

PENGEMBANGAN SATELIT A₃ UNTUK Mendukung SISTEM PERTAHANAN NEGARA

A₃ SATELLITE DEVELOPMENT TO SUPPORT STATE MILITARY DEFENSE

Bayu Prasetiawan Wibowo¹, Dadang Gunawan², Timbul Siahaan³

UNIVERSITAS PERTAHANAN
(bayupmail@gmail.com)

Abstrak – Luas negara yang besar mempunyai perbatasan yang besar, tindak kriminal diperbatasan yang besar dapat mengganggu pertahanan nasional. Fungsi C4ISR bidang pertahanan nasional yang selama ini berjalan sangat bergantung kepada satelit asing serta memiliki banyak keterbatasan. Dengan bertambahnya waktu, perkembangan teknologi akan semakin cepat berkembang, sedang ketersediaan pemenuhan performa teknologinya seringkali menurun. Sehingga diperlukan analisis konsep desain pengembangan satelit pertahanan di orbit rendah (Low Earth Orbit) serta analisis konsep perencanaan dan penganggaran satelit untuk menambah wawasan teknologi dalam bidang ilmu industri pertahanan negara. Desain satelit ini menggunakan pendekatan metode pengembangan desain dari 2 buah satelit LEO, yakni satelit LAPAN dan satelit komunikasi LEO yang sudah komersial. Terinspirasi dari 2 satelit ini peneliti menggabungkan kedua spesifikasi payload dan struktur bus nya kemudian mewujudkannya kedalam bentuk spesifikasi satelit pertahanan yang memiliki massa dan sumber daya energi tertentu. Adapun kedua misi satelit ini digabung kedalam satu bentuk satelit pertahanan yang didesain oleh peneliti melalui desain secara konseptual. Satelit pertahanan yang peneliti hasilkan mempunyai kemiripan desain dari satelit komunikasi orbit LEO yang sudah komersial. Massa total satelit adalah 913,5 kilogram dengan daya 2230 watt. Dengan segala keterbatasan yang dimiliki LAPAN, melalui penelitian ini pengembangan satelit pertahanan secara mandiri dapat dirumuskan melalui konsep yang lebih terarah. Satelit ini memiliki misi komunikasi terenkripsi, penginderaan, dan ADSB. Peluncuran satelit dapat dilakukan melalui roket yang berkemampuan mengangkut beban ke orbit LEO seberat 9130,5 kilogram.

Kata Kunci: misi, spesifikasi, satelit, penginderaan, komunikasi.

Abstract – Large countries have large borders, large border crimes can disrupt national defense. The C4ISR function of the national defense sector, which has been running so far, is highly dependent on foreign satellites and has many limitations. With increasing time, the development of technology will grow faster, while the availability of technology fulfillment often decreases. Then necessary analyses design concept of military satellite at low orbit (LEO) is a mandatory besides planning and budgeting satellite concept analyses in purposes increase perception of state military industry sciences. This satellite design uses a development method approach from 2 LEO satellites, namely LAPAN satellite and LEO communication satellite which are already commercial. Through these 2 satellites, researchers combine the two specifications and realize them into a form of defense satellite specifications that have a certain mass and energy power. The two satellite missions are merged into one form of defense satellite designed by researchers through conceptual design. The defense satellites that the researchers produced are similar in design to commercial LEO orbit communication satellites. The total mass of the satellite is 913.5 kilograms with 2230 watts of power. With all the limitations possessed by

¹ Program Studi Industri Pertahanan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

² Program Studi Industri Pertahanan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

³ Program Studi Teknologi Penginderaan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

LAPAN, through this research the development of defense satellites can be formulated independently through a more directed concept. This satellite has a mission of encrypted communication, sensing, and ADSB. Satellite launches can be carried out through rockets capable of carrying loads into the LEO orbit weighing 9130.5 kilograms.

Keywords: mission, specification, satellite, sensing, communication.

Pendahuluan

Luasnya wilayah kedaulatan NKRI serta kandungan kekayaan alam yang melimpah merupakan daya tarik sendiri bagi bangsa lain untuk selalu menguji sistem pertahanan kita. Hal ini selalu menjadi alasan negara lain untuk melintas ataupun melanggar wilayah kita untuk sekedar mencari informasi maupun mencari kekayaan alam melebihi batas wilayah kita karena tidak adanya batas wilayah yang jelas di daerah perbatasan. Jika kejadian seperti ini dilakukan pembiaran terus menerus bisa menjadi ancaman bagi kita, yang dapat berakibat pencaplokan wilayah kedaulatan NKRI. Hal ini menjadi sebuah tantangan bagi kita maupun kekuatan Tentara Nasional Indonesia untuk mempertahankan kedaulatan NKRI⁴.

Menjadi kewajiban setiap warga negara untuk mewujudkan visi misi pembangunan yang dijalankan oleh pemerintahan NKRI dengan memperkuat pertahanan negara. Banyak aspek

pertahanan yang diperlukan dalam mewujudkan pemerataan pembangunan NKRI secara merata mengingat begitu luasnya wilayah darat kedaulatan NKRI beserta wilayah lautnya. Panjang garis pantai / keliling negara kesatuan Republik Indonesia adalah sekitar 108.000 kilometer, dengan luas keseluruhan adalah 8,3 juta kilometer persegi yang didalamnya terdapat 17.504 pulau. Memiliki panjang garis pantai 2 kali keliling bumi yang diawasi dengan kemampuan yang serba terbatas saat ini, menjadi tantangan kita untuk menggunakan potensi yang ada demi menjaga keutuhan NKRI dari sumber daya alam dan energi yang ada. Dalam menangani pengamanan kelautan, tidak menjamin solusi pembuatan kapal laut bisa menjadi solusi ancaman-ancaman dilaut, tapi dapat berakibat pada ancaman terjadinya penggunaan sumber energi berlebih/bertambah karena beban penggunaan bahan bakar fosil/non fosil untuk penggerak kapal laut tersebut. Hal

⁴ Bhatnagar BBC, T. (2016). Mengapa Indonesia menambah kekuatan militer di Natuna. BBC News Indonesia
Pengembangan Satelit A3 Untuk Mendukung Sistem Pertahanan Negara | **Bayu Prasetiawan Wibowo, Dadang Gunawan, Timbul Siahaan** | 201

tersebut dapat menjadi sumber masalah baru dalam penyelesaian masalah energi di NKRI.

Banyak kendala dalam mempertahankan kedaulatan NKRI diperbatasan. Keterbatasan infrastruktur menjadi hambatan dalam pertahanan diperbatasan. Ketika ditemukan solusi masalah perbatasan tersebut, pun tidak serta merta menyelesaikan sumber permasalahan di daerah perbatasan tersebut⁵. Seperti penyeragaman tindak kejahatan internasional diperbatasan yang memerlukan koordinasi dengan petugas dilapangan akan terlaksana dengan lancar jika didukung oleh komunikasi yang memadai.

Semakin besar sebuah sumber daya alam memiliki dua dampak yang bisa dilihat seperti dua sisi mata uang koin⁶. Disatu sisi bernilai positif dengan ketersediaan sumber daya yang sangat besar berupa luas wilayah yang terletak di wilayah strategis dan sumber daya manusia yang luar biasa banyak. Disisi lain dapat bernilai negatif yang dapat menjadi ancaman NKRI jika pengelolaannya tidak tepat dan benar. Potensi besar kita dapat dengan mudah berubah menjadi sebuah

ancaman jika tidak dikelola secara baik. Terutama bagi petugas pertahanan Negara Kesatuan Republik Indonesia yang sedang bertugas diperbatasan maupun dalam kondisi perang.

Dengan meningkatnya fasilitas transportasi penghubung antar pulau tentu meningkat juga ancaman-ancaman yang dihadapi NKRI kedepan terutama di area perbatasan. Ancaman ini perlu dihadapi dengan teknologi terkini untuk mengefektifkan penggunaan anggaran oleh pemerintah. Sebab hal yang saat ini terjadi meningkatnya ancaman dari dalam negeri berupa illegal fishing, aksi organisasi non state actor, pembajakan, kapal ikan, kejahatan perbatasan, perlu disikapi dengan pertimbangan pemanfaatan teknologi satelit terkini. Jika hal ini berlangsung terus menerus, dikawatirkan bukan solusi yang ditemukan, namun sumber permasalahan yang semakin kompleks dan terus merugikan bangsa. Selain itu dengan penguasaan teknologi tersebut dapat memberikan efek menakutkan bagi musuh untuk selanjutnya dapat tetap fokus kepada pokok permasalahan yang dihadapi bangsa ini.

⁵ William. (2019). Membenahi Kedaulatan Melalui Perbatasan. Retrieved from Kompasiana, diakses July 2019.

⁶ Karnavian, T. (2017). Punya Sumber Daya Alam dan Manusia Melimpah, Indonesia Berpotensi Jadi Negara Superpower. (J. Dedy Afrianto, Interviewer), okezone.com

Teknologi saat ini menjadi *deterent* bagi persaingan kekuatan negara berkembang maupun negara maju. *Whoever rule the space, rule the world*, anggapan ini sangat disadari oleh negara maju, sehingga mereka berlomba-lomba menguasai antariksa⁷. Negara India dan Korea Selatan merupakan negara yang sudah memulai membangun kemandirian teknologi satelit. Menjadikan bangsa kita tidak dipandang sebelah mata dan dimanfaatkan sebagai negara ketiga dalam berbagai permasalahan konflik antar negara didunia. Berdasarkan buku putih tahun 2015, perkembangan pertahanan bisa diukur dari ancaman yang muncul dalam lingkungan strategis.

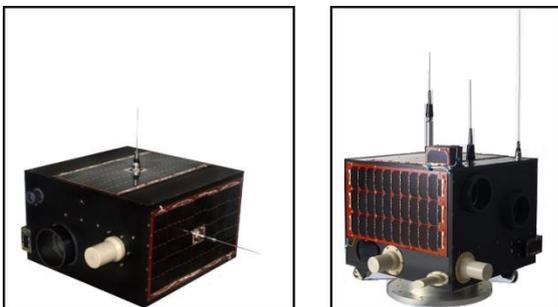
Tingkat kerjasama yang diperlukan saat ini adalah saling menguntungkan, dari sumber daya alam maupun sumber daya manusia bangsa ini tidak kalah dibanding dengan sumber daya bangsa lain. Memang kendala kita adalah kepulauan yang terpisah dengan lautan luas, namun hal tersebut masih dalam proses pembangunan menuju merubah kendala tersebut menjadi nilai tambah dalam menghadapi tantangan dari negara lain. Teknologi kemandirian satelit untuk

pertahanan dapat menjadi trigger bagi pengembangan teknologi di matra lain selain matra luar angkasa. Hal ini bisa diterapkan mengingat matra luar angkasa, sebagai ketahanan produk manusia dapat diuji kehandalan sistem dan keefisienan produk tersebut bekerja.

Berikut perkembangan satelit Korea Selatan. Satelit militer telah lama menjadi elemen sentral dalam rencana pertahanan Seoul dan ditampilkan dalam tujuh bagian buku putih pertahanan terbaru dari Kementerian Pertahanan Nasional Korea Selatan, yang diterbitkan pada Mei 2017. Kementerian Pertahanan Nasional mengakui satelit diperlukan untuk: deteksi dini provokasi Korea Utara; kesadaran medan perang; sistem intelijen komando dan kontrol; pengayaan pelatihan misi tempur; dan sebagai komponen penting dalam sistem serangan Preemptive Kill Chain Kementerian Pertahanan Nasional, yang dirancang untuk meluncurkan serangan dengan segera setelah mendeteksi dugaan akan adanya pengintaian satelit oleh Pyongyang.

⁷ Siahaan, T. (2015). *Kajian Satelit Pertahanan Negara*. Jakarta: Kementerian Pertahanan Republik Indonesia.

Pada awal peluncuran satelit LAPAN, A1 (Gambar 1) berfungsi sebagai pengamatan secara langsung terhadap beberapa kejadian kebakaran hutan, tanah longsor, kecelakaan kapal maupun pesawat, maupun gunung meletus. Namun kini A1 lebih berfungsi sebagai aset pengujian kesehatan satelit, sebab satelit sudah berumur lama. Sedangkan fungsi pemantauan secara langsung kini diambil alih oleh satelit LAPAN-A2 dan LAPAN-A3. Sehingga satelit A3 sebatas fungsi pengamatan lahan dan laut, belum mendukung fungsi komunikasi satelit untuk pertahanan wilayah yang sangat luas seperti Indonesia.



Gambar 1 Satelit LAPAN A1 dan LAPAN A2
Sumber :Pusat Teknologi Satelit LAPAN, 2019

Penggunaan satelit yang tidak sesuai spesifikasi dapat merugikan, seperti yang terjadi ketika pemerintah bekerja sama dengan *Avanti Communication Group* (Nov. 2016 s.d Nov. 2017), operator satelit *Artemis* diorbit 123° BT. Fungsi layanan satelite *artemis* berhenti karena satelit tidak sesuai dengan spesifikasi kebutuhan

nasional saat itu serta usia pemakaian satelit sudah memasuki periode pemakaian maksimal yakni 16 tahun. Untuk itu perlu memahami kondisi kebutuhan satelit wilayah NKRI agar penggunaan satelit berguna secara optimal. Pada Nopember 2017 satelit *artemis* di-grounded, hal ini berpotensi membahayakan NKRI.

Melalui solusi pengaturan orbit di 123° BT bukan berarti menyelesaikan sumber permasalahan, hal ini karena orbit tersebut merupakan wilayah yang sangat luas sekali, otomatis pengawasan wilayah tersebut bukan hal yang mudah dan murah. Dalam rentang orbit 95° BT s.d 141° BT ada jarak 35214 km yang setiap orbit nya berjarak kurang lebih 765 km. Yang berarti dalam jarak setiap 765 km harus diawasi oleh NKRI agar bersih dari satelit geostasioner negara lain, tentu ini menjadi masalah baru bagi kita. Dengan konsep *first com first served* berakibat pada pemakai orbit tersebut adalah negara yang berteknologi satelit maju. Tujuannya untuk mencapai keekonomian, keefisienan, dan kerasionalan menggunakan frekuensi radio yang merupakan sumber daya alam mereka yang terbatas.

Kepala Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional Prof Thomas

Djamaluddin mengatakan Indonesia membutuhkan kemandirian dalam kepemilikan satelit guna kepentingan pertahanan dan keamanan. "Tentu, dengan memiliki kemandirian, keamanan data-data akan lebih terjamin ketimbang hanya sebagai negara pemakai teknologi satelit negara lain⁸" katanya di Bogor, Jawa Barat, Senin 21 April 2014. Pembangunan kekuatan pertahanan tidak ditujukan sebagai bentuk perlombaan senjata, melainkan upaya pencapaian standar profesionalisme angkatan bersenjata, dengan mendasarkan pada visi, misi, nawacita, dan kebijakan Poros Maritim Dunia (PMD). Dalam hal mewujudkan kebijakan PMD, pemerintah perlu membangun kekuatan pertahanan maritim yang didukung teknologi satelit dan sistem drone. Sesuai dengan Undang Undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2013 Tentang Keantariksaan Pasal 2.

Satelit sangat berguna untuk mendukung kedaulatan NKRI. Cakupan yang besar mempermudah terhubungannya sistem komunikasi disetiap jengkal negeri ini. Penggunaan satelit untuk pertahanan

menjadi hal yang pokok diperlukan untuk memberikan ancaman bagi pelanggar dan pengganggu perbatasan NKRI. Hal ini sebagai usaha mewujudkan sistem pertahanan C4ISR dalam mengintegrasikan teknologi informasi dan peralatan penginderaan yang meliputi radar, satelit untuk memonitor kawasan darat, laut, dan udara Indonesia. Dengan prinsip memperoleh informasi yang benar hanya untuk orang-orang yang benar, pada sasaran dan waktu yang tepat, dalam suatu format yang dapat digunakan secara jelas dengan arti yang tidak meragukan, dalam satuan gabungan dan kekuatan koalisi⁹. Hal ini dikarenakan kondisi lahan pertempuran tidak bisa diprediksi bermacam hambatan dan jebakan yang telah disiapkan oleh pihak musuh. Selain itu harga keselamatan petugas lebih diutamakan.

