

PENGEMBANGAN SISTEM CERDAS PEMANTAUAN GANGGUAN OPERASIONAL SATELIT – SIAS

DEVELOPMENT OF A SMART SYSTEM FOR MONITORING SATELLITE OPERATIONAL DISRUPTION

Elyyani^{1*}, Nizam Ahmad², Lisa Dwi Aprillia³, Muhammad Ilham³, Bramas Tri Angga Putra³,
Neflia¹, Anwar Santoso¹, La Ode Muhammad Musafar Kilowasid¹, Siti Maryam¹, M Ferdiansyah
Noor¹

*E-mail: elyyani@brin.go.id

¹Pusat Riset Antariksa – ORPA, BRIN

²Pusat Riset Mekatronika Cerdas – OREI, BRIN

³Universitas Telkom

Abstrak

Kegagalan fungsi dan operasional satelit menjadi salah satu isu sentral dalam setiap penempatan satelit di antariksa. Indonesia yang telah memasuki industri pengembangan satelit harus memiliki *smart monitoring system* untuk mitigasi kerusakan satelit di antariksa. Kendala pengembangan sistem selama ini terletak pada *integrated database management system* (IDMS) yang tidak ada serta *smart system* yang bertindak sebagai *decision support systems* (DSS) yang memerlukan pengembangan untuk menjadi sebuah *smart monitoring system* satelit. Upaya membenahi permasalahan ini dilakukan melalui dua hal, yaitu penggunaan algoritma *big data* untuk IDMS dan penerapan *machine learning* atau *Artificial Intelligence* (AI) untuk membangun DSS. Sejauh ini telah dikembangkan sebuah prototipe sistem mitigasi gangguan operasional satelit yang diberi nama SIAS (Sistem informasi anomali satelit). Prototipe ini telah digunakan untuk menganalisis beberapa kasus sumber dan penyebab gangguan operasional satelit. Perangkat SIAS lebih jauh dikembangkan dengan menggunakan IDMS dan AI agar dapat menjadi DSS industri satelit Indonesia kedepannya.

Kata kunci: *Satellite – Artificial Intelligence (SIAS), integrated database management system (IDMS), decision support systems (DSS), big data*

Abstract

Satellite functional and operational failures are a central issue in every satellite placed in space. Indonesia, which has initiated the satellite development industry, must have a smart monitoring system to mitigate satellite damage in space. Current system development challenges include the lack of an integrated database management system (IDMS) and a smart system acting as a decision support system (DSS), which requires development to become a smart satellite monitoring system. Efforts to address these issues are being made through two approaches: the use of big data algorithms for the IDMS and the application of machine learning or Artificial Intelligence (AI) to build the DSS. A prototype satellite operational disruption mitigation system, SIAS (Satellite Anomaly Information System), has been developed. This prototype has been used to analyze several cases of satellite operational disruptions, identifying the sources and causes of satellite malfunctions. The SIAS tool will be further developed using IDMS and AI to become the DSS for the future Indonesian satellite industry.

Keywords: *Satellite – Artificial Intelligence (SIAS), integrated database management system (IDMS), decision support systems (DSS), big data*

1. PENDAHULUAN

Kegagalan fungsi dan operasional satelit telah terdeteksi sejak pertama manusia meluncurkan satelit ke antariksa. Pada tahun 1957, satelit Sputnik 1 milik Uni Soviet berhasil mengorbit hingga Januari 1958 dan kemudian mengalami *re-entry* ke bumi. Hanya selang sebulan, satelit berikutnya, Sputnik 2, diluncurkan dan mengalami *overheating* sehingga bertahan di orbit sekitar 5 bulan [1]. Kejadian kegagalan fungsi dan operasional satelit ini juga dialami satelit milik DSCS 2 dan INTELSAT III dan IV milik Amerika [2]. Penyebab kegagalan satelit ini menjadi misteri selama beberapa tahun dan mulai terpecahkan dengan ditemukannya sabuk radiasi Van Allen disekitar bumi oleh satelit Explorer 1 pada tahun 1962. Penemuan ini mengubah pandangan manusia yang selama ini menganggap ruang angkasa adalah hampa, ternyata mengandung milyaran partikel yang terperangkap dalam sabuk radiasi sekitar bumi.

