



Meramalkan Teknologi Satelit Nano Pada Jaringan Komando Kendali Guna Menyiapkan Satuan Ruang Angkasa TNI AU

(Technology Forecasting of Nano Satellite in Command and Control Network to Prepare the Indonesian Air Space Force Unit)

Firmansyah¹

¹Prodi Teknik Elektronika Pertahanan AAU

E-mail: firmansyah@aau.ac.id

Abstrak — Penelitian ini dilakukan untuk meramalkan teknologi masa depan yang relevan dalam menyiapkan satuan ruang angkasa TNI Angkatan Udara (TNI AU), dengan fokus pada penggunaan teknologi satelit nano pada jaringan komando dan kendali (kodal). Satelit nano menawarkan solusi akan teknologi komunikasi yang handal di tengah-tengah meningkatnya kompleksitas dan dinamika penyelenggaraan operasi militer yang mencakup area antariksa, berupa keunggulan dalam fleksibilitas, efisiensi biaya, integrasi data dan cakupan global. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan analisis deskriptif dengan tujuan menganalisa trend teknologi, mengevaluasi kebutuhan operasional dan mengembangkan kerangka strategis untuk dapat diadopsi dan dikembangkan teknologinya. Dalam proses mengembangkan teknologi melalui peramalan trend masa depan, tentunya akan menimbulkan tantangan dan peluang. Oleh karenanya, penelitian ini membahas peluang yang dapat dimanfaatkan dengan melihat tantangan yang ada melalui beberapa teori dengan disertai analisa SWOT dan strategi yang ditetapkan, dalam rangka menyiapkan satuan ruang angkasa TNI AU. Pada akhirnya, penelitian ini akan memberikan rekomendasi strategis bagi TNI AU akan pentingnya mengembangkan teknologi ini dalam menyiapkan satuan ruang angkasa, dihadapkan pada tugas-tugas dalam menyelenggarakan kegiatan misi operasi melalui kesiapan dan kemampuan kodal yang handal.

Kata Kunci —Peramalan teknologi, satelit nano, ruang angkasa

Abstract — *This research aims to conduct technology forecasting which is relevant to prepare the Indonesian Air Space Force Unit of, focusing on nano satellite in supporting the command and control (C2) network. Nano satellite offers potential solutions of resilient communication technology in the middle of military space operation complexity and dynamics, with beneficial advantages in flexibility, cost-efficiency, data integration and global coverage. This research uses qualitative approach and descriptive analysis method to achieve the objectives by analyzing technology trend of satellite, evaluating the need of air operation and developing technology adoption through strategic framework. However, in the process of developing future technology may cause any challenges and opportunities. For this reason, this research will expect to discover the opportunities and to consider the challenges base on theories as well as SWOT analysis and strategy consideration, in order to prepare the Air Space Unit of IDAF. Finally, this research provide strategic recommendation for IDAF about the necessity of this technology in preparing the Air Space Unit related to the tasks of military operational mission with the resilient C2 capabilities and readiness.*

Keywords — *Technology forecasting, nano satellite, air space*

*Firmansyah

E-mail: firmansyah@aau.ac.id

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di era yang semakin modern mempengaruhi pesatnya kemajuan teknologi di bidang pertahanan, salah satunya adalah teknologi satelit nano yang sangat penting dalam proses jalur pengiriman data dan komunikasi, dengan keunggulan dimensinya yang kecil, fleksibilitas dalam pengoperasian, biaya peluncuran yang relatif rendah dan kemampuan memberikan cakupan global. Kemampuan untuk mengintegrasikan teknologi satelit ke dalam sistem pertahanan nasional sangat penting untuk mendapatkan keunggulan strategis dan operasional. Selain memberikan solusi yang efisien dan efektif untuk meningkatkan komunikasi, serta memantau di area yang luas dan sulit dijangkau, teknologi ini juga dapat digunakan untuk kepentingan intelijen dalam berbagai situasi, baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Penelitian ini dilakukan untuk meramalkan teknologi masa depan yang relevan dalam menyiapkan satuan ruang angkasa TNI Angkatan Udara (TNI AU), dengan fokus pada penggunaan teknologi satelit nano untuk mendukung jaringan komando dan kendali (kodal). Seiring dengan meningkatnya kompleksitas dan dinamika penyelenggaraan operasi militer pada cakupan antariksa, maka kebutuhan akan teknologi komunikasi yang handal semakin penting.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meramalkan teknologi satelit masa depan sehingga dapat diterapkan dalam jaringan komando kendali TNI AU, yang dalam waktu dekat akan fokus membangun satuan ruang angkasa. Secara khusus, penelitian ini akan menganalisis tren teknologi satelit nano yang sedang berkembang, mengevaluasi kebutuhan operasional jaringan kodal TNI AU dan mengembangkan kerangka strategis untuk dapat diadopsi dan dikembangkan teknologinya. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat memberikan panduan strategis kepada pengambil kebijakan TNI AU tentang bagaimana mengembangkan teknologi satelit nano ke dalam bagian dari sistem penggelaran pertahanan udara di masa depan. Melalui analisis mendalam mengenai keunggulan dan tantangan yang dihadapi oleh teknologi satelit nano, penelitian ini akan memberikan rekomendasi praktis dan kerangka strategis bagi pengembangan dan penerapan teknologi ini menggunakan Analisa SWOT yang dielaborasi ke dalam beberapa elemen di dalamnya. Hasilnya akan memberikan penjelasan yang komprehensif akan peran dan kontribusi teknologi satelit nano dalam memperbaiki kualitas komunikasi dan pengambilan keputusan pada operasi militer melalui jaringan kodal yang handal.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa jaringan komando kendali yang efektif memerlukan teknologi komunikasi yang handal dan fleksibel, melalui pengembangan dan implementasi teknologi satelit untuk keperluan militer. Meskipun tidak membahas secara spesifik tentang penggunaan teknologi satelit nano, namun menghasilkan kesimpulan akan pentingnya jaringan komunikasi yang mendukung terselenggaranya sistem komando dan kendali yang handal. Victor Gardner menulis artikel "*An Appliance-Based Approach to Small Satellite Command and Control*" yang menjelaskan metode penggunaan perangkat terintegrasi untuk meningkatkan efektivitas komando dan kendali (kodal) pada satelit kecil, dihadapkan pada kompleksitas penanganan dalam sistem kodal satelit kecil [1]. Terdapat gap penelitian bahwa pembahasan hanya pada aspek teknis penerapan perangkat keras dan lunak dalam sistem kodal, tetapi tidak membahas secara menyeluruh bagaimana teknologi ini dapat digunakan dalam konteks militer, khususnya Angkatan Udara. Integrasi teknologi pada jaringan kodal operasional militer masih belum dibahas yang tentunya memiliki nilai yang sangat strategis. Penelitian ini berusaha untuk mengisi gap tersebut dengan memberikan analisis yang lebih mendalam tentang pentingnya TNI AU untuk mengembangkan dan menggunakan satelit nano, bahkan meramalkan tren teknologi masa depan yang akan dimiliki. Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan hal-hal khusus seperti keamanan, interoperabilitas, dan adaptasi teknologi satelit nano ke situasi operasional Indonesia, yang belum dibahas dalam penelitian sebelumnya.