Perkembangan industri pertahanan untuk mendukung tujuan nasional dan kepentingan nasional akan semakin kuat dan lengkap dengan didukung teknologi satelit demi menjaga kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia dari berbagai ancaman baik darat, laut, dan

⁸ Jauhari, A. (2014). Lapan: Indonesia Butuhkan Kemandirian Satelit untuk Pertahanan, LAPAN.

⁹ Putra, I. N. (2016). Penerapan Prinsip Cobit Pada Pengembangan Sistem Informasi

Operasi TNI AL Guna Mendukung Penyelenggaraan Tugas Pokok TNI AL. Surabaya: CV. Bintang (Penerbit Bintang Surabaya).

udara. Dengan berbagai keterbatasan sumber daya pengembangan satelit serta ancaman yang akan dihadapi kedepan, merupakan kebutuhan yang penting bagi kita memahami dan mempunyai konsep satelit pertahanan yang mandiri demi terwujudnya keamanan di udara.

Dalam penelitian ini, identifikasi masalah penelitian sebagai berikut. Pertama, pertahanan udara adalah hal yang utama dalam menjaga keutuhan NKRI yang sangat luas dengan perbatasan laut, hal ini dimulai dengan penguasaan infrastruktur sistem pertahanan udara salah satunya adalah teknologi satelit pertahanan. Kedua, penggunaan satelit komunikasi asing kurang memberikan keamanan, sehingga perlunya satelit pertahanan mandiri yang mendukung integrasi sistem C4ISR agar keamanan data komunikasi dapat terjaga.

Penelitian ini terbatas oleh waktu, sehingga penulis melakukan batasan masalah konsep desain satelit pertahanan yang mendukung fungsi C4ISR untuk pertahanan Negara melalui perencanaan pertahanan Negara dalam mengorbitkan satelit di Low Earth Orbit (LEO).

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan sebelumnya, dapat diperoleh rumusan masalah yakni,

bagaimana konsep pengembangan kemampuan satelit di orbit rendah (Low Earth Orbit), dan bagaimana pengembangan satelit A3 untuk pengamanan laut.

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka didapatkan tujuan dari penelitian adalah analisis konsep pengembangan kemampuan satelit di orbit rendah dan Analisis pengembangan satelit A3 untuk pengamanan laut.

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh antara lain :

1. Memberikan wawasan tentang teknologi satelit guna mempersiapkan strategi pertahanan udara NKRI yang lebih efektif dan efisien dalam mengembangkan industri pertahanan nasional.
2. Pada akhirnya penelitian ini bertujuan meningkatkan kemampuan satelit secara optimal tanpa menghilangkan ke aslian produsen pembuatnya, sehingga produk yang dihasilkan lebih tepat guna bagi sistem pertahanan negara.
3. Pemanfaatan satelit orbit LEO dapat berfungsi sebagai pendukung C4ISR dalam interoperabilitas sistem pertahanan negara.

4. Memperkuat pertahanan Negara sesuai dengan koridor Undang-Undang ITU¹⁰.

Meningkatkan kewaspadaan dan pengetahuan kita tentang ancaman pertahanan Negara khususnya dimatra udara.

Metode Penelitian

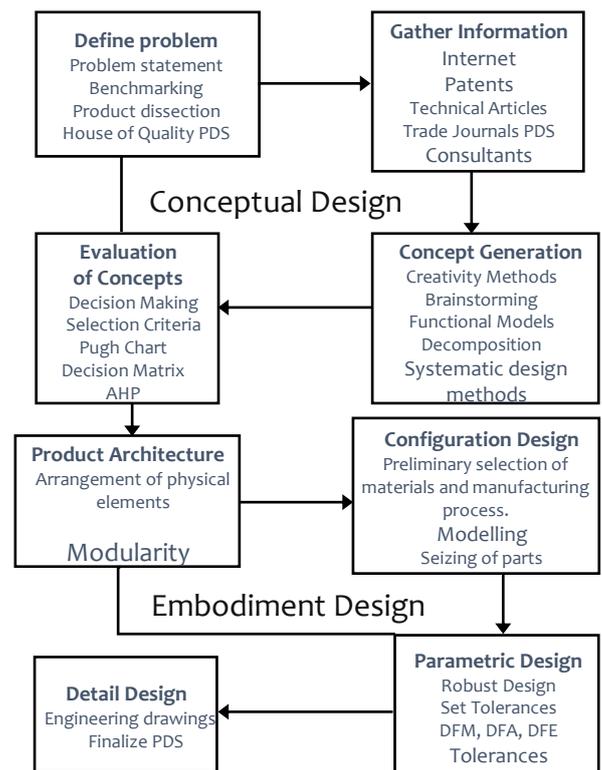
Penulis melakukan penelitian dengan metode kuantitatif yang di selaraskan dengan metode kualitatif. sehingga data teoritis dipakai sebagai pertimbangan dalam konsep desain pengembangan satelit A3. Teori pengembangan konsep desan ini mengikuti bagan pengembangan berikut ini.

Metode penelitian yang digunakan disampaikan secara mendetail untuk memungkinkan pembaca mengevaluasi metode, reliabilitas, dan validitas dari temuan penelitian.

Berikut penjelasan dari Gambar 2 :

1. *Penentuan masalah* dilanjutkan dengan melakukan perbandingan dan pembedahan sebuah kualitas dan spesifikasi desain produk yang diharapkan.

2. *Mengumpulkan informasi* dapat dilakukan melalui internet, ambil data dari *patent*, artikel teknis, jurnal perdagangan, dan konsultan.
3. *Menciptakan desain* dapat dilakukan dengan metode yang kreatif, *brainstorming*, pemodelan fungsi, penguraian, dan metode desain yang sistematis.
4. Kemudian dilanjutkan dengan *evaluasi konsep* dilakukan dengan pembuat keputusan, pemilihan kriteria, *Pugh*



Gambar 2 Proses Desain Produk
Sumber : George Dieter, Linda Schmidt,
Engineering Design. (2009)

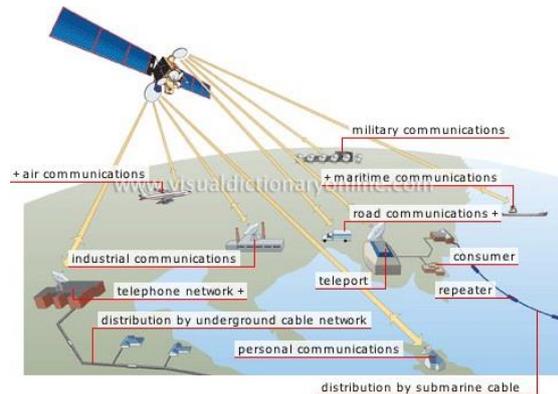
¹⁰ ITU, I. T. (2019). Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio dan Orbit satelit Geostasioner dan satelit lainnya. Switzerland, Geneva

Desain Penelitian

1. Penelitian ini merupakan pengembangan misi satelit A3 agar sesuai dengan kriteria ancaman nasional yang muncul. Sehingga pembuatan solusi tulisan ini dibuat berdasarkan misi satelit yang akan diemban oleh A3. Sehingga teori pengembangan yang digunakan adalah teori desain orbit, teori link budget, dan teori remote sensing kamera penginderaan.

2. Misi utama satelit penginderaan yang dilengkapi sistem komunikasi dan radar pesawat terbang. Satelit pertahanan dapat bekerja menghubungkan stasiun bumi kecil yang dapat dipasang di perbatasan, seperti Gambar 3. Sistem terdiri dari satu stasiun bumi besar sebagai pusat kendali (Hub Station). Pusat ini dikelilingi stasiun bumi kecil (Remote Station) yang berada di tempat-tempat yang diperlukan.

