

Implementasi Penerimaan Sinyal Stasiun Bumi Satelit Orbit Rendah Berbasis Software Defined Radio

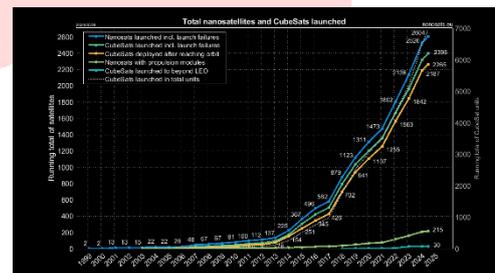
Fadhul Ariqi¹
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
fadhul.ariqi@gmail.com

Abstrak—Perkembangan satelit orbit rendah semakin meningkat setiap tahunnya, peningkatan ini mendorong perguruan tinggi juga ikut andil dalam meningkatkan pengetahuan dan pengalaman tentang satelit LEO. Universitas Telkom merupakan salah satu perguruan tinggi yang sedang mengembangkan satelit orbit rendah, untuk itu dibutuhkan juga stasiun bumi yang dapat berkomunikasi dengan satelit orbit rendah. Rancangan penerimaan sinyal stasiun bumi satelit orbit rendah ini dilakukan dengan menggunakan software defined radio untuk meningkatkan fleksibilitas dan kemudahan dalam mengoperasikan stasiun bumi dalam rentang frekuensi. Dengan menggunakan RTL-SDR sebagai media perangkat keras SDR yang memberikan performa yang baik dan dapat menerima sinyal satelit orbit rendah. Penerimaan sinyal satelit orbit rendah dilakukan dengan menggunakan perangkat perancangan dan memberikan hasil yang memuaskan dengan berhasil menerima 11 data satelit orbit rendah. Data yang diterima dapat dilihat pada satnogs network yang terintegrasi dengan mikrokomputer stasiun bumi, dengan begitu penyimpanan dan pendataan ini dapat dilakukan lebih mudah. Stasiun bumi orbit rendah ini menjadi solusi yang lebih mudah dan murah sehingga cocok untuk dikembangkan di lingkungan perguruan tinggi dari pada stasiun bumi konvensional

Kata kunci— Kata kunci sedapat mungkin menjelaskan isi tulisan, dan ditulis dengan huruf kecil, kecuali akronim. Kata kunci tidak lebih dari 6 kata

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi semakin meningkat salah satunya pada bidang satelit. Salah satu bagian penting pada pengembangan satelit LEO adalah stasiun bumi. satelit LEO membutuhkan stasiun bumi yang berperan sebagai pengirim dan penerima sinyal serta data dari satelit. Satelit LEO biasanya beroperasi pada frekuensi VHF, UHF, atau S-band sehingga stasiun bumi harus dapat beroperasi pada frekuensi yang sama dengan frekuensi komunikasi satelit, terutama untuk satelit yang berada di orbit rendah seperti satelit nano yang juga memiliki sudut elevasi tinggi. Berikut merupakan gambaran dari peningkatan jumlah satelit nano dari tahun 1998 sampai saat ini[1].



GAMBAR 1
GRAFIK PENINGKATAN SATELIT NANO

Peningkatan satelit nano ini terjadi signifikan sejak tahun 2013 dan terus meningkat sampai sekarang. Banyak negara dan universitas berperan dalam mengembangkan satelit nano ini. Dalam lingkungan universitas, pengembangan satelit nano serta stasiun bumi memiliki keterbatasan seperti biaya dan waktu. Universitas Telkom merupakan salah satu perguruan tinggi yang sedang mengembangkan satelit nano buatan sendiri dalam rangka meningkatkan pengetahuan serta pengalaman dibidang satelit orbit rendah. Dengan adanya pengembangan satelit nano, maka diperlukan stasiun bumi yang siap beroperasi untuk satelit nano Universitas Telkom nantinya.

Penggunaan *software defined radio* (SDR) pada stasiun bumi dilakukan agar meningkatkan efisien serta fleksibilitas dalam penggunaannya. Dengan harga yang murah, solusi ini sangat cocok untuk dikembangkan didalam lingkungan perguruan tinggi. Teknologi SDR memungkinkan perangkat radio untuk mengubah fungsi dan parameter secara dinamis dengan menggunakan perangkat lunak. SDR dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti komunikasi, navigasi, penginderaan jauh, dan eksperimen ilmiah. SDR dapat diintegrasikan dengan stasiun bumi untuk meningkatkan fleksibilitas, efisiensi, dan kinerja sistem transmisi satelit.[2]

Dalam era perkembangan teknologi komunikasi yang pesat, penerimaan sinyal dari stasiun bumi satelit orbit rendah (LEO) menjadi semakin penting, terutama untuk mendukung berbagai aplikasi seperti pemantauan lingkungan, telekomunikasi, dan penginderaan jauh. Perancangannya memerlukan pendekatan yang efektif dan efisien, di mana *software defined radio* (SDR) muncul sebagai solusi yang menjanjikan. SDR memungkinkan penyesuaian dan pengaturan sistem penerima sinyal secara fleksibel melalui perangkat lunak, sehingga dapat dengan mudah beradaptasi dengan berbagai jenis sinyal maupun frekuensi yang

digunakan oleh satelit. Selain itu, dengan kemampuan pemrosesan sinyal digital yang tinggi, SDR memungkinkan penerimaan sinyal yang lebih baik, meskipun dalam kondisi interferensi yang tinggi atau sumber daya yang terbatas.

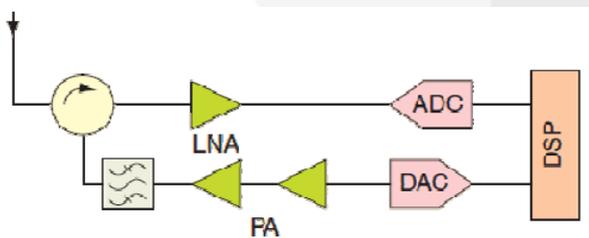
Jurnal ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan menguraikan proses perancangan sistem penerimaan sinyal stasiun bumi menggunakan teknologi SDR, menggali tantangan yang ada, serta mengevaluasi berbagai metode dan algoritma yang dapat meningkatkan kualitas dan keandalan penerimaan sinyal. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini akan memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi komunikasi satelit, terutama dalam meningkatkan integrasi dan efisiensi sistem penerimaan sinyal dari satelit orbit rendah.

II. KAJIAN TEORI

Kajian teori dalam jurnal ini bertujuan untuk menggali konsep dan metodologi yang mendasari rancangan stasiun bumi untuk satelit nano dengan mengintegrasikan teknologi *Software Defined Radio* (SDR). Dalam era perkembangan teknologi komunikasi satelit, penggunaan SDR menawarkan fleksibilitas dan efisiensi yang signifikan dalam pengolahan sinyal serta pengelolaan frekuensi. Dengan demikian, kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan kinerja stasiun bumi dalam mendukung operasional satelit nano, serta membuka peluang untuk aplikasi lebih lanjut dalam bidang telekomunikasi ruang angkasa yang inovatif.

A. Software Defined Radio

Software Defined Radio (SDR) adalah teknologi yang mengubah cara kita berinteraksi dengan sistem komunikasi radio. Pada dasarnya, SDR adalah sistem radio di mana komponen tradisional yang biasanya diimplementasikan dengan perangkat keras, seperti modulasi, deteksi, dan pemrosesan sinyal, kini dilakukan melalui perangkat lunak. Ini memungkinkan fleksibilitas yang jauh lebih besar dibandingkan dengan teknologi radio konvensional, di mana perubahan pada sistem sering kali memerlukan penggantian atau modifikasi komponen fisik. Dengan SDR, pengguna dapat dengan mudah mengganti format sinyal, memperbarui algoritma pemrosesan, dan mengadopsi standar komunikasi baru melalui pembaruan perangkat lunak, tanpa perlu perubahan fisik pada perangkat keras[2].



GAMBAR 2
ARISITEKTUR IDEAL SOFTWARE DEFINED RADIO

SDR memberikan wawasan yang mendalam mengenai prinsip dasar pemrosesan sinyal, serta aplikasi praktisnya dalam berbagai bidang, mulai dari komunikasi nirkabel hingga pengamatan spektrum dan mitigasi interferensi.

Pendekatan ini juga memfasilitasi penelitian dan pengembangan inovasi di bidang teknologi komunikasi,

sehingga mendukung evolusi sistem komunikasi yang lebih efisien dan adaptif, sejalan dengan kemajuan teknologi digital dan kebutuhan akan bandwidth yang semakin meningkat. Lebih lanjut, SDR memungkinkan untuk eksperimen dan pemodelan yang lebih mudah, mempercepat proses prototyping dan pengujian sistem komunikasi yang kompleks, serta membuka peluang baru dalam pendidikan dan pelatihan di bidang teknologi radio dan telekomunikasi.

B. RTL-SDR

RTL-SDR, yang merupakan singkatan dari Realtek Software Defined Radio, adalah sebuah perangkat yang memungkinkan penerimaan sinyal radio digital dengan menggunakan teknologi pemrograman perangkat lunak. Perangkat ini awalnya dirancang sebagai tuner TV USB yang murah, namun seiring berkembangnya teknologi dan minat masyarakat terhadap radio dan komunikasi nirkabel, RTL-SDR telah diadaptasi untuk digunakan dalam berbagai aplikasi komunikasi radio.



GAMBAR 3
PERANGKAT KERAS RTL-SDR V3

Keuntungan utama dari RTL-SDR adalah fleksibilitasnya; pengguna dapat memprogram perangkat ini untuk menerima berbagai frekuensi mulai dari 500 kHz hingga 1.7 GHz, yang memungkinkan pencarian dan pemantauan spektrum radio yang luas. RTL-SDR umumnya digunakan dalam penelitian komunikasi, pemantauan cuaca, pengamatan balon udara, hingga pengamatan sinyal dari satelit. Melalui perangkat ini, pengguna dapat menggunakan berbagai perangkat lunak, seperti GNU Radio, SDR# (SDRSharp), dan lain-lain, untuk menganalisis, merekam, dan bahkan memodifikasi sinyal radio yang diterima.

RTL-SDR dapat menjadi alat yang sangat berguna untuk mempelajari dasar-dasar komunikasi radio, termasuk konsep modulasi, pemrosesