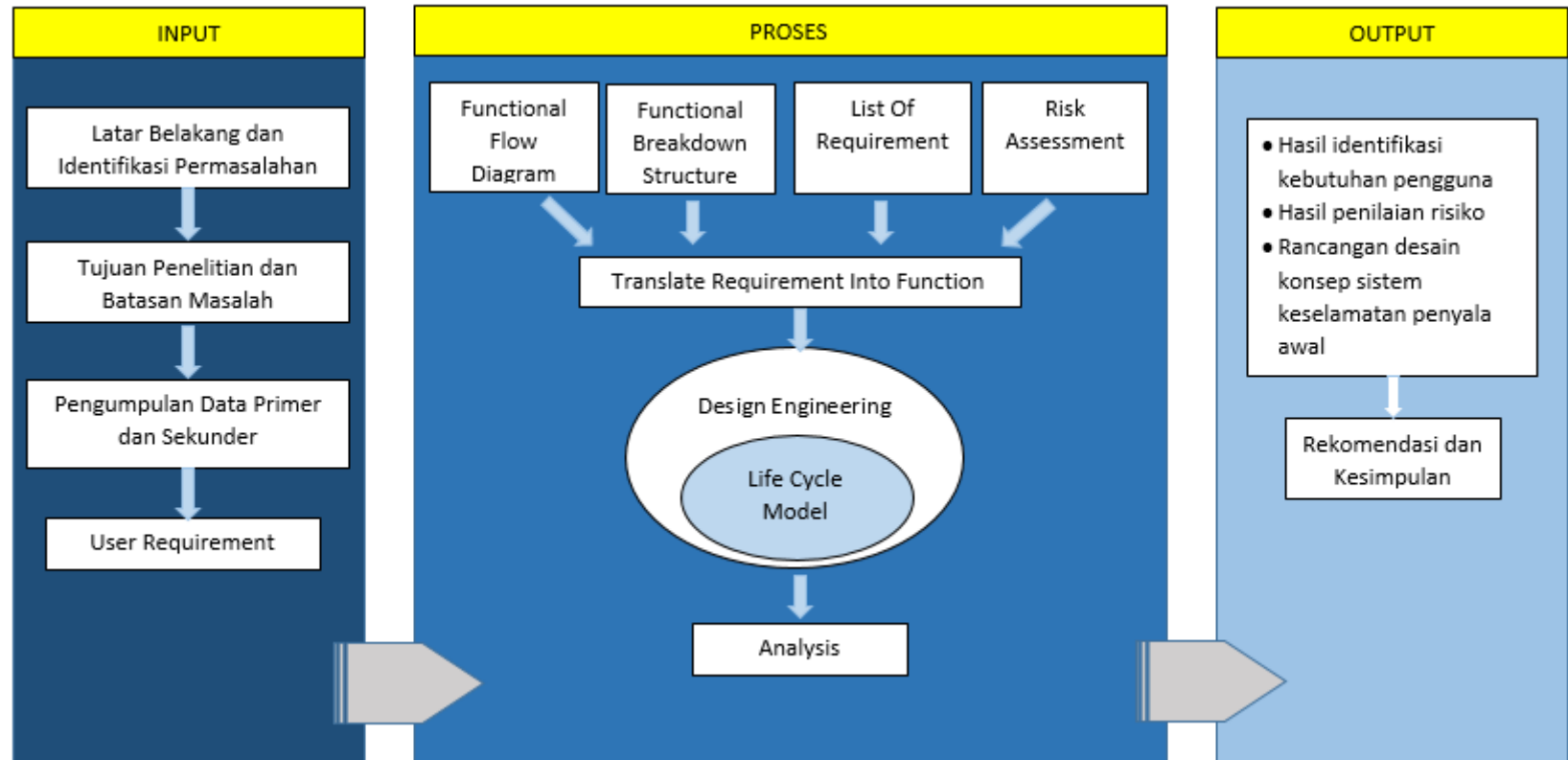
jenis squib, bahan filament, faktor isian utama. Sedangkan faktor eksternal meliputi jenis propelan, dimensi dan konfigurasi ruang bakar motor roket. Dari hasil penerapan kalkulasi propulsi, diperoleh besaran penting yaitu : panjang tabung = 357 mm, diameter luar = 51 mm dan jumlah total lubang pengarah api pada penyala awal sebanyak 165 lubang dengan diameter masing masing 4mm. dalam penelitian, lubang pengarah api dibuat secara divergen, sehingga nyala api dapat diarahkan dengan menyeluruh yang mengakibatkan pembakaran secara radial.

Tabel 2. 5. Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Sumber	Tahun	Pembahasan	Persamaan	Perbedaan
1	Alka Suri	Ignition system for solid rocket motors	DESIDOC, Metcalfe House, Delhi	2020	Membahas kebutuhan dan persyaratan igniter, serta melakukan pengkategorian jenis igniter	Membahas solid propulsion, dan melakukan analisis persyaratan sebagai requirement	Penelitian berfokus pada melakukan pengkategorian igniter, dan pada penelitian penulis melakukan identifikasi kebutuhan hingga perancangan konsep desain keselamatan operasi igniter
2	Robert briody	Electrical Current Requirements of Model Rocket Igniters.	Journal from publicmissiles.com	2015	Syarat standar minimum listrik yang dibutuhkan dalam pengoperasian igniter, Hasil pengujian berupa 'snap shot in time'	syarat standar minimum listrik dalam pengoperasian igniter	Penelitian hanya berfokus pada pengujian igniter, dan tidak melakukan desain konseptual ataupun perancangan prototipe

3	Heru Supriyanto	Igniter roket lapan	Jurnal Dirgantara	2010	Pemilihan dalam penggunaan igniter yang disesuaikan untuk operasi roket yang dibutuhkan	Membahas Konfigurasi dan spesifikasi untuk mempersingkat waktu tunda penyalannya, saat ini telah dikembangkan jenis isian berbentuk pellet	Penelitian bersifat tinjauan terhadap igniter roket di Lapan
4	Ganda Samosir	perhitungan dan perancangan igniter berbasis kalkulasi propulsi roket dengan studi kasus roket RX 320	Jurnal Teknologi Dirgantara	2012	Metode perhitungan jumlah propulsi yang akan mempengaruhi pemilihan jenis igniter pada pembakaran. Ada 2 faktor yang mempengaruhi kinerja igniter yaitu, faktor internal dan eksternal	Faktor internal dan eksternal dapat dijadikan rujukan dalam pembahasan penelitian	Membahas perancangan secara kalkulasi dan faktor internal eksternal

### 2.3. Kerangka Berfikir



Gambar 2. 8. Kerangka Berfikir