Perancangan sistem satelit komunikasi sangat membantu konektivitas wilayah NKRI karena cakupannya luas. Sebuah satelit dapat dianggap sebagai repeater raksasa di angkasa yang dapat menjangkau daerah-daerah terpencil Indonesia.

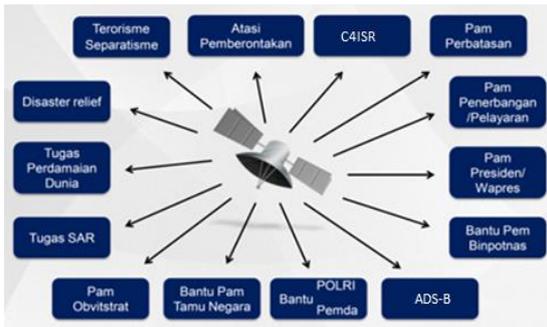


Gambar 3 Konsep Satelit Pertahanan
Sumber : *Telecommunications by Satellite*,
visual dictionary online. (2019)

Penentuan System Requirement

Spesifikasi Satelit Pertahanan:

1. Kebutuhan Satelit misi Pengintaian / Penginderaan: Untuk mengatasi Separatisme contoh aksi dengan penginderaan adalah Pemberontakan, Pam Perbatasan, Pam Penerbangan / Pelayaran, terorisme, Bantu Pemda, SAR, Pengamanan Orbitstrat, Disaster Relief dan Bantu Pem Binpotnas (Bina Potensi Nasional Kekuatan Maritim).
2. Kebutuhan Satelit Komunikasi Pertahanan: Satelit komunikasi pertahanan digunakan untuk komunikasi antara komando utama dengan pasukan yang ada di medan perang pertempuran, pesawat terbang, kapal perang, kendaraan tempur, *manpack, handheld, portable*. Fungsi penyadapan komunikasi dalam mengatasi terorisme, bantu POLRI,



Gambar 4 Fungsi Satelit Pertahanan Masa Damai

Sumber : Handrini Ardiyanti, Cyber-Security dan Tantangan Pengembangannya. (2014)

Pam Presiden/Wapres, bantu pengamanan tamu Negara. Untuk tugas perdamaian komunikasi satelit sangat diperlukan, seperti Gambar 3 yang mencakup pengamanan PPKT dan PPWP. Low Earth Orbit satelit pada ketinggian 100 s.d 1000 km, satelit selalu bergerak. Dibutuhkan banyak satelit untuk menghasilkan konektivitas semua wilayah NKRI.

Pemilihan service yang digunakan adalah FSS (*fixed satellite services*), BSS (*broadcasting satellite services*), MSS (*mobile satellite services*), dengan pita frekuensi L, C, Ku – band yang dilengkapi enkripsi anti *jamming*.

Umur satelit dapat mencapai 15 tahun. Pita frekuensi ini mudah terjangkau sehingga mendukung fungsi pertahanan. Pemilihan pita frekuensi gelombang radio pada Tabel 1. Spesifikasi pemilihan pita

frekuensi ini mempertimbangkan daya penerima.

Tabel 1 Pita Frekuensi Gelombang Radio

BAND	DOWNLINK (Ghz)	UPLINK (Ghz)
L	1.749– 1.874	1.875 – 1.999
C	7.855 – 7.927	7928 – 7.999
Ku (Europe)	FSS: 10.700 - 11.700 DBS: 11.700 - 12.500 Telecom: 12.500 - 12.750	FSS & Telecom: 14.000 - 14.800 DBS: 17.300 - 18.100

DBS = Direct Broadcast Satellite (Consumer direct-to-home Satellite TV)
FSS = Fixed Satellite Service (Geostationary Comms Satellites for TV/Radio stations and networks); (Hz = Hertz, Mhz = Megahertz, Gh z= Gigahertz)

Sumber : InetDaemon, visual dictionary online. (2018)

3. Kebutuhan Satelit Navigasi : Sistem informasi dan pengolahan data pertahanan negara berbasis pertahanan siber dengan memanfaatkan teknologi satelit untuk mendukung kegiatan pengumpulan, pengolahan, penyimpanan dan penyajian data serta informasi yang tepat, cepat, akurat, dan aman serta kebutuhan interoperabilitas antar Angkatan dalam sistem komando dan pengendalian¹¹. Fungsi ADSB (*automatic dependent surveillance broadcast*) sebagai sumber informasi aktivitas di udara. Satelit bersifat *passive* (menerima informasi

¹¹ Moranville, C. M. (1993). *Satellite Communication Industry*. Washington DC:

National Defense University, Fort McNair Washington DC.

keberadaan objek) yang kemudian informasi tersebut dibagikan kepada stasiun ADS-B atau berfungsi sebagai radar udara (ADSB Technology).

Sebuah satelit dikategorikan atas ketinggian orbitnya, meski begitu sebuah satelit bisa mengorbit dengan ketinggian berapapun. Pada umumnya satelit besar terletak pada orbit geostasioner, sedangkan yang ringan umumnya berada di orbit rendah dengan kapasitas yang sepadan. Satelit dikategorikan menjadi 3:

- a. Orbit Stasioner : Satelit bergerak dari timur ke barat mengikuti rotasi bumi dengan ketinggian tertentu. Ketinggian orbit dikategorikan dalam 3 yaitu, orbit bumi rendah (rentang ketinggian 300 s.d 1500 km), orbit bumi menengah (ketinggian 1500 s.d 36000 km), dan orbit bumi tinggi (ketinggian diatas 36000km).
- b. Orbit Eliptical : Satelit orbit eliptikal mengorbit dengan bentuk orbit elips terhadap bumi. Bentuk orbit elips menghasilkan jarak yang tidak sama (sinkron) pada setiap posisi dengan permukaan bumi. Posisi terjauh dari permukaan bumi dinamakan dengan posisi apogee, posisi terdekat dengan

permukaan bumi disebut dengan posisi perigee.

Secara umum prinsip struktur satelit memiliki dua bagian utama, yaitu bagian bus atau platform dan bagian payload. Fungsi bus adalah sebagai perangkat yang memungkinkan satelit berada di orbit yang diinginkan dan dikontrol dari bumi. Bagian ini adalah ADCS, propulsi, EPS, CT&R, CD&H, dan Thermal. Fungsi payload adalah menjalankan pekerjaan-pekerjaan yang diinginkan oleh (misi) pengguna satelit¹².

Hasil dan Pembahasan Data Penelitian

Berikut detail spesifikasi satelit A3 yang dibuat oleh LAPAN:

Tabel 2 Spesifikasi Satelit A3

No.	Parameter	Keterangan
1	Dimensi dan operasional	- 50 cm x 57.4 cm x 42.4 cm - 677 x 574 x 960 mm (termasuk antenna) - Orbit : 98 inklinasi (polar) - Ketinggian : 505 km
2	Massa	~ 115 kg
3	Sub sistem elektrik	- 5 GaAs solar arrays @ 46.5 cm x 26.2 cm, 30 sell tersusun secara seri; - maximal daya 37 watt (BOL) - 3 paket baterai Li-ion, @paket berisi 4 sel, tegangan nominal 15 V, kapasitas 6.1 Ah.

¹² Wijanarko, D. I. (2016). *Satelit Untuk Anak Bangsa*. Bandung: Remaja Rosdakarya

4	pengatur data internal satelit	<ul style="list-style-type: none"> - OBC merupakan sebuah prosesor RISC 32 bit dengan internal memory 128/256 MB, external static RAM 1 MB, dan external flash memory 1 MB. - Memori data internal onboard, solid state memory 4 GB RAM dan 16 GB flash memory dengan format CCSDS.
5	Komunikasi	<ul style="list-style-type: none"> - Frekuensi Ultra tinggi (UHF) untuk 2 TTC, 1200 bps, FFSK
6	Sub sistem kendali dan penentuan sikap satelit di angkasa (ADCS)	<ul style="list-style-type: none"> - 3 roda atau fiber optik laser gyro konfigurasi orthogonal - 2 Sensor bintang (1 CCD and 1 CMOS) - 3 buah gulungan/koil magnetic - 6 Solar sel single untuk sensor matahari - 3-sumbu axis magnetometer - Roda reaksi dan gyro 4 buah - Sensor horizon 2 buah. - Sensor pitch 1 buah
7	Komunikasi Radio Frekuensi	<ul style="list-style-type: none"> - 2 UHF TT&Cs, frekuensi = 437.425 MHz, modulasi = FFSK, 3.5 W RF daya output - X-band, frekuensi = 8200 MHz, data rate = 105 Mbit/s, 6 Watt max RF Daya Output. - S-band, frekuensi = 2220 MHz, 3.5 W RF daya output maksimal - Modem berkecepatan tinggi (High Data Rate Modem) untuk simulasi percobaan

Sumber: Pusat Teknologi Satelit, Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional. (2019)

Spesifikasi tersebut menunjukkan bahwa satelit A3 berjenis micro satelit di orbit LEO, *Low Earth Orbit*



Gambar 5 Satsiun Kontrol Satelit LAPAN, 2019

Satelit Iridium

Satelit komersial ini beroperasi sejak lama, lebih dari 10 tahun yang lalu. Sehingga memiliki pengguna global, terutama dalam bidang komunikasi dan radar. Berikut spesifikasi parameter satelit Iridium:

Tabel 3 Spesifikasi sistem konstelasi Iridium

Konstelasi Iridium	66 satelit beroperasi dalam 6 bidang orbitnya, atau setiap bidang orbit terdiri dari 11 satelit	
tinggi orbit	Polar/Kutub dengan ketinggian 780 km, inklinasi 86.4°	
Periode	101 menit per orbit	
Periode peluncuran	2015 –2017	
Durasi misi	15 tahun depan (atau sampai 2030)	
Mitigasi Resiko	6 in-orbit spares + 6 hanger spares	
Hosted Payload (tipe)		

Misi	<ul style="list-style-type: none"> - GPSRO (GPS Radio Occultation) untuk mengukur kelembaban atmosfer, temperatur dan data cuaca di angkasa. - Altimeters untuk memantau ketinggian permukaan laut, gelombang dan Es kutub. - Broadband Radiometers untuk mengukur budget/kondisi radiasi bumi. - Multispectral Imagers untuk pencitraan warna laut dan daratan. - Area misi yang potensial lainnya termasuk sensor vektor pergerakan awan, pendeteksi kebakaran hutan, dan observasi angin kutub.
Spesifikasi Hosted Payload	
Batas berat <i>single payload</i>	50 kg
Ukuran <i>Payload</i>	40 cm x 70 cm x 30 cm
Daya <i>Payload</i>	50 W rata-rata (200 Watt ketika puncak); Contoh: 50 W x 100 min = 5000 W min, or 200 W x 25 min = 5000 W min
pengiriman data <i>Payload</i>	Pada 90% orbit yang diinginkan rata-rata 100 kbit/s, dan sisanya diluar orbit (10%) maksimal 1 Mbit/s.
Pusat Gravitasi	Pusat Gravitasi <i>hosted payload</i> harus termasuk kedalam volume yang sudah ditentukan

Sumber : Iridium engineering statement. (2013)

Tabel 4 Spesifikasi satelit Iridium

Massa peluncuran satelit & kapasitas daya	~860 kg, 2 kW
---	---------------

Ukuran satelit (fase peluncuran)	3.1 m x 2.4 m x 1.5 m
Ukuran satelit fase operasional di orbit	Panjang keseluruhan 9.4 m (termasuk bentang solar panel)
Umur Misi Satelit	Secara desain untuk 10 tahun dan umur hidup misi 15 tahun
Spacecraft stabilization	kontrol sikap satelit dengan mode 2-sumbu. Total 248 AA-STR sensor bintang yang disediakan oleh Selex Galileo untuk konstelasi satelit komunikasi Iridium sebanyak 66 satellites.
Komunikasi RF L-band Ka-band TT&C	<p>Regenerative processing <i>payload</i> with OBP (On-Board Processor)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Single 48-beam transmit/receive phased array antenna - Arsitektur TDD (Time-Division Duplex) - Dua link <i>feeder gateway</i> teresterial 20/30 GHz - Empat buah crosslink 23 GHz untuk relay komunikasi antar satelit Iridium (dengan dua pengendali, arsitektur TDD dan dua antena permanen) - Antena omni berkapasitas link 20/30 GHz
Tinggi orbit	Ketinggian 780 km

Sumber : Iridium engineering statement. (2013)

Spesifikasi *Link Budget* antara Stasiun Bumi dengan Satelit Iridium:

Tabel 5 Spesifikasi Link Budget Satelit – Stasiun Bumi Iridium

Uplink		Downlink	
EIRP (dBW)	-4.2	EIRP (dBW)	27.7
Gain Satelit (dB)	24	Gain GS (dB)	1
Path Loss (dB)	160	Path Loss (dB)	160
Noise Temperature (K)	500	Noise Temperature (K)	250
Noise Bandwidth (MHz)	31.5	Noise Bandwidth (MHz)	31.5
CNR (dB)	16.42	CNR (dB)	28.34

Sumber : Iridium engineering statement. (2013)

Tabel 6 Spesifikasi link budget antara satelit konstelasi Iridium

EIR (dBW)	38.4
Gain Satelit (dB)	36.7
Rugi intasan (dB)	192.7
Noise Temperature	720.3
Noise bandwidth (MHz)	12.6
CNR (dB)	11.42

Sumber : Motorola 1992, Intersatellite Links (Tanpa Matahari). (1992)

Pengembangan Satelit Pertahanan

Hasil dan pembahasan penelitian harus disampaikan secara jelas, mampu mengelaborasi permasalahan penelitian, dan mencapai tujuan penelitian. Pembahasan harus mengeksplorasi signifikansi hasil kerja, bukan mengulangi pernyataan-pernyataan yang telah

disampaikan sebelumnya. Hindari penggunaan kalimat dan kutipan langsung dari hasil wawancara.

Menggunakan parameter daya uplink iridium dan perencanaan yang sama, nilai temperatur, gain antena, kecepatan cahaya, konstanta boltzman, loss udara luar angkasa, *loss* atmosfer bumi, dan *noise bandwith* dianggap sama dengan satelit iridium yang sudah komersial. Namun berbeda jarak maksimal antara satelit dengan stasiun bumi adalah 2811 kilometer. Frekuensi yang digunakan dalam jalur komunikasi memiliki nilai yang berbeda dengan spesifikasi satelit iridium. Berikut hasil perhitungan link budget satelit pertahanan :

$$EIRP \text{ (Watt)} = P_{TX} \cdot G_{TX}$$

$$EIRP \text{ (dBw)} = P_{TX} \text{ (dBW)} + G_{TX}$$

EIRP : daya pancar antena sinyal pembawa

P_{TX} : Power Transmitter (Watt atau dBw)

G_{TX} : Gain Antena dalam dB

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{N_o}\right)_{UP} \text{ (dB)} &= EIRP_{SB} - FSL_{UP} + \left(\frac{G}{T}\right)_{SAT} \\ &\quad - L_h - K \\ \left(\frac{C}{N_o}\right)_{DOWN} \text{ (dB)} &= EIRP_{SAT} - FSL_{DOWN} \\ &\quad + \left(\frac{G}{T}\right)_{SB} - L_h - K \\ \left(\frac{C}{N_o}\right)_{TOTAL} \text{ (dB)} &= \left(\frac{C}{N_o}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N_o}\right)_D^{-1} \end{aligned}$$

$\left(\frac{C}{N_0}\right)$: Rasio Sinyal Pembawa Terhadap

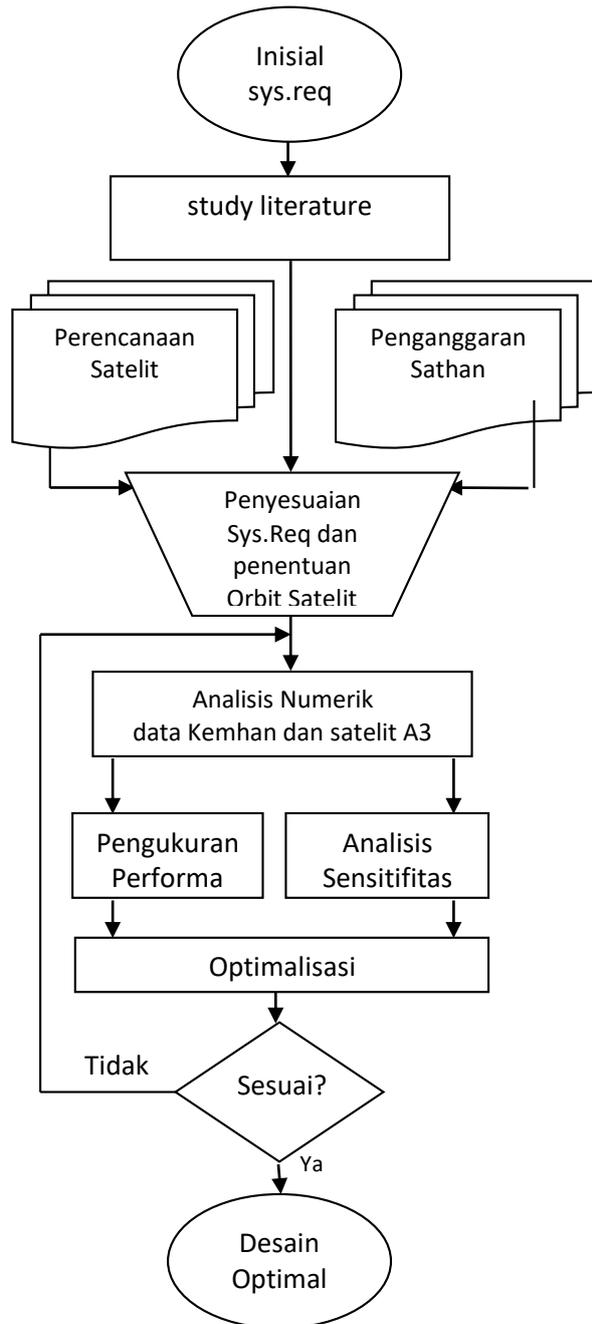
Derau

FSL : Redaman Propagasi

L : Redaman Hujan

K : Konstanta Boltzman

Desain penelitian menggunakan inisial data diperoleh dari studi literature penentuan *system requirement* satelit pertahanan dari kebutuhan prioritas utama yang diperoleh dari Kementerian Pertahanan dengan anggaran yang sesuai kemudian dilakukan observasi satelit A3 buatan LAPAN. Dikembangkan subsistem komponen satelit dengan metode kuantitatif sesuai teori maupun dari data literatur untuk memperoleh spesifikasi satelit pertahanan yang dianggap optimal. Hasil perhitungan spesifikasi disesuaikan dengan kebutuhan Kemhan dan kesiapan sumber daya produksi, kemudian diuji secara kualitatif dengan penyesuaian misi satelit yang sesuai dengan tingkat kebutuhan satelit yang sudah disetujui sebagai pendukung sistem pertahanan, berikut *flowchartnya*:



Gambar 6 Kerangka Desain Penelitian
Sumber : Olahan Peneliti, 2019

- A. Konsep satelit A3 menjadi satelit komunikasi / pengintaian dilakukan dengan penempatan konstelasi satelit di orbit LEO. Konsep ini dapat mengadopsi sistem komunikasi Gonets LEO satelit milik USSR, sistem Iridium milik USA.

1. Satelit pengintaian fungsinya mirip dengan satelit militer, yakni untuk mengintai Bumi (spionase), memiliki orbit Polaris yakni melintasi kutub utara dan selatan bumi. Satelit ini berumur singkat karena gangguan gravitasional akibat bentuk bumi yang bengkak didaerah ekuator sehingga memaksa satelit secara gradual untuk beralih orbit dari Polaris ke orbit ekuatorial¹³.

2. sinyal L-Band dan C-Band nya sangat kecil dibandingkan luas wilayah Indonesia, sehingga butuh banyak satelit LEO MEO yang mampu transfer data status komunikasi dengan cakupan sinyal L-Band dan C-Band nya sangat kecil dibandingkan luas wilayah Indonesia, sehingga butuh banyak satelit LEO MEO yang mampu transfer data status komunikasi dengan *ground segment* ketika *location update* antar satelit LEO yang berotasi mengelilingi bumi sesuai orbitnya.

B. Konsep satelit A3 menjadi satelit komunikasi geostasioner dilakukan

meningkatkan kapasitas bus dan payload satelit dengan pengalokasian beberapa *transponder* yang digunakan untuk menjangkau seluruh wilayah Indonesia dengan teori *link budget*. Satelit komunikasi mempunyai bidang orbit yang bergerak dengan periode revolusi yang sama dengan periode rotasi Bumi, yaitu 24 jam. Banyak yang menggunakan konsep satelit geostasioner ini, salah satu nya produksi NASA.

C. Satelit navigasi yang digunakan untuk mengatur navigasi alat utama sistem senjata dalam operasi militer, dikembangkan dengan sistem konstelasi satelit A3 dengan tujuan memberikan referensi navigasi yang akurat. Amerika dan Rusia sudah menggunakan satelit ini.

Dari tiga konsep desain pengembangan satelit ini, penulis melakukan observasi dilapangan maupun meneliti kebutuhan satelit secara proses kualitatif yang dikombinasikan dengan data hasil penelitian kuantitatif. Hasil data-data ini diolah untuk menghasilkan rumusan konsep desain pengembangan satelit pertahanan yang lebih presisi

¹³ Siregar, D. S. (2010). *Lintasan Satelit*. Bandung: Institut Teknologi Bandung

untuk kebutuhan pertahanan dan keamanan Negara dimasa kedepan.

Tabel 7 Hasil Spesifikasi Payload Misi Satelit Pertahanan

	Konstelasi Satelit Pertahanan
Misi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Komunikasi G/Station dan inter-satellite 2. Servis Mobile Komunikasi Satelit / MSS 3. ADSB 4. Pengindraan
Payload	<ol style="list-style-type: none"> 1. Komunikasi : <ul style="list-style-type: none"> - Dua link feeder yang bisa dikendalikan pita frekuensi Ku kearah gateway teresterial stasiun dibumi. - TTC frekuensi Ku-Band 2. L-Band Antenna Single, 48-beam transmit/receive phased array antenna, frekuensi jumper untuk anti Jamming dan Enkripsi link data communication. 3. Hosted Payload ADBS 4. kamera <i>microbolometer</i>, kamera video analog, dan SpaceCam, Line Imager dengan spesifikasi pada
Orbit	850 km
Frek.	17,927 s.d 17,963 GHz (Ku-Band)
TTC	crosslink 12.5Mbps, full duplex, L-Band
Mass	913.05 kg
Dimensi	3057 x 2186 x 1040 mm (dalam keadaan terlipat siap meluncurkan)
Daya	2230 watt (termasuk Bus dan <i>payload</i>)

Sumber : Olahan Peneliti, 2019

Tabel 8 Spesifikasi satelit pertahanan

Massa peluncuran satelit dan kapasitas daya	~913.05 kg, 2,230 Watt
Ukuran satelit (ketika fase peluncuran)	3.1 m x 2.4 m x 1.5 m

Ukuran satelit fase operasional di orbit	Panjang keseluruhan 9.4 m (termasuk bentang solar panel)
Umur Misi Satelit	- Secara desain untuk 10 tahun dan umur hidup misi 15 tahun
	Komunikasi RF L-band dan Ku-band TT&C - Dua <i>link feeder</i> untuk <i>gateway teresterial</i> 17/18 GHz - Antena <i>omni</i> berkapasitas link 17/18 GHz
Konstelasi orbit	Ketinggian 850 km

Sumber : Olahan Peneliti, 2019

Tabel 9 Uplink dan Downlink Link Budget untuk TTC Frekuensi Ku-Band Komunikasi Stasiun Bumi ke Satelit

Uplink TTC Stasiun Bumi ke Satelit		
Parameter	Nilai	satuan
Frekuensi	17,964	GHertz
Jarak terjauh Stasiun Bumi - satelit	2811	Km
Noise Bandwith (G/T)	47.28	MHertz
EIRP	2.5	dB/K
HPA	53.60	dBW
(C/N)	51.29	KWatt
Kerapatan daya pancar stasiun bumi untuk menjenuhkan <i>transponder</i> satelit	85.44	dB
	-36.4	dBW/m ²
Downlink TTC Satelit ke Stasiun Bumi		
Parameter	Nilai	Satuan
Frekuensi	17,927	GHertz
Jarak terjauh Stasiun Bumi - satelit	2811	Kilometer
Noise Bandwith (G/T)	19.44	MHertz
EIRP	22	dB/K
HPA	30.51	dBW
(C/N)	2.89	Watt
	85.63	dB

Kerapatan daya pancar transmisi satelit untuk menjenuhkan penerima stasiun bumi	-59.4	dBW/m ²
---	-------	--------------------

Sumber : Olahan Peneliti, 2019

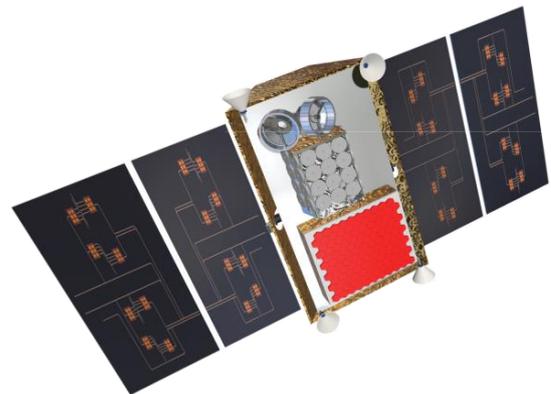
Tabel 10 Uplink dan Downlink Link Budget Frekuensi L-Band untuk Komunikasi mobile (*military user*) ke Satelit

Uplink <i>mobile (military user)</i> ke Satelit		
Parameter	Nilai	satuan
Frekuensi	1,999	GHertz
Jarak terjauh Stasiun Bumi - satelit	2811	km
Noise Bandwith	106.418	KHertz
(G/T)	-11.2	dB/K
EIRP	2.98	dB/K
HPA	24.48	Watt
(C/N)	62.97	dB
Kerapatan daya pancar stasiun bumi untuk menjenuhkan transponder satelit	-98.9	dBW/m ²
Downlink satelit ke <i>mobile (military user)</i>		
Parameter	Nilai	satuan
Frekuensi	1,749	GHertz
Jarak terjauh Stasiun Bumi - satelit	2811	kilometer
Noise Bandwith	94546	Hertz
(G/T)	-29	dB/K
EIRP	20.2	dB/K
HPA	76983.82291	Watt
(C/N)	64,09	dB
Kerapatan daya pancar transmisi satelit untuk menjenuhkan penerima stasiun bumi	-55	dBW/m ²

Sumber : Olahan Peneliti, 2019

Sehingga dari spesifikasi ini, peneliti membuat desain 3 dimensi untuk

menggambarkan satelit hasil penelitian. Perbandingan gambaran ini memiliki dimensi perkiraan setara dengan 1:1 berat massa dan ukuran dari satelit komunikasi yang menjadi referensi. Berikut gambar satelit pertahanan yang telah peneliti lakukan.



Gambar 7 Hasil desain satelit pertahanan

Sumber: Olahan Peneliti, 2019

Kesimpulan Rekomendasi dan Pembatasan

- Kesimpulan
- Misi satelit pertahanan ini memiliki 3 fungsi utama (3 *payload*). *Payload main mission* pengindraan terdiri dari 2 buah kamera pada setiap satelit konstelasi, *payload sekunder* adalah antena *Mobile Military Communication Satellite (MMCS)*, yang dilengkapi radar pesawat terbang (ADSB) dengan frekuensi 1090 MHz. Satelit dikendalikan dari stasiun bumi yang terletak diprovinsi Kalimantan Tengah dan orbit satelit 850 km inklinasi 0° berlawanan dengan rotasi bumi.

Penambahan *payload* komunikasi, dan ADSB menghasilkan berat dan daya/power satelit yang lebih tinggi dibanding satelit referensi, yakni menjadi 913,05kg dan daya 2230 watt.

- b. Satelit dilengkapi 2 kamera untuk pengindraan pada setiap satelit, dengan kemampuan foto lebar cakupan 200km dan panjang 6000km. Kamera *Line scan imager* dan *spacecam* bekerja secara bersamaan saling mendukung misi utama satelit. Fungsi AIS terintegrasi pada kamera *Line Scan Imager* dapat memantau pergerakan kapal (termasuk diperbatasan). Kamera *spacecam* yang memiliki kapasitas gambar yang detail (HD) berguna mendukung fungsi pengamatan darat dan laut. Misi utama sistem didukung oleh 10 satelit yang berkonvoi melakukan pengindraan secara realtime. Handover komunikasi internal secara realtime antar satelit bertanggung jawab terhadap misi pengindraan sebagai misi utama satelit. Peluncuran satelit membutuhkan roket berkapasitas angkut 10 satelit atau 9130,5 kilogram, agar dapat *mengorbitkan* satelit dalam sekali peluncuran.

Pembatasan

Berhubung waktu penelitian ini terbatas, maka penelitian ini merekomendasikan :

- a. Desain hasil pengembangan misi satelit A3 memiliki fungsi yang mirip dengan kebutuhan satelit pertahanan kita, sehingga spesifikasi yang dimilikinya layak untuk diterapkan sebagai fungsi pertahanan. Namun misi yang diemban dapat ditambahkan sesuai kebutuhan, sehingga dapat mempengaruhi spesifikasi satelit pertahanan yang direncanakan.
- b. Hasil desain satelit masih secara teori dan simulasi, dianjurkan untuk dievaluasi secara nyata dengan variabel sistem lingkungan yang lebih lengkap. Beberapa variabel pada *environment* nyata yang tidak masuk dalam perhitungan spesifikasi ini, seperti kondisi angin/cuaca.
- c. Peluncur satelit yang pernah mendukung satelit LEO adalah Falcon 9, dengan kapasitas 10 satelit didalamnya, roket Falcon 9 dapat sekali peluncuran satelit ke orbit LEO. Dalam perencanaan dan penganggaran sebaiknya dilakukan evaluasi secara multiyear agar tercapai kemandirian pengembangan industri statelit.

Daftar Pustaka

Buku

- AdminPushidros. (2018). *Data Kelautan Yang Menjadi Rujukan Nasional Diluncurkan*. Retrieved Oct 14, 2019, from Official Website Of Pushidrosal, Hydrography and Oceanography Center, Indonesian Navy: <http://www.pushidrosal.id>
- Agustan, M. S. (2015). *Analisis Kebutuhan Sistem Satelit Penginderaan Jauh Nasional Indonesia*. Jakarta: PTISDA - BPPT, Gedung 2 BPPT Lantai 12, Jl. M.H. Thamrin No. 8, Jakarta Pusat.
- Ardiyanti, H. (2014). *Cyber-Security dan Tantangan Pengembangannya Di Indonesia*. Jakarta: Pusat Pengkajian, Pengolahan Data & Informasi Sekretariat Jendral.
- Bungin, B. (2007). In *Penelitian Kualitatif*. Jakarta: Prenada Media Group.
- Donna Bethea Murphy. (2013). *Iridium Next Engineering Statement*. Virginia: Iridium Constellation LLC, 1750 Tysons Boulevard Suite 400, Mclean,.
- Equipment Sales Department. (2012). *Propulsion System MONOPROPELLANT*. Toulouse Cedex 1: Thales Alenia Space France.
- Linda Schmidt, G. E. (2009). *Engineering Design 4th edition*. New York City, USA: University of Maryland.
- May, N. (2018). Design Approach and Challenges for the Iridium Next Constellation Command and Control System. *SpaceOps Conference*.
- Molina, M. F. (2014). IridiumNext Star Tracker Thermal Design : Lesson Learned and Learning Curve in Small Series Production. *ICES-2014- 171, 2*.
- Moranville, C. M. (1993). *Satellite Communication Industry*. Washington DC: National Defense University, Fort McNair Washington DC.
- Muljono, D. d. (2008). In *Pengukuran dalam Bidang Pendidikan* (p. 139). Jakarta: Grasindo.
- Octavian, A., & Gultom, R. (2017). *Modernisasi Sistem Pertahanan Udara TNI Melindungi Keutuhan Wilayah dan Kedaulatan NKRI*. Bogor: Univesitas Pertahanan, Sentul, Bogor.
- Paradise Datacom. (2002). *Installation & Operating Handbook for P300 Series Satellite Modems(including P300 Turbo)*. Witham, Essex, CM8 3TD, England.: Paradise Datacom Ltd.
- Putra, I. N. (2016). Penerapan Prinsip Cobit Pada Pengembangan Sistem Informasi Operasi TNI AL Guna Mendukung Penyelenggaraan Tugas Pokok TNI AL. Surabaya: CV. Bintang (Penerbit Bintang Surabaya).
- Siahaan, T. (2015). *Kajian Satelit Pertahanan Negara*. Jakarta: Kementrian Pertahanan Republik Indonesia.
- Siregar, D. S. (2010). *Lintasan Satelit*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wijanarko, D. I. (2016). *Satelit Untuk Anak Bangsa*. Bandung: Remaja Rosdakarya.

Jurnal

- Darwis, R. S. (2012). *Perancangan & Pembuatan Antena Mikrostrip Frekuensi 145.9 MHz & 436.5 MHz Terpolarisasi Sirkular dan Berpolarisasi Direksional Untuk Portable Transceiver Satelit*. Surabaya: Teknik Elektro, Fak. Tek. Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Habibi, M. R. (2012). *Evaluasi Kinerja Sistem Gaussian Minimum Shift Keying*

(GMSK) untuk Pengiriman Citra dari Satelit Nano ke Stasiun Bumi. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Kampus ITS.

Heru, R. (2016). *Preliminary Design of Indonesian Military Surveillance Satellite*. Bandung: Program Studi Aeronautics and Astronomi, ITB.

Karim, A. (2018). Koreksi Data Automatic Identification System (AIS) Satelit LAPAN-A2 Dan LAPAN-A3 Menggunakan Metode Interpolasi Dan Ekstrapolasi. *Jurnal Teknologi Dirgantara* Vol.16 No.2, 159 - 168.

Putra, A. E. (2012). *urwarupa On-Board Data Handling (OBDH) berbasis Mikrokontroler LPC1769 untuk Satelit liNUSAT-1*. Yogyakarta: Prodi Elektronika & Instrumentasi, UGM.

Ramin, R. (2016). *Konsep desain pembuatan satelit pertahanan guna menjaga kedaulatan wilayah indonesia*. Jakarta: Puslitbang Alpalhan Balitbang Kemhan.

Tesis

GSO & GSE team. (1996). *Preliminary Design of Standardized Spacecraft Bus For Small Tactical Satellites*. Ohio, US: DEPARTMENT OF THE AIR FORCE Air University, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

International Civil Aviation Organization. (2005). *ICAO TECHNICAL SPECIFICATION FOR AERONAUTICAL AMSRS PROVIDED BY IRIDIUM SATELLITE SYSTEM*. International Civil Aviation Organization.

Pannebecker, T. W. (1999). *Integrated Spacecraft Design tool*. California: Aeronautical & Astronautical Departement, Naval Postgraduate School Monterey, California.

Ramadhana, F. (2010). *Analisis Implementasi Teknologi AUPC dan ACM pada Pita Frekuensi KU-Band Sistem VSAT Satelit Berdasarkan Link Budget*. Depok: Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.

Schier, K. B. (2014). *Design Concepts for a Small Space-Based GEO Relay Satellite for Missions between Low Earth and Near Earth Orbits*. Washington DC, USA: NASA.

Sears, A. G. (2013). *Design and experimental implementation of optimal spacecraft antenna slews*. Monterey, California: Naval Postgraduate School.

Peraturan

Dephan RI. (2007). *Buku Strategi Pertahanan Republik Indonesia*. Jakarta: Departemen Pertahanan Republik Indonesia.

ITU, I. T. (2019). *Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio dan Orbit satelit Geostasioner dan satelit lainnya*. Switzerland, Geneva.

Kemhan RI. (2015). *Buku Putih Pertahanan Indonesia*. Jakarta: Kementerian Pertahanan Republik Indonesia.

Website

ADSB Technology. (n.d.). Retrieved from <http://www.ads-b.com> diakses 02 Oktober 2019.

A. Dickinson. (2000). *The Artemis Programme*. Retrieved from European Space Agency: <https://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet91/b91dick.htm>, diakses pada 8 Agustus 2019

Bhatnagar BBC, T. (2016). *Mengapa Indonesia menambah kekuatan militer di Natuna*. BBC News Indonesia:

- https://www.bbc.com/indonesia/dunia/2015/12/151230_dunia_indonesia_natuna, diakses pada mei 2019
- Caitlin Dempsey. (2007). *Real-time Satellite Tracking*. Gis lounge: <https://www.gislounge.com/real-time-satellite-tracking>, diakses pada 2019
- Jauhari, A. (2014). *Lapan: Indonesia Butuhkan Kemandirian Satelit untuk Pertahanan*. From <https://www.lapan.go.id/index.php/subblog/read/2014/613/Lapan-Indonesia-Butuhkan-Kemandirian-Satelit-untuk-Pertahanan/1884>, Diakses 27 agustus 2019,
- Karnavian, T. (2017). *Punya Sumber Daya Alam dan Manusia Melimpah, Indonesia Berpotensi Jadi Negara Superpower*. (J. Dedy Afrianto, Interviewer)
- Kemhan, P. P. (2018). *Tanggapi Gugatan Avanti Communications Kemhan Siapkan Dua Strategi*. Retrieved from <https://www.kemhan.go.id/2018/05/14/tanggapi-gugatan-avanti-communications-kemhan-siapkan-dua-strategi.html>, diakses 27 Agustus 2019,
- Kim, F. (2018). *Korea Selatan memperkuat kemampuan satelit pengintaian*. Retrieved from <http://apdf-magazine.com/id/korea-selatan-memperkuat-kemampuan-satelit-pengintaian> diakses 18 August 2019
- LAPAN. (2018). *Teknologi Satelit*. Retrieved from LAPAN: www.lapan.go.id, diakses 25 September 2019
- Pusat Teknologi Satelit, LAPAN. (2016). *Spesifikasi Teknis Satelit LAPAN-A3*. Retrieved from [http://pusteksat.lapan.go.id/subblog/pages/2016/39/Spesifikasi-Teknis-](http://pusteksat.lapan.go.id/subblog/pages/2016/39/Spesifikasi-Teknis-Pengembangan-Satelit-A3-Untuk-Mendukung-Sistem-Pertahanan-Negara)

Satelit-LAPAN-A3, diakses 03 september 2019.

Telesat. (2010). *Adaptive Coding Modulation*. Retrieved from <https://www.telesat.com/sites/whitepapers/ACM.pdf>, diakses 03 sept 2019.

William. (2019). *Membenahi Kedaulatan Melalui Perbatasan*. Retrieved from Kompasiana:

<https://www.kompasiana.com/willychristians/5c3865e1c112fe03f346e047/membenahi-kedaulatan-melalui-perbatasan>, diakses July 2019.