Kegagalan fungsi dan operasional satelit ini tercatat melalui beberapa basis data dan pada umumnya berkaitan dengan kondisi antariksa [3]; [4]. Basis data NGDC mencatat dalam kurun waktu 1968-1994, terdapat 5032 kasus kerusakan satelit; basis data NOAA mencatat 464 kasus dalam rentang waktu 1989-1990, sedangkan basis data SND (Satellite News Digest) mencatat terdapat sekitar 320 kasus dalam kurun waktu 1993-2001, dan sekitar 170 kasus dari tahun 2001 hingga 2010. Kasus menarik lainnya adalah hilangnya sekitar 200 obyek antariksa dari basis data NORAD pada tahun 1991 dimana sebagian besar obyek tersebut mengalami pergeseran orbit secara mendadak [5]. Pada saat itu tidak diketahui pasti penyebab 'hilangnya' 200 obyek antariksa tersebut, namun dugaan utama disebabkan oleh dinamika lingkungan antariksa.

Kebutuhan manusia akan jasa satelit selalu mengalami peningkatan setiap tahun. Hampir seluruh lini kehidupan dan aktivitas manusia bergantung pada jasa satelit. Kemudahan komunikasi, navigasi, observasi, serta transaksi ekonomi berbasis internet merupakan beberapa contoh kontribusi jasa satelit. Pada tahun 2017, tercatat pendapatan dari jasa satelit sebesar \$128.7 B (<https://www.sia.org>). Dalam hal ini, satelit menjadi 'kunci' kemudahan aktivitas hidup manusia. Pertanyaannya adalah : Apa yang terjadi ketika satelit berhenti berfungsi? Pada 11 Januari 1997, Satelit komunikasi Telstar 401 seharga \$200 juta, milik perusahaan AT&T mengalami kerusakan yang menyebabkan perusahaan tersebut mengalami kerugian ekonomi sebesar \$712 juta. Kerusakan yang terjadi pada 15 satelit pada rentang tahun 1996-2005 menyebabkan estimasi kerugian sebesar \$2 miliar [6].

Hingga saat ini, Indonesia telah mengembangkan lebih kurang 28 satelit yang ditempatkan di orbit tinggi (GEO) dan rendah (LEO). Pengembangan teknologi satelit Indonesia masih terus berlanjut untuk berbagai keperluan. Kemungkinan satelit tersebut mengalami kegagalan fungsi merupakan suatu keniscayaan [7]. Oleh karena itu diperlukan upaya mitigasi melalui sebuah sistem monitoring yang bisa memprakirakan berbagai dampak ataupun potensi gangguan yang akan dialami satelit itu kedepannya, termasuk solusi mitigasinya.

Pada dasarnya sistem ini telah mulai dikembangkan pada tahun 2007 yang disebut Sistem Informasi Anomali Satelit (SIAS) [8] ; [9]. Sistem awal masih membenahi basis data yang meliputi kondisi lingkungan antariksa dan orbit serta sistem satelit. Perangkat SIAS versi awal hanya bisa menganalisis kasus kerusakan satelit periode 2000-2009 dengan domain satelit-satelit orbit rendah pada ketinggian dibawah 1000 km dari permukaan bumi. Pengembangan versi baru sistem ini diupayakan menjadi sebuah *smart monitoring system* yang menjadi kunci utama dalam mengembangkan sistem peringatan dini gangguan operasional satelit Indonesia mendatang [10]. Makalah ini memaparkan pengembangan lanjut sistem informasi gangguan satelit menjadi sebuah sistem cerdas berbasis kecerdasan buatan dalam memprediksi kondisi lingkungan antariksa disekitar satelit.

2. DATA DAN METODE

2.1 Data

Pengembangan sistem informasi cerdas yang bisa mendeteksi potensi kerusakan satelit di antariksa sangat bergantung pada dua kluster basis data, yaitu basis data satelit, baik yang masih aktif beroperasi maupun satelit yang tidak beroperasi lagi (*decay*), namun masih mengorbit bumi. Pada umumnya, basis data satelit yang berisi informasi lokasi peempatan satelit dapat diakses melalui situs <https://www.space-track.org/>. Contoh elemen orbit yang sering digunakan dalam analisis maupun dalam prediksi dapat dilihat pada (Tabel 1).

Tabel 1. Basis data satelit yang memperlihatkan lokasi penempatan satelit di orbit bumi

No.	Nama satelit	Inklinasi (°)	Ketinggian orbit (Km)	Status
1	LAPAN A3	97	460	Aktif
2	ERS 16	90	210	Decay
3	FEDSAT	98	790	Aktif
4	LANDSAT 7	98	680	Aktif
5	STARLINK-25	53	160	Aktif

Pada (Tabel 1), inklinasi satelit memperlihatkan kemiringan orbit satelit terhadap bumi [11]. Hal ini sekaligus menyatakan wilayah peredaran satelit di permukaan bumi, yaitu apakah satelit akan memiliki cakupan wilayah di belahan utara, selatan ataupun ekuator bumi nantinya. Elemen orbit lainnya yang penting untuk sistem peringatan dini adalah ketinggian orbit satelit, yaitu wilayah penempatan satelit di atmosfer atas bumi. Wilayah atmosfer atas dikenal sebagai wilayah yang banyak mengandung partikel melalui proses ionisasi dan rekombinasi akibat interaksi dengan radiasi matahari maupun badai magnetik bumi [12].

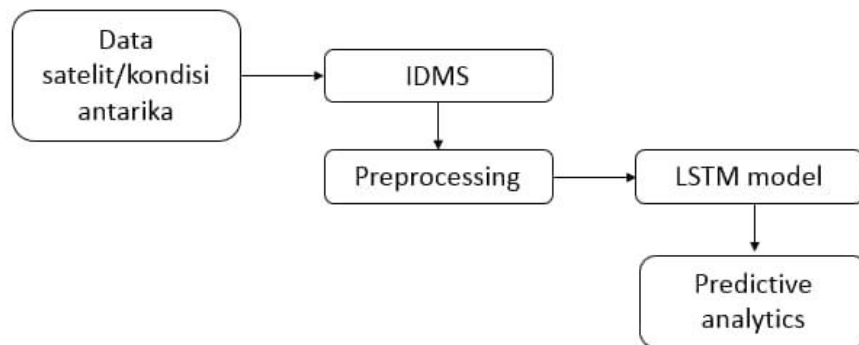
Kluster basis data berikutnya adalah parameter cuaca antariksa yang dalam hal ini masih fokus pada data aktivitas magnet bumi dan partikel bermuatan (proton dan elektron). Pada studi awal, aktivitas magnet bumi dicirikan melalui besaran indeks magnetik yang disebut *planetary K-index* (K_p) dan *disturbance storm time index* (Dst). Indeks K_p secara ringkas menyatakan perubahan besar medan magnet bumi secara global, sedangkan indeks Dst menyatakan gangguan medan magnet bumi di lintang rendah [13]. Kedua data ini dapat diakses melalui situs <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>. Kombinasi indeks K_p dan Dst ini menjadi indikator yang bagus dalam menganalisis lingkungan satelit di antariksa, dan menjadi kunci penting dalam membangun sistem cerdas pemantauan satelit di antariksa kedepannya.

2.2 Metode

Membangun sistem cerdas pemantauan gangguan operasional satelit membutuhkan basis data yang besar (*big data*) yang terintegrasi secara efektif, dalam arti pemantauan yang cepat harus dapat menjawab setiap pengambilan keputusan terkait keberlanjutan misi satelit, terutama ketika satelit dihadapkan pada masalah kritis (*critical problem*) di antariksa. Oleh karena itu diperlukan upaya pengembangan *integrated database management system* (IDMS) dalam mengelola data skala besar dan kompleksitas tinggi. Sistem informasi anomali satelit (SIAS) yang dikembangkan dalam studi ini menggunakan algoritma *data mining* yang dapat meningkatkan efisiensi *query*, mengoptimalkan penyimpana serta mempertajam kemampuan analitik secara *real-time*. Hal ini memungkinkan peningkatan kemampuan SIAS dalam membaca pola, tren, analisis yang lebih cepat dan akurat.

Selain *data mining*, SIAS juga dikembangkan dengan menggunakan algoritma prediktif berbasis *artificial intelligence* (AI). Hal ini memungkinkan SIAS dalam melakukan prediksi kondisi antariksa yang akan dihadapi satelit dalam beberapa waktu kedepan, apakah kondisi ini

konduktif atau destruktif bagi operasional satelit. Upaya ini dilakukan secara otomatis yang mempercepat rekomendasi dalam mengambil keputusan sebagai bagian dari upaya *decision support system* (DSS). Dalam algoritma prediktif ini, data historis kesehatan satelit selama beroperasi serta data kondisi antariksa akan digunakan sebagai basis dalam mempelajari pola-pola tertentu dalam menentukan keberlanjutan misi satelit. Penggunaan model *long short term memory* (LSTM) pada SIAS sejauh ini mampu meningkatkan kemampuan prediksi kondisi lingkungan satelit beberapa hari kedepan (1~3 hari) secara akurat. Secara umum, metode yang digunakan dalam SIAS ini dapat dilihat pada (Gambar 1).



Gambar 1. Block diagram metode yang digunakan dalam perangkat SIAS

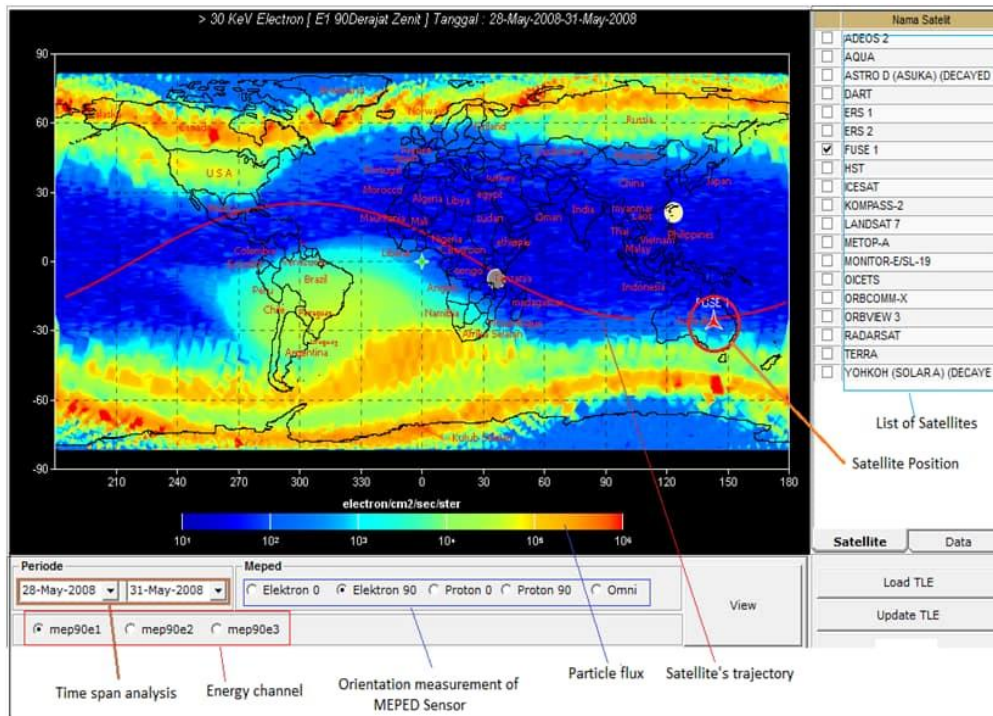
Pada (Gambar 1), kedua klaster data, yaitu dataset satelit dan cuaca antariksa menjadi basis algoritma *data mining* membangun IDMS *big data*. Klaster data ini diproses melalui beberapa tahapan (*cleaning, integration, transformation, dan seterusnya*). Dataset hasil pengolahan ini dilatih menjadi data latih dan data uji menggunakan model LSTM untuk kemudian menjadi data prediksi yang akurat sebagai bahan dalam proses DSS nantinya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem informasi anomali satelit (SIAS) versi awal dikembangkan dengan menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic* dengan memanfaatkan sistem manajemen basis data PostgreSQL. Pada versi awal ini, basis data meliputi data sebaran partikel yang diperoleh melalui satelit NOAA 15 pada beberapa kanal energi, data fluktuasi medan magnet bumi menggunakan *indeks Kp* dan *Dst*, data satelit orbit rendah yang pernah dilaporkan mengalami kerusakan akibat berbagai sumber, serta dugaan penyebab beberapa kerusakan satelit. Secara umum, tampilan awal perangkat SIAS dapat dilihat pada (Gambar 2).

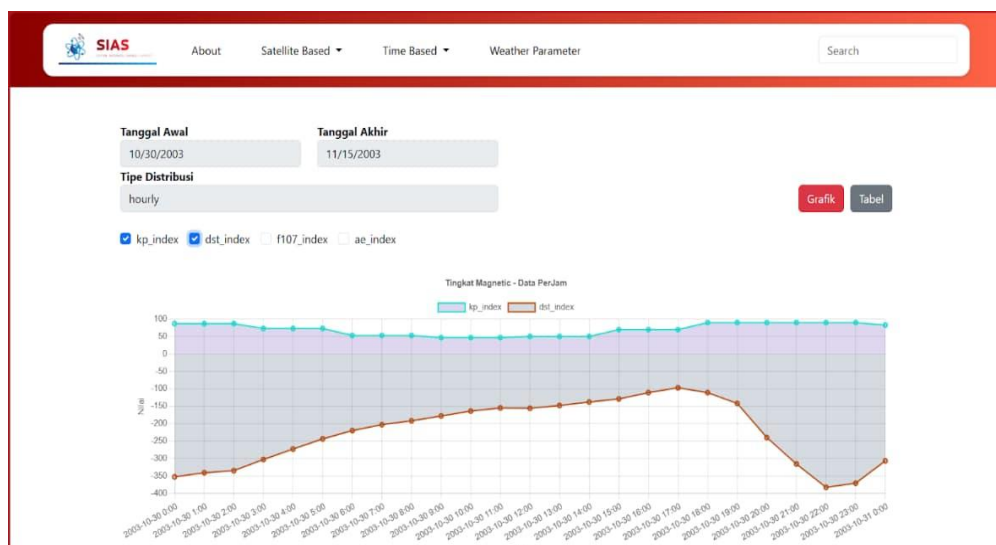
Pada (Gambar 2), perangkat ini telah mampu memantau pergerakan satelit-satelit orbit rendah, termasuk peta kondisi lingkungan antariksa disepanjang lintasan yang dilewati oleh satelit-satelit tersebut. Pada menu **Nama satelit**, pengguna dapat memilih satelit tertentu yang akan dipantau pergerakannya, termasuk potensi gangguan yang akan dialami oleh satelit tersebut berdasarkan peta distribusi partikel seperti pada tampilan (Gambar 2). Peta distribusi partikel diklasifikasi dalam beberapa warna, dimana setiap warna menyatakan tingkat radiasi partikel yang berdampak pada satelit. Dalam pengembangan versi berikutnya, digunakan algoritma *data mining* dan algoritma prediktif terutama pada sisi basis data dan prediksi lintasan satelit. Aplikasi *frontend* (tampilan depan) perangkat SIAS yang terdiri dari beberapa menu. Menu ini dikembangkan berdasarkan kebutuhan analisis beberapa pengguna potensial seperti operator satelit, peneliti, pengambil kebijakan ataupun komunitas akademik yang tertarik melakukan pemantauan satelit secara *real-time*. Untuk memudahkan integrasi dan komunikasi antara klien dan server, maka digunakan REST API. Perangkat pengguna seperti aplikasi *frontend* SIAS mengirim permintaan HTTP (*GET, POST, PUT, DELETE*) melalui REST API

untuk kemudian meneruskannya ke server untuk diproses sesuai dengan logika bisnis dan operasi data yang ada. Konsep ini memungkinkan pertukaran data yang ringan, efisien dan terstruktur antara *frontend* dan *backend* dalam perangkat SIAS.



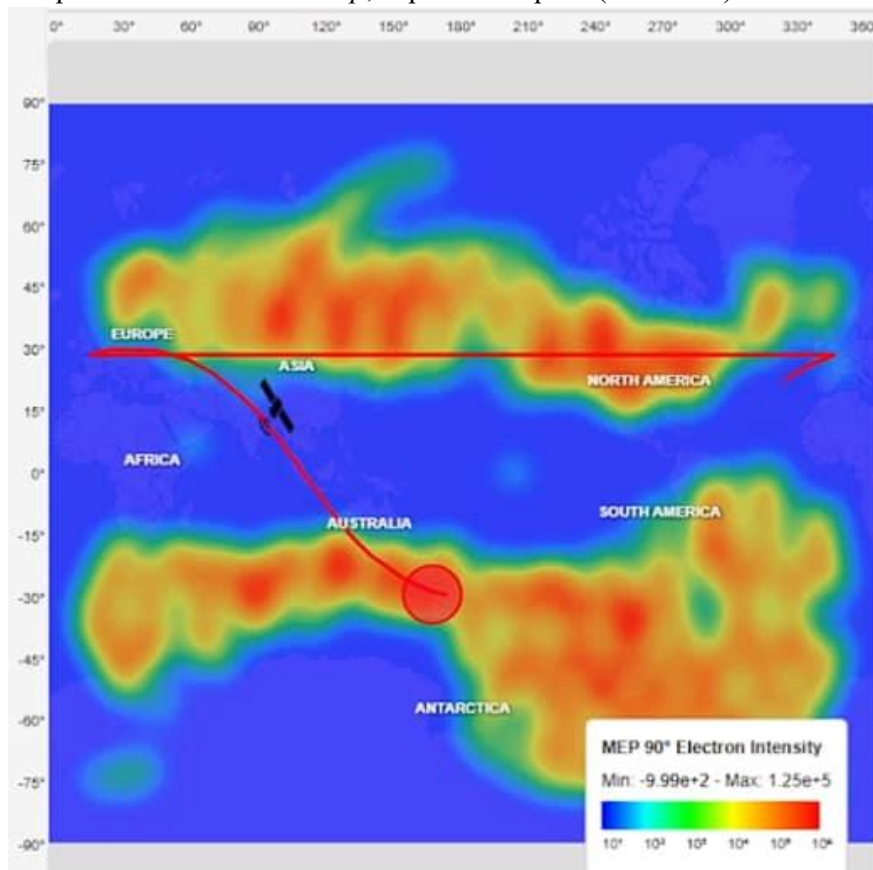
Gambar 2. Tampilan versi awal perangkat pemantau satelit, SIAS

Fungsi menu yang terdapat pada SIAS mengandung kumpulan data yang telah disebutkan diatas, yaitu kluster data satelit dan kluster data kondisi antariksa. Menu tersebut pada dasarnya hasil dari implementasi *data mining* terhadap seluruh kluster data untuk mewujudkan IDMS perangkat SIAS. Salah satu tampilan IDMS perangkat SIAS ini dapat dilihat pada (Gambar 3).



Gambar 3. Tampilan salah satu kluster data kondisi antariksa pada perangkat SIAS

(Gambar 3), merupakan grafik interaktif perubahan kondisi antariksa disekitar satelit pada waktu pengamatan. Fungsi ini memungkinkan pengguna melakukan pemantauan termasuk analisis potensi gangguan pada satelit pada suatu waktu tertentu. Fungsi ini juga memungkinkan pengguna dalam melakukan analisis atau menelusuri kejadian gangguan yang dialami satelit pada masa lampau. Menariknya, pada perkembangan terbaru perangkat SIAS, fungsi ini dikembangkan lebih jauh menggunakan *machine learning* menggunakan algoritma prediktif dalam melakukan prediksi kemungkinan gangguan yang akan dialami satelit pada beberapa waktu kedepan. Salah satu contoh prediksi lintasan dan perubahan kondisi antariksa pada salah satu satelit sampel dalam bentuk *heatmap*, dapat dilihat pada (Gambar 4).



Gambar 4. Tampilan hasil prediksi lintasan satelit dan kondisi lingkungan antariksa dengan interval 10 menit.

Pada (Gambar 4), warna pada *heatmap* menyatakan prediksi intensitas radiasi di permukaan bumi, termasuk di sepanjang lintasan satelit. Warna merah memperlihatkan wilayah permukaan bumi dengan intensitas radiasi paling tinggi yang berpotensi besar menyebabkan kegagalan fungsi pada satelit, sedangkan warna biru memperlihatkan intensitas radiasi rendah yang aman bagi operasional satelit. Visualisasi pada perangkat SIAS ini sekaligus menjadi keunggulan tersendiri mengingat SIAS memiliki kemampuan dalam memetakan wilayah rawan di antariksa yang berpotensi mengganggu operasional satelit.

Akurasi dalam prediksi ini dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa hal, seperti akurasi yang diukur menggunakan Root Mean Square (RMS), dimana dalam rentang prediksi 24 jam, RMS error hanya berkisar beberapa kilometer. Besaran error ini masih dalam rentang

toleransi yang dapat diterima pada penghitungan orbit satelit. Selain akurasi posisi, dipertimbangkan juga akurasi kecepatan, yaitu dengan membandingkan vektor kecepatan hasil prediksi dengan nilai referensi. Hal yang paling penting berikutnya adalah konsistensi prediksi LSTM dalam durasi yang panjang dengan menggunakan mekanisme *controlled noise injection* yang dapat mencegah akumulasi data berulang. Sejauh ini, pertimbangan diatas menghasilkan akurasi prediksi perangkat SIAS yang sangat tinggi, yaitu sekitar 91%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengembangan perangkat pemantauan gangguan operasional satelit, yaitu SIAS, dari versi awal ke versi baru telah memberikan hasil yang sangat signifikan, terutama dalam hal pembenahan *dataset* dan penyediaan modul prediksi untuk orbit dan kondisi lingkungan antariksa. Versi awal SIAS yang hanya menggunakan dataset terbatas, belum mampu menampilkan *heatmap* pergerakan satelit dan lingkungan antariksa secara komprehensif dan cepat. Selain itu juga belum memiliki fitur prediksi yang sangat berguna dalam pengambilan keputusan cepat. Versi ini hanya mampu menganalisis sumber dan penyebab gangguan operasional satelit yang telah terjadi dengan memanfaatkan data yang telah tersedia. Perkembangan terbaru perangkat SIAS dengan menggunakan algoritma *data mining* bagi terwujudnya IDMS, sekaligus yang bisa memprediksi potensi gangguan operasional satelit dalam beberapa waktu kedepan menggunakan *machine learning*, dapat meningkatkan kemampuan SIAS pada sisi kecepatan pemrosesan data dan prediksi potensi gangguan satelit, baik secara spasial maupun temporal. Kemampuan ini sangat penting bagi pengguna seperti operator satelit, peneliti dan pengambil kebijakan dalam mengambil keputusan terkait keberlangsungan misi satelit. Upaya ini pula yang menjadi harapan kedepan bahwa Indonesia memiliki sistem peringatan dini gangguan operasional satelit yang dapat memastikan keamanan satelit-satelit, baik yang udah operasional maupun yang akan diluncurkan dan ditempatkan di antariksa mendatang. Kedepannya, perangkat SIAS akan dikembangkan menggunakan berbagai model dalam *machine learning* untuk otomatisasi dan peningkatan akurasi sehingga dapat menjawab permasalahan terkait operasional satelit di antariksa.

Acknowledgement

Dalam makalah ini, para penulis mengucapkan penghargaan dan terima kasih kepada BRIN yang telah memfasilitasi penelitian dengan menggunakan berbagai sumber yang ada. Selain itu, para penulis juga mengucapkan terimakasih pada Telkom University dalam kerjasamanya melalui kegiatan bimbingan tugas akhir melalui mahasiswanya, diantaranya Lisa Dwi Aprillia, Bramas Tri Angga Putra dan Muhammad Ilham yang telah berhasil membantu dalam pengembangan perangkat SIAS versi terbaru.

5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] West, J. B., 2001. Historical aspects of the early Soviet/Russian manned space program. *J Appl Physiol*, 91, pp. 1501–1511. doi: 10.1152/jappl.2001.91.4.1501.
- [2] Fennell, J. F., Koons, H. C., Roeder, J. L., Blake, J. B., 2001. Spacecraft charging: Observations and relationship to satellite anomalies. In *European Space Agency, (Special Publication) ESA SP* (Vol. 2001, Issue 476).
- [3] Ahmad, N., Herdiwijaya, D., Djameluddin, T., Usui, H., & Miyake, Y., 2018. Diagnosing low earth orbit satellite anomalies using NOAA-15 electron data associated with geomagnetic perturbations. *Earth, Planets and Space*, 70(1). doi: 10.1186/s40623-018-0852-2.

- [4] Ahmad, N., Kilowasid, L. O. M. M., Fakhrurroja, H., Neflia, Rachman, A., Husain, A., Fathoni, H. 2025. How geomagnetic storms affect the loss of Starlink satellites in February 2022? *Earth, Planets and Space*. doi: 10.1186/s40623-024-02124-2.
- [5] NASA. 2015. *Living with a star: 10-year vision*.
Available at:
https://assets.science.nasa.gov/content/dam/science/hpd/key-documents/2015/LWS_10YrVision_Oct2015_Final.pdf. [accessed at : March, 16th 2026]
- [6] Odenwald, S., Green, J., Taylorli, W., 2006. Forecasting the Impact of an 1859-calibre Superstorm on Satellite Resources. *Advances in Space Research*, 38(2), 280–297.
- [7] Hastings, D., & Garrett, H., 2015. Spacecraft-Environment Interactions. In *Cambridge University Press*. doi:10.1017/CBO9780511525032.
- [8] Ahmad, N., & Rachman, A. 2009. PEMBANGUNAN SISTEM INFORMASI ANOMALI (SIAS). *Jurnal Sains Dirgantara*, 6(2), pp. 149–164.
- [9] Ahmad, N., 2012. *Analisis Potensi Anomali Satelit-Satelit Orbit Rendah Dalam Siklus Matahari Ke-23* [Analysis Of Potential Anomaly For Low Orbiting Satellites In Solar Cycle 23]. 9(2), pp. 90–106.
- [10] Aprillia, L. D., Fakhrurroja, H., Ahmad, N., Kilowasid, L. O. M. M., Putra, B. T. A., Ilham, M., 2025. SIAS : Backend Development for Predictive Satellite Anomaly Analysis. *Proceedings of Data Analytics and Management. ICDAM 2025. Lecture Notes in Networks and Systems*, pp.132–151.
- [11] Montenbruck, O., Gill, E., 2001. *Satellite Orbits : Models, Methods, and Applications*. Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-58351-3.
- [12] Vincent L. Pisacane., 2008. *The Space Environment and Its Effects on Space Systems* (J. A.Schetz (ed.)). American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191.
- [13] Tribble, A. C., 2003. *The Space Environment : Implications for Spacecraft Design* (epanded ed). Princeton University Press.