Dari penelitian sebelumnya dengan judul "*Design and Manufacture of a Nanosatellite for Space Technology Education and Potential Application*", terdapat gap penelitian yang dapat diidentifikasi, yaitu hanya membahas desain dan pembuatan nanosatelit untuk tujuan pendidikan dan kemungkinan penerapannya. Penelitian ini lebih fokus membahas pada aspek teknis dasar dan penerapannya di dalam pendidikan daripada pengembangan teknologi satelit nano yang lebih

mutakhir untuk kepentingan militer [2]. Untuk mengisi gap tersebut, memerlukan pembahasan yang fokus pada bagaimana meningkatkan kapabilitas untuk pertahanan, seperti membangun jaringan komando kendali yang lebih handal, memasukkan teknologi kecerdasan buatan, atau meningkatkan daya tahan satelit nano dalam kondisi operasional yang ekstrem. Penelitian ini juga akan membahas secara menyeluruh bagaimana satelit nano dapat berfungsi sebagai sarana komunikasi dalam sistem pertahanan udara saat ini atau digunakan dalam situasi konflik yang lebih kompleks. Selanjutnya, penelitian ini memberikan gambaran tentang tahapan untuk meramalkan teknologi satelit nano untuk nantinya digunakan TNI AU dalam membangun satuan ruang angkasa, menganalisa tren teknologi, meningkatkan kemampuan yang lebih baik, dengan daya tahan dan jaminan keamanan yang lebih tinggi, serta kecepatan dalam mengumpulkan dan memproses data yang tentunya sangat penting dalam membangun komunikasi dan koordinasi sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan.

II. LANDASAN TEORI

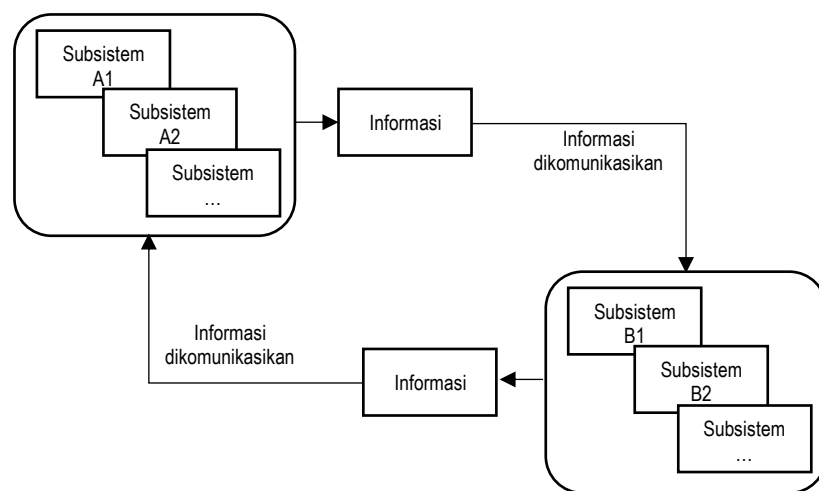
Penelitian ini selain membahas tren global, juga secara khusus mengimplementasikan pada TNI Angkatan Udara, yang memiliki karakteristik, permasalahan dan kebutuhan operasional yang berbeda melalui adopsi teknologi satelit nano. Dalam dua dekade terakhir, ukuran satelit sangat bervariasi dan untuk satelit nano sendiri atau dikenal dengan *Cubesat* memiliki dimensi 10 cm^3 dengan berat antara 1 sampai 10 kg [3]. Selanjutnya akan mengkaji lebih mendalam tentang bagaimana teknologi satelit nano dapat digunakan pada jaringan kodal untuk memenuhi kebutuhan operasional TNI AU yang akan membangun satuan ruang angkasa dengan mempertimbangkan aspek keamanan, interoperabilitas, dan keberlanjutan teknologi. Untuk itu, diperlukan beberapa teori untuk menguji hasil penelitian ini yang digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian yang akan dijelaskan di bawah ini.

A. Grand Theory: Teori Sistem Umum

General System Theory (GST) diciptakan oleh Ludwig von Bertalanffy pada tahun 1956, digunakan sebagai teori utama, berfokus pada interaksi di dalam sistem. Pada awalnya digunakan untuk membantu merencanakan dan mengambil keputusan, teori ini digambarkan sebagai interaksi elemen yang kompleks [4]. Teori ini diantaranya memiliki ciri-ciri seperti *hierarchy* (mengikuti tingkat sistem) dan *reciprocity* (saling ketergantungan antar elemen). Teori ini membantu kita memahami bagaimana setiap komponen sistem kodal TNI AU berfungsi sebagai bagian dari sistem yang lebih besar, saling bergantung dan mendukung satu sama lain sesuai dengan tingkat subsistem lainnya. Sistem kodal militer adalah sistem kompleks yang terdiri dari berbagai subsistem seperti komunikasi, sensor, dan pengendalian unit di lapangan, di mana nano-satelit adalah komponen penting.

B. Middle Theory: Teori Komunikasi

Pada teori tingkat menengah (*middle theory*), digunakan Teori Komunikasi yang muncul dari seperangkat proposisi yang berkembang dari teori sistem terutama dalam menginterpretasikan interaksi elemen-elemen dalam sistem melalui koneksi yang saling terkait. Menurut teori ini, subsistem berkomunikasi satu sama lain karena data dari satu sistem dikirim ke sistem lainnya [5]. Teori ini digunakan dalam konteks penggunaan teknologi satelit untuk memahami bagaimana hasil pemantauan dan pengintaian dapat ditransmisikan secara efektif ke sistem kodal dan unit satuan lainnya yang terhubung melalui jaringan komunikasi. Teori komunikasi membantu kita memahami informasi dari pengirim yang kemudian diolah, yang dapat membantu kita membuat keputusan yang akurat dan cepat baik sekarang maupun di masa depan [6], dalam hal ini adalah fungsi satelit nano sebagai pengirim informasi.



Gambar 1. Sistem Komunikasi

C. Application Theory: Teori Peramalan Teknologi (Technology Forecasting)

Teori yang mendasari ini adalah sebuah pernyataan yang dibangun oleh Giulio Douhet seorang ahli teori strategi kekuatan udara Italia, berupa metode sederhana untuk meramalkan masa depan dengan memperkirakan kemungkinan-kemungkinan penyebabnya, karena hari esok adalah hasil dari pemikiran-pemikiran saat ini [7]. Teori ini membangun pemikiran bahwa adanya potensi ancaman udara yang berteknologi semakin canggih, maka diperlukan sebuah sistem pertahanan udara yang kuat melalui jaringan komando kendali yang handal di masa mendatang. Melalui pertimbangan tantangan yang akan dihadapi, tren teknologi dapat diperkirakan dengan mengacu pada perkembangan teknologi saat ini dan jangka waktu tertentu ke depan [8]. Dengan kata lain, sudah seharusnya untuk membangun kerangka ilmiah berupa prediksi teknologi masa depan, khususnya teknologi satelit nano yang memungkinkan TNI AU untuk merencanakan kebutuhan teknologinya bagi kehandalan jaringan kodal.

D. Teori Analisis SWOT

Teori *SWOT analysis* merupakan sebuah instrument yang digunakan secara sistematis untuk menganalisa dan merumuskan strategi melalui pendekatan analisis dalam memaksimalkan kekuatan (*strength*) dan peluang (*opportunities*), sekaligus meminimalkan kelemahan (*weakness*) dan ancaman (*threat*). Teori ini membantu menganalisis baik faktor internal maupun eksternal yang ada untuk selanjutnya digunakan dalam mengembangkan dan mengimplementasikan teknologi satelit nano. Dalam hal ini, sangat tepat untuk memfasilitasi perumusan strategi berupa saran rekomendasi dalam memastikan keberhasilan dari penelitian ini.

Teori komunikasi digunakan untuk mendukung analisis ini dengan teori peramalan teknologi yang memberikan wawasan tentang bagaimana teknologi satelit nano dalam jaringan komando kendali di masa depan. Dengan memadukan teori-teori ini, artikel ini akan menguraikan potensi dan implikasi teknologi satelit nano masa depan, dalam menyiapkan satuan antariksa TNI AU sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem pertahanan udara Indonesia. Kondisi ini sangat penting, mengingat sistem kodal di berbagai sektor militer di seluruh dunia akan berkembang teknologinya untuk meningkatkan kemampuan pengambilan keputusan, seperti otomatisasi dan integrasi kecerdasan buatan [9].

III. METODE YANG DIGUNAKAN

A. Metodologi Penelitian

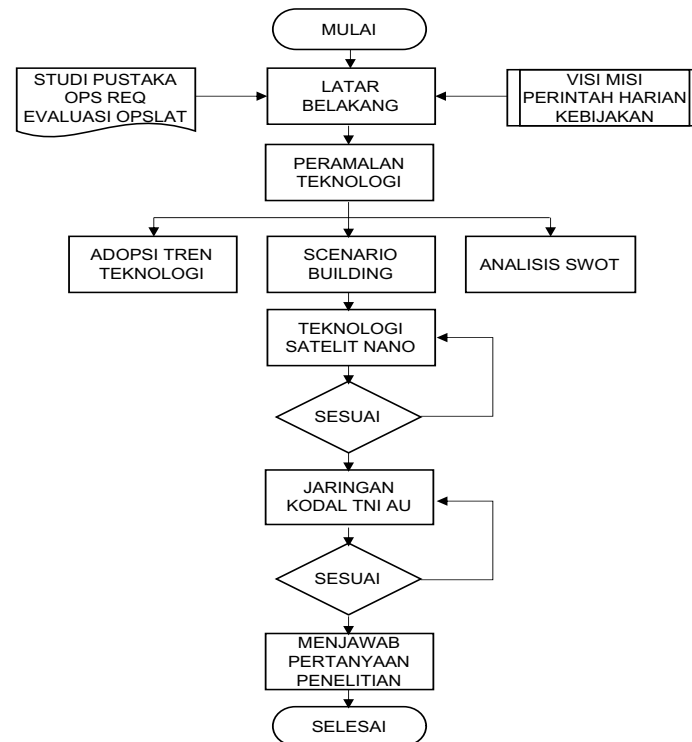
Penelitian ini menggunakan metodologi kualitatif deskriptif dengan tujuan untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang peramalan teknologi satelit nano pada jaringan komando kendali satuan ruang angkasa yang akan dibangun oleh TNI AU. Dengan menggunakan metodologi ini, diharapkan dapat digunakan untuk mengungkap dan memahami sesuatu serta memperoleh wawasan tentang sesuatu yang masih sedikit diketahui dengan memberikan penjelasan yang lebih rinci. Analisis data kualitatif dilakukan secara interaktif dan berlangsung terus menerus sampai tuntas, diantaranya melalui reduksi data, penyajian data, dan penarikan simpulan/verifikasi [10]. Metode ini dimulai dengan tinjauan pustaka untuk mendapatkan pemahaman tentang kerangka teoritis dan konseptual yang relevan dengan teknologi nano dan aplikasinya dalam sistem komando dan kendali militer. Tinjauan ini mencakup penelitian sebelumnya, jurnal akademis, buku, dan dokumen resmi yang membahas kemajuan teknologi ini, terutama terkait dengan peranannya dalam jaringan komando dan kendali yang digunakan untuk menerapkannya untuk kepentingan militer. Melalui proses ini, diharapkan dapat mengidentifikasi gap penelitian serupa yang pernah dilakukan, selanjutnya meningkatkan pemahaman tentang konteks dan dinamika teknologi satelit nano.

Setelah tinjauan pustaka, penelitian ini akan menganalisis tren teknologi yang berkaitan dengan pengembangan dan penerapan satelit nano untuk jaringan kodal. Analisis ini dilakukan dengan meramalkan teknologi melalui proses pengujian dan evaluasi dari sudut pandang akademis, bersamaan dengan kegiatan wawancara dan survei kepada para akademisi di bidang teknologi antariksa dan bidang kemiliteran. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi tren teknologi dan inovasi pengembangan satelit nano di masa depan, serta menerapkan dan mengembangkan teknologi satelit nano untuk jaringan kodal. Analisis tren ini juga membantu dalam memproyeksikan masa depan teknologi satelit nano dan nilai pentingnya bagi kepentingan militer. Analisis tren teknologi juga membantu dalam memproyeksikan masa depan teknologi satelit dan sehingga didapat nilai-nilai strategis bagi kepentingan militer dengan melihat urgensi yang didapat sebagai dasar dilakukannya penelitian ini.

Langkah selanjutnya mengevaluasi data operasional yang relevan dengan penggunaan teknologi satelit nano pada jaringan kodal untuk kesiapan membangun satuan ruang angkasa. Kegiatan ini menganalisis data yang diperoleh, baik primer maupun sekunder yang selanjutnya dijadikan dasar untuk lebih memahami tentang teknologi satelit dalam mendukung kebutuhan operasional jaringan kodal. Berikutnya, diharapkan dapat menghasilkan rekomendasi strategis tentang bagaimana penggunaan satelit yang efektif dan satelit, teknologi yang tepat untuk digunakan, pentingnya peran satelit dalam komunikasi dan koordinasi, serta perlunya membangun Kerjasama kolaboratif dalam mewujudkan satuan antariksa dengan didukung oleh teknologi satelit ini.

B. Kerangka Pemikiran

Berdasarkan hasil tinjauan pustaka, analisa tren teknologi, dan evaluasi data operasional, selanjutnya adalah menyusun kerangka pengembangan strategis untuk adopsi dan implementasi teknologi satelit nano oleh TNI AU. Kerangka ini digunakan sebagai buah pemikiran dalam melakukan penelitian mulai dari latar belakang, faktor-faktor yang dipertimbangkan, proses peramalan teknologi, adopsi tren teknologi, sampai pada lahirnya rekomendasi strategis berupa langkah-langkah yang harus diambil untuk memastikan bahwa teknologi ini dapat diintegrasikan secara efektif ke dalam jaringan komando dan kendali.



Gambar 2. Kerangka Pemikiran

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut akan diberikan hasil dari penelitian beserta pembahasan dengan tujuan untuk menjawab pertanyaan penelitian dengan dibagi ke dalam beberapa bagian sebagai berikut:

A. Desain dan Manufaktur Satelit Nano Saat Ini

Secara umum, desain dari satelit nano meliputi beberapa bagian subsistem diantaranya sumber daya (*power*), komunikasi, kendali ketinggian dan muatan lainnya. Berikut dijelaskan bagian-bagian tersebut dan bagaimana koneksi dari subsistem yang ada:

1. *Power Subsystem.*

Bagian ini terdiri dari *Solar Panels* yang mengkonversi tenaga surya menjadi tenaga elektrik untuk memberikan sumber daya untuk operasional satelit. Terdapat juga baterai sebagai penyimpanan daya yang digunakan saat periode dimana sinar matahari tidak dapat memberikan daya bagi panel surya. Selain keduanya, untuk mengendalikan pembagian distribusi catu daya terdapat *Power Distribution Unit* (PDU), yang berfungsi secara otomatis memberikan daya yang diperlukan ke semua subsistem yang ada di satelit.

2. *Communication Subsystem.*

Pada bagian komunikasi, terdapat dua peralatan yang berfungsi untuk memancarkan dan menerima sinyal, yaitu sebuah *transceiver*. Terdapat juga sebuah antena, yang digunakan sebagai alat untuk memancarkan dan menerima sinyal komunikasi dari *transceiver*. Sebuah system pengendali ditanamkan pada bagian ini, berupa *Onboard Computer*, sehingga proses penerimaan dan pemancaran sinyal oleh *transceiver* melalui antena dapat dikendalikan sesuai dengan protokol komunikasi yang ada.

3. *Altitude Control Subsystem.*

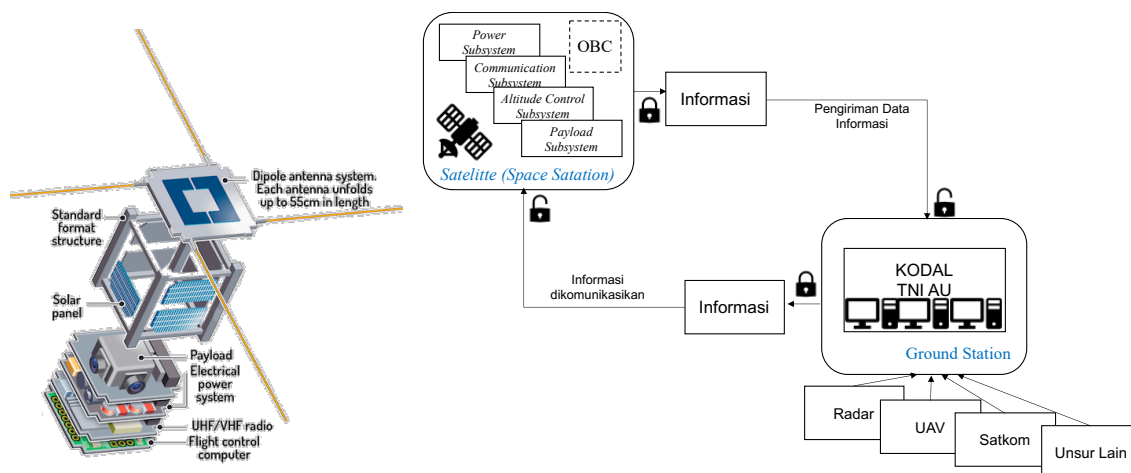
Bagian ini secara umum memuat peralatan berupa *Gyroscopes* dan *Magnetometers*, yang digunakan untuk mengukur dan mengetahui pergerakan satelit, kemana dan pada ketinggian yang diharapkan. Orientasi satelit dalam peredarannya di dalam orbit yang dikehendaki selalu dipantau dan diukur oleh peralatan ini, termasuk dengan adanya sistem reaksi dari *Wheels and Magnetorquers*. Sama halnya dengan subsistem komunikasi, pada bagian ini juga terdapat *Onboard Computer* yang digunakan untuk memproses pergerakan satelit sebagai bagian dari bagaimana orientasi satelit seharusnya bergerak dan untuk memberikan perintah (*commands*) pada actuator agar selalu pada jalur yang diprogramkan.

4. *Payload Subsystem.*

Muatan yang dibawa satelit masuk pada bagian subsistem ini, diantaranya adalah kamera dan sensor yang digunakan untuk mengumpulkan data-data dari gambar sesuai dengan lokasi yang diinginkan. Pada bagian ini juga terdapat data penyimpanan (*data storage*) dan sebuah komputer yang digunakan untuk mengoperasikan apa saja yang dibawa ke dalam muatan satelit dan memproses data sesuai program yang telah diatur.

5. *Onboard Computer (OBC).*

Sebagai bagian dari satelit sendiri, terdapat sebuah computer yang bertugas sebagai pusat pemrosesan program-program yang ada, mengkoordinasikan segala bentuk sistem operasi dari subsistem yang satu ke subsistem yang lain. Terdapat beberapa lapisan interface yang diberikan untuk digunakan sebagai penghubung antara sensor, *actuator*, *transceivers* dan unit data penyimpanan.



Gambar 3. Satelit Nano (kiri:sumber ©2024 Alén Space) dan Jaringan Kodal

B. *Tahapan Peramalan Teknologi (Technology Forecasting)*

Untuk mengembangkan dan mengimplementasikan satelit nano, proses peramalan teknologi yang sistematis sangat penting. Berikut adalah tahapan strategis yang dapat dilakukan untuk meramalkan dan mewujudkan teknologi satelit nano dalam mendukung kodal di TNI AU:

1. *Perencanaan.*

Untuk meramalkan dan mengembangkan teknologi satelit nano, sangat penting untuk merencanakan dengan matang kegiatan yang akan dilakukan, diawali dengan bagaimana menentukan kebutuhan khusus TNI AU diantaranya adalah kemampuan yang harus dimiliki dihadapkan pada peran satelit sebagai penunjang kebutuhan komunikasi yang handal, pengumpulan data intelijen yang akurat dan kemampuan menjalankan fungsi navigasi yang lebih

presisi. Pada tahap ini juga mulai dilakukan identifikasi elemen dalam analisis SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) yang bertujuan untuk mengidentifikasi kekuatan dan menghindari kelemahan sebagai bagian dari faktor internal, serta mengeksplorasi peluang dan mencari cara mengatasi ancaman yang merupakan faktor eksternal [11], yang dapat memengaruhi proses pengembangan teknologi satelit nano. Selain itu, pada tahap perencanaan ini akan dilakukan pengumpulan data tentang tren teknologi saat ini, bagaimana perkembangannya dan kemungkinan penggunaan teknologi tersebut di masa mendatang. Hal-hal lain seperti anggaran, sumber daya manusia, infrastruktur dan regulasi yang mempengaruhi untuk kegiatan ini juga harus dipertimbangkan secara menyeluruh.

2. Membangun Skenario.

Setelah perencanaan awal selesai, langkah berikutnya adalah membangun skenario untuk mengantisipasi berbagai kemungkinan yang dapat terjadi selama pengembangan dan penerapan teknologi satelit nano. Sekilas akan tampak seperti spekulasi, sama halnya saat tahun 1920 tidak mungkin kekuatan udara akan mendominasi pertempuran atau seperti saat ini sulitnya bagi kita untuk menilai dampak multimedia, bioteknologi, kecerdasan buatan, transplantasi organ, superkonduktivitas, kolonisasi ruang angkasa, dan berbagai perkembangan lainnya [12]. Namun demikian, tahapan ini merupakan sebuah ketetapan yang disepakati untuk membangkitkan persepsi akan pentingnya teknologi satelit nano, dengan analisis tren kemajuan teknologi yang diinginkan agar tetap *up-to-date* dengan teknologi saat ini dan bahkan mempertimbangkan tren teknologi di masa depan. Skenario yang dirancang selanjutnya akan dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan strategis, dengan mempertimbangkan risiko yang mungkin dihadapi dan menentukan tindakan apa yang harus dilakukan selama proses pengembangan teknologi satelit.

3. Membuat Program dan Kolaborasi Kerjasama.

Tahap berikutnya, berdasarkan skenario yang telah dibangun, adalah menentukan kebutuhan kerja sama atau kolaborasi dan membangun program pengembangan yang terorganisir. Program-program ini mencakup peta jalan teknologi yang mendetail yang mencakup tindakan jangka pendek, menengah, dan panjang yang harus dilakukan. Pada titik ini, sangat penting untuk bekerja sama dengan berbagai organisasi, seperti universitas, industri teknologi, lembaga penelitian, dan mitra internasional. Tujuan kerja sama ini adalah untuk mendapatkan akses ke teknologi terbaru, keahlian, dan dukungan finansial atau teknis yang diperlukan untuk proyek berhasil. Dengan memanfaatkan sumber daya dan keahlian dari berbagai pihak yang terlibat, kolaborasi dapat membantu dalam berbagi risiko dan mempercepat proses pengembangan.

4. Pembuatan Prototipe, Uji coba DOTMPLFI dan Peluncuran

Proses terakhir dalam peramalan teknologi ini adalah pembuatan prototipe satelit nano dan persiapan peluncurannya. Pembuatan prototipe melibatkan desain, pengujian, dan evaluasi teknologi untuk memastikan bahwa satelit nano yang dikembangkan sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan operasional TNI AU. Proses pengujian dilakukan terhadap faktor-faktor DOTMPLFI yang dijabarkan dengan faktor doktrin, organisasi, *training*, materiel, personel, kepemimpinan (*leadership*), fasilitas serta *interoperability* [13], untuk memastikan ketahanan dan kehandalan satelit terhadap kondisi luar angkasa ekstrim. Setelah pengujian, selanjutnya merencanakan orbit, memilih platform peluncuran dan satelit siap dioperasikan.

Dengan memanfaatkan langkah-langkah strategis ini, TNI AU dapat mengidentifikasi dan memproyeksikan kebutuhan teknologi satelit nano yang akan digunakan dalam proses membentuk satuan ruang angkasa. Tahapan tersebut juga dapat secara sistematis mengembangkan dan menerapkan satelit nano yang memiliki kemampuan sesuai dengan teknologi ke depan, untuk dapat digunakan pada jaringan komando dan kendali.

C. Peramalan Teknologi Satelit Nano Masa Depan (10-15 tahun).

Teknologi satelit nano telah berkembang pesat, terutama dalam penggunaannya pada kepentingan militer. Melalui kemampuan teknologi yang dimiliki, satelit menjadi bagian penting dari strategi militer di seluruh dunia karena sangat membantu dalam operasi pengawasan, melaksanakan komunikasi, komando dan kendali, mendeteksi ancaman. Penggunaan satelit untuk jaringan komunikasi di masa mendatang merupakan pilihan yang ideal karena ukurannya yang kecil, efisien, lebih fleksibel dan mampu menjalankan berbagai misi serta dipastikan terhubung dengan *interoperability* [14]. Teknologi ini diproyeksikan akan mengalami perkembangan yang pesat dalam sepuluh hingga lima belas tahun ke depan, sehingga memungkinkan untuk mengubah cara militer dalam mengawasi ruang udara maupun ruang angkasa, mengumpulkan dan mengolah data melalui jaringan komunikasi yang efektif. Di masa mendatang, akan terus mengalami peningkatan sesuai tren teknologi dengan mempertimbangkan banyak hal, diantaranya Evolusi Desain dan Kapabilitas, Jaringan dan Konstelasi, Peningkatan Efisiensi Energi dan Masa Hidup, Misi Khusus dan Aplikasi Baru serta Peningkatan Penggunaannya untuk Strategi Militer.

Teknologi satelit nano masa depan akan mengalami evolusi desain dan kapabilitas, terutama dari segi ukuran, daya tahan, dan kemampuan *payload*. Dari segi ukuran, miniaturisasi terhadap komponen dan Pengembangan material komposit baru yang lebih ringan namun lebih kuat dan tahan baik terhadap radiasi maupun perubahan suhu ekstrem. Sementara itu, satelit akan menjadikan Kecerdasan Buatan (AI) sebagai standar teknologi yang harus dimiliki, untuk membantu membuat keputusan secara otomatis berdasarkan data *real-time*, mengidentifikasi target, serta mengatur ulang misi secara dinamis. Bahkan, satelit akan dibekali kemampuan Sensor yang Lebih Canggih, diantaranya menggunakan teknologi optik, inframerah, radar, dan lain sebagainya. Kedua, perkembangan yang paling signifikan lainnya adalah penggunaan konstelasi jaringan satelit nano, yang akan memungkinkan upaya kolaboratif untuk mencakup area yang luas dan berbagi data secara langsung. Karena kemampuan mereka untuk memberikan cakupan global yang cepat dan berkelanjutan, konstelasi satelit nano dapat mengisi kekosongan atau kegagalan satelit tertentu, dan mengurangi risiko gangguan komunikasi. Meskipun demikian, kemampuan konektivitas dan jaringan, yang merupakan komponen penting dari komunikasi, memungkinkan militer untuk memproses dan mengirimkan data secara *real-time*, yang meningkatkan efisiensi operasi. Ketiga, di masa mendatang penggunaan teknologi komunikasi berbasis kuantum menjanjikan tingkat keamanan yang jauh lebih tinggi pada satelit dalam menghindari potensi penyadapan dan peretasan oleh musuh. Negara tirai bambu sudah merintis mewujudkan keinginannya menjadi yang terdepan menggunakan teknologi ini, saat meluncurkan satelit yang berkemampuan enkripsi keamanan teknologi kuantum [15].

Salah satu masalah utama dalam pengoperasian satelit adalah sumber energi, sehingga peningkatan efisiensi dan memperpanjang masa operasional (*lifetime*) satelit merupakan perkembangan teknologi berikutnya yang menjadi tren masa depan. Teknologi panel surya harus mampu menghasilkan lebih banyak tenaga, sementara penggunaan baterai seperti *litium-sulfur* merupakan salah satu alternatif penyimpanan sumber energi, disertai system manajemen daya cerdas untuk mengelola, mengatur dan mendistribusikan penggunaan sumber daya dan cadangan ke berbagai subsistem untuk mengoptimalkan usia penggunaan operasional satelit. Kelima, teknologi satelit nano masa depan harus mampu menjalankan beberapa misi yang lebih kompleks, seperti mendeteksi, merespon ancaman, dan memantau ruang angkasa. Bahkan, memungkinkan untuk melaksanakan konfigurasi perubahan beberapa misi secara *remote* dengan waktu reaksi yang cepat, yang selanjutnya berjalan secara otomatisasi. Dengan kata lain, akan memberikan fleksibilitas yang luar biasa dalam menjalankan berbagai jenis misi dengan satu jenis satelit. Kemampuan ini akan memberikan dampak signifikan pada strategi militer, menjadi lebih terkoordinasi, perolehan data *real-time*, serta lebih responsif terhadap situasi darurat dan ancaman guna mendukung pengambilan keputusan.

D. Adopsi Teknologi Satelit Nano Dan Pengembangan Untuk Satuan Ruang Angkasa

TNI Angkatan Udara (TNI AU) perlu mengikuti beberapa tahapan strategis yang terstruktur dan sistematis untuk meneliti dan mengembangkan teknologi satelit nano. Tahapan-tahapan ini mencakup perencanaan awal, penelitian dan pengembangan, pembuatan prototipe, pengujian, dan akhirnya peluncuran serta pemantauan dan pemeliharaan. Serangkaian proses ini diharapkan dapat diterapkan oleh TNI AU dalam mengembangkan teknologi satelit nano guna membangun satuan ruang angkasa, sehingga memiliki kemampuan pertahanan udara handal untuk menghadapi tantangan masa depan yang kompleks seiring dengan kemajuan teknologi. Berikut ini adalah penjelasan langkah-langkah yang dapat dilakukan oleh TNI AU:

1. Perencanaan Awal dan Studi Kelayakan.

Perencanaan awal merupakan tahap mengembangkan teknologi satelit nano dengan menentukan kebutuhan operasional TNI AU. Pada tahap ini, sangat penting untuk memahami secara menyeluruh bagaimana satelit nano dapat memenuhi kebutuhan khusus sistem kodak dalam operasi udara. Salah satu realisasinya adalah adanya kerjasama TNI AU dengan PT. Pasifik Satelit Nusantara berupa perencanaan atau pengembangan teknologi keantariksaan, pemanfaatan Satelit Indonesia dan kerjasama penguatan kemampuan sumber daya manusia di bidang keantariksaan [16]. Hal lainnya yang perlu dipersiapkan adalah dengan melakukan studi kelayakan untuk menilai aspek teknis, finansial, dan peraturan perundangan yang berlaku, sebagai dasar untuk menentukan apakah pengembangan teknologi satelit nano sesuai dengan kebutuhan TNI AU.

2. Pembentukan Tim Penelitian dan Pengembangan.

Pada langkah selanjutnya, TNI AU membentuk tim penelitian dan pengembangan yang terdiri dari ahli teknologi antariksa, para insinyur satelit, dan para perwira ahli bidang komunikasi, berkolaborasi dengan para akademisi dari universitas dan mitra dari industri pertahanan. Tim tersebut selanjutnya menganalisa, membuat desain satelit, menetapkan spesifikasi teknis, dan mengembangkan perangkat lunak dan perangkat keras yang diperlukan. Melalui kolaborasi dengan akademisi dan kemitraan strategis, diharapkan memberi manfaat dalam mempercepat proses pengembangan teknologi tren, mendapatkan akses ke teknologi terbaru, pengalaman praktis, dan keahlian yang tidak dimiliki secara internal. Melalui kolaborasi tim ini, TNI AU mengambil pelajaran dan pengalaman terbaik dari negara lain dalam membangun dan mengoperasikan satelit nano untuk kepentingan militer.

3. Desain dan Pengembangan Prototipe.

Setelah pembentukan kerangka kerja penelitian dan kerja sama, langkah berikutnya adalah mendesain dan mengembangkan prototipe satelit nano. Proses ini melibatkan pembuatan model awal dari seluruh bagian penting satelit, seperti unit kontrol, sensor, dan sistem komunikasi. Untuk memastikan bahwa desain prototipe ini dapat beroperasi dengan baik dalam kondisi operasional yang diharapkan, seperti kondisi ekstrim di ruang angkasa, desain ini harus diuji dalam berbagai simulasi.

4. Pengujian dan Validasi.

Serangkaian pengujian dan validasi selanjutnya dilakukan pada prototipe yang telah dikembangkan. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa satelit dapat memenuhi semua persyaratan operasional yang ditetapkan dan beroperasi dengan baik di luar angkasa, melalui pengujian terhadap kemungkinan yang terjadi dari pengaruh lingkungan, pengujian terhadap sistem kerja, dan pengujian kompatibilitas dilakukan apakah sudah sesuai dengan program yang ditetapkan. Selain itu, sangat penting untuk menguji ketahanan perangkat sistem satelit terhadap ancaman siber, gangguan terhadap keamanan data dan gangguan dari elektronik yang mungkin terjadi saat satelit beroperasi.

5. Peluncuran dan Integrasi Operasional.

Pada tahap ini, satelit nano siap untuk diluncurkan setelah melewati tahap pengujian dan validasi. Selanjutnya adalah memilih penyedia layanan peluncuran, menyelesaikan dokumen perizinan, dan menyiapkan semua infrastruktur pendukung yang diperlukan agar siap untuk dilaksanakan peluncuran. Untuk memastikan peluncuran satelit berhasil, semua pihak terkait harus bekerja sama dengan ketat. Segera setelah peluncurannya, satelit nano dimasukkan ke dalam sistem kodal TNI AU untuk selanjutnya siap digunakan dalam operasi udara, membangun komunikasi dan sarana koordinasi, mendeteksi dan mengumpulkan data serta melaksanakan pemantauan dan pengintaian dalam konteks untuk kepentingan militer.

6. Pemantauan dan Pemeliharaan.

Tahapan berikutnya secara terus-menerus memantau perkembangannya setelah peluncuran dan memastikan bagaimana integrasi jaringan kodal dapat mendukung operasional kegiatan satuan ruang angkasa sesuai dengan yang diharapkan. Pemantauan orbit, komunikasi, dan kinerja sistem secara keseluruhan adalah bagian dari pengawasan ini. Untuk memastikan bahwa satelit tetap beroperasi dengan optimal sepanjang masa operasinya, TNI AU juga harus membuat prosedur pemeliharaan rutin, apakah mulai Petunjuk Penyelenggaraan, Petunjuk Referensi bahkan sampai dengan prosedur tetap. Selain itu, perlu untuk mempertimbangkan rencana kontingensi melalui perencanaan dan pembuatan prosedur khusus apabila dihadapkan pada situasi darurat seperti kegagalan sistem atau adanya kemungkinan ancaman/serangan dari luar.

7. Evaluasi dan Pengembangan Berkelanjutan

Akhir dari pengembangan teknologi satelit nano adalah melakukan evaluasi menyeluruh terhadap kinerja satelit setelah beberapa waktu beroperasi. Evaluasi ini penting untuk menentukan area mana yang perlu diperbaiki atau ditingkatkan untuk pengembangan satelit berikutnya. Untuk meningkatkan cakupan dan kapasitas, TNI AU dapat menggunakan hasil evaluasi untuk rencana pengembangan satelit lebih lanjut.

E. Analisis SWOT dan Rekomendasi Strategis

Analisis SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats*) digunakan untuk menganalisa potensi yang ada, selanjutnya dapat digunakan untuk lebih memahami potensi penggunaan teknologi nanosatelit oleh TNI AU dalam 10-15 tahun ke depan.

Kekuatan (*Strength*) meliputi Efisiensi, Fleksibilitas, Adaptibilitas, Ukuran dan Volume, Integrasi Sistem serta Kemandirian Operasional. Dalam hal ini, satelit nano memiliki keunggulan dalam biaya produksi dan peluncuran yang lebih rendah, mempunyai kemampuan yang fleksibel untuk dapat dirancang, diproduksi, dan diluncurkan dalam waktu yang lebih singkat, serta berkemampuan adaptibilitas sehingga memungkinkan respons cepat terhadap kebutuhan operasional yang mendesak. Dari segi ukuran, nanosatelit memiliki volumenya yang kecil sehingga memudahkan peluncuran beberapa satelit dalam satu misi, dikenal dengan istilah “*cheaper by the dozen*” yang menggambarkan banyaknya jumlah yang akan diluncurkan saat ini dan beberapa tahun ke depan [3]. Satelit nano dapat diintegrasikan dengan unsur pertahanan udara lainnya seperti UAV, radar, dan sistem komunikasi, termasuk kemampuan untuk dapat beroperasi secara otonom melalui penerapan teknologi kecerdasan buatan.

Bagian dari Kelemahan (*Weaknesses*) menjadi perhatian dalam menganalisa penelitian ini, diantaranya Keterbatasan Daya, *Payload* Terbatas, Kerentanan dan Keterbatasan Komunikasi. Nanosatelit memiliki kapasitas daya serta *payload* yang terbatas, sebagai akibat dari ukuran yang kecil. Selain itu, Nanosatelit rentan terhadap gangguan dari lingkungan ruang angkasa, seperti radiasi kosmik, tabrakan dengan debris antariksa, dan gangguan elektromagnetik yang memerlukan sebuah mekanisme perlindungan yang memadai. Pengaruh lain dari ukuran yang kecil juga akan membatasi kekuatan sinyal dan jangkauan komunikasi, sehingga dapat berakibat pada jarak komunikasi atau kecepatan data transfer.

Adapun Peluang (*Opportunities*) yang dapat dimanfaatkan saat akan membangun satuan ruang angkasa TNI AU melalui pengembangan teknologi satelit nano diantaranya adalah Kemajuan Teknologi AI, Peluang Kerjasama Internasional, kegiatan penelitian dan pengembangan (litbang) Teknologi Satelit, riset tentang teknologi panel surya, Peluang pemanfaatan untuk militer serta adanya perkembangan keamanan siber. Perkembangan AI memungkinkan nanosatelit dapat beroperasi secara otonom tanpa intervensi dari operator, serta mempercepat proses pengolahan data untuk pengambilan keputusan yang lebih cepat. Sementara itu, kesempatan untuk bekerja sama dengan negara-negara lain dalam program satelit bersama, berbagi teknologi, dan data intelijen semakin luas, bersamaan dengan mulai meningkatnya fokus penelitian pada inovasi teknologi nanosatelit dan panel surya sebagai penyedia daya bagi satelit nano saat beroperasi di orbit. Dengan kemampuan yang dimiliki oleh satelit nano dalam hal menjalankan misi yang lebih kompleks melalui sarana koordinasi yang lebih baik, membuka peluang bagi militer untuk lebih memanfaatkan penggunaan teknologi ini. Terlebih lagi, teknologi yang digunakan akan dibekali dengan sistem pengamanan data untuk dapat mengatasi kemungkinan adanya serangan siber.

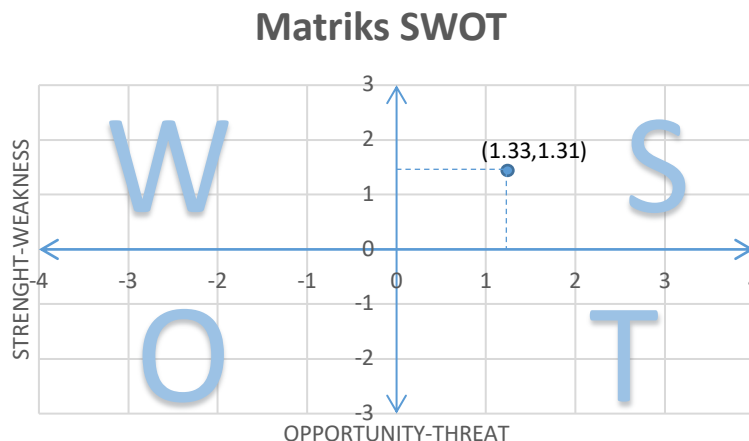
Elemen berikutnya adalah Ancaman (*Threats*) yang dapat diuraikan menjadi beberapa faktor, diantaranya adalah Peningkatan Debris Angkasa, Regulasi Internasional, Serangan Siber dan Perkembangan Teknologi Lawan. Peningkatan sampah-sampah luar angkasa (*space debris*) yang menjadi isu keamanan antariksa (*space security*) akibat banyaknya satelit yang dioperasikan, memungkinkan terjadinya benturan antara satelit atau dengan objek lain di ruang angkasa yang harus menjadi perhatian [17]. Kondisi ini mengakibatkan semakin ketatnya regulasi internasional dalam membatasi penggunaan satelit di ruang angkasa, terutama dalam konteks operasi militer. Kerentanan terhadap serangan siber juga menjadi potensi ancaman yang dapat menyebabkan gangguan komunikasi yang serius dan kerugian strategis. Faktor terakhir, adanya kemungkinan negara-negara lawan mengembangkan teknologi satelit nano yang canggih untuk tujuan ofensif yang menciptakan potensi perlombaan senjata ruang angkasa yang bisa merugikan.

Teknologi nanosatelit menawarkan banyak keuntungan potensial bagi TNI AU dalam meningkatkan kemampuan pengawasan, komunikasi, dan responsifitas dalam operasi militer. Namun, pemanfaatannya juga dihadapkan pada sejumlah tantangan dan ancaman, termasuk keterbatasan teknis, kerentanan terhadap ancaman luar, dan potensi persaingan dari negara lain. Dengan memahami kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman yang terkait dengan teknologi ini, TNI AU dapat lebih siap untuk mengembangkan strategi yang efektif dalam mengadopsi dan mengintegrasikan nanosatelit ke dalam sistem pertahanan udara dan ruang angkasa mereka. Berikut adalah tabel elemen SWOT apabila melaksanakan peramalan teknologi masa depan TNI Angkatan Udara yang digunakan untuk mengembangkan teknologi satelit nano di masa depan untuk jaringan komando kendali satuan ruang angkasa TNI AU.

TABEL I
TABEL ELEMEN SWOT

	STRENGTH	WEAKNESS
FAKTOR INTERNAL	- Efisiensi - Fleksibilitas - Adaptibilitas - Ukuran dan Volume - Integrasi Sistem - Kemandirian Operasional	- Keterbatasan Daya - Payload Terbatas - Kerentanan - Keterbatasan Komunikasi
	OPPORTUNITY	THREAT
FAKTOR EKSTERNAL	- Kemajuan Teknologi AI - Kerjasama Internasional - Litbang Teknologi Satelit - Riset Teknologi Panel Surya - Pemanfaatan Untuk Militer - Perkembangan Keamanan Siber	- Peningkatan Debris di Angkasa - Regulasi Internasional - Serangan Siber - Perkembangan Teknologi Lawan

Dari tabel di atas, diberikan penilaian mulai dari dampak sangat besar (nilai 5) sampai dengan sangat kecil (nilai 1), menentukan peringkat, serta bobot nilai dari faktor internal dan eksternal. Skor akhir yang diperoleh menunjukkan kecenderungan penggunaan strategi S-O (*Strength-Opportunity*), seperti diberikan pada tabel.



Gambar 4. Matriks SWOT

Dari hasil wawancara, telah dirumuskan strategi pengembangan satelit nano pada jaringan kodal satuan antariksa TNI Angkatan Udara. Rekomendasi strategis yang pertama merujuk pada hasil analisa SWOT adalah dengan meningkatkan kemandirian operasional dengan didukung Riset dan Pengembangan (79,2%). Melalui strategi ini, TNI AU dapat mengembangkan teknologi satelit nano yang lebih mandiri untuk mengurangi ketergantungan teknologi negara produsen, melalui upaya strategis dalam kegiatan penelitian dan pengembangan. Kedua, strategi meningkatkan adaptabilitas dan kemandirian operasional melalui litbang (62,5%). TNI AU perlu mendukung kegiatan litbang untuk merespons kebutuhan operasional yang berubah dengan cepat menuju ke arah mandiri tanpa bergantung pada teknologi asing. Ketiga, memanfaatkan kemampuan integrasi dengan mempertimbangkan efisiensi untuk digunakan dalam kepentingan militer (58,3%). Strategi ini dipilih untuk meningkatkan efektivitas operasional militer, seperti komunikasi yang handal, pengumpulan data intelijen yang akurat dan kemampuan fungsi navigasi yang presisi serta keamanan yang lebih canggih. Yang terakhir, adalah strategi memanfaatkan efisiensi biaya melalui kemajuan teknologi (54,2%). Penerapannya adalah dengan mengembangkan teknologi seperti kecerdasan buatan (AI) dan otomatisasi, sehingga kinerja operasional meningkat namun dengan tetap memperhatikan efisiensi biaya.

V. KESIMPULAN

Memahami dan menganalisis tren teknologi satelit nano yang diprediksi akan berperan dalam mendukung jaringan komando dan kendali satuan ruang angkasa TNI AU merupakan sebuah kerangka strategis dalam mengevaluasi kebutuhan operasional saat ini, serta mengadopsi dan mengembangkan teknologi satelit nano masa depan. Pendekatan peramalan teknologi dalam memproyeksikan perkembangan teknologi satelit, dapat diidentifikasi melalui miniaturisasi, efisiensi, kehandalan komunikasi dan kecanggihan sensor. Penggunaan teori sistem, teori komunikasi, peramalan teknologi dan analisis SWOT memberikan pandangan yang komprehensif terhadap potensi pengembangan satelit nano yang memiliki keunggulan utama berupa efisiensi, fleksibilitas, adaptabilitas, ukuran dan volume, integrasi sistem serta kemandirian operasional. Kondisi ini sangat diperlukan untuk mengembangkan teknologi masa depan satelit nano dalam jaringan kodal satuan ruang angkasa TNI AU, dengan meningkatkan kegiatan litbang, menyiapkan Sumber Daya Manusia, membangun infrastruktur, serta memastikan interoperabilitas teknologi satelit nano dengan sistem pertahanan udara yang ada.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dari beberapa pihak sehingga naskah penelitian ini dapat dibuat. Ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya juga disampaikan kepada para pejabat dan rekan kolega di Akademi Angkatan Udara yang bersedia meluangkan waktu dalam memberikan kontribusi data primer dan referensi sebagai literatur sehingga menghasilkan analisa dan saran rekomendasi strategis pada penelitian ini. Ucapan terima kasih dan apresiasi juga diberikan atas terselenggaranya *call for paper* pada Seminar Nasional Sains Teknologi dan Inovasi Indonesia 2024, sehingga memberikan kesempatan untuk menuangkan ide dan gagasan akademis demi kemajuan TNI Angkatan Udara, bangsa dan negara.

REFERENSI

- [1] T. R. J. B. Victor Gardner, *An Appliance Based Approach to Small Satellite Command and Control*, California, USA: Kratos Defense & Security Solution, 2014.
- [2] V. P. Trong, et al, "Design and manufacture of a nanosatellite for space technology education and potential application," in *60th International Astronautical Congress (IAC)*, Daejeon, South Korea, 2009.
- [3] F. İNCE, "Nano and Micro Satellites as the Pillar of the "New Space" Paradigm," *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, vol. 23, no. 2, 2020.
- [4] L. v. Bertalanffy, *General System Theory: Foundations, Development, Applications*, New York, USA: Braziller, 1968.
- [5] S. Surahman, *Modul Perkuliahan Teori Sistem*, Surakarta: Fakultas Syariaah, 2021.
- [6] G. B. Davis, *Kerangka Dasar Sistem Informasi Manajemen*, Jakarta: Pustaka Binaman Pressindo, 1999.
- [7] G. Douhet, *The Command of The Air*, Paris, France: AF History and Program, 1998.
- [8] A. Foyer, *Introduction to Scenarios and Technology Forecasting*, Sweden: Swedish Defence University, 2017.
- [9] J. Nettlefold, *Satellite Command and Control Systems Market and Technology Forecast to 2032*, Amsterdam: Market Forecast, 2024.
- [10] J. W. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches* (4th ed.), Thousand Oaks, California: Sage, 2014.
- [11] R. G. Dyson, "Strategy, performance and operational research," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 51, no. 1, pp. 5-11, 2002.
- [12] P. J. Schoemaker, "Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking," *Management Review*, vol. 36, pp. 25-40, 1995.
- [13] S. Silfverskiöld, *Military Utility, Technology Forecast and Disruptive Technologies Assesment Games (DTAG)*, Sweden: Swedish Defence University, 2017.
- [14] P. T. & G. A. Gouw, "Future trends in military satellite communications," *Military Technology Journal*, vol. 38, no. 3, pp. 15-28, 2020.
- [15] K. M. Sayler, "Future Military Technologies: Background and Issues for Congress version 13," Congressional Research Service, Washington DC, 2024.
- [16] Dispenau, "tni-au.mil.id," Dispenau, 03 Juni 2024. [Online]. Available: <https://tni-au.mil.id/berita/detail/kasau-tandatangan-nota-kesepahaman-antara-tni-au-dengan-pt-psn>. [Accessed 17 September 2024].
- [17] Mabasau, "tni-au.mil.id," Dispenau, 26 April 2024. [Online]. Available: <https://tni-au.mil.id/berita/detail/bahas-peran-penting-satelit-dan-antarksa-naspci-saiac-dan-brin-gelar-diplomacy-workshop>. [Accessed 15 September 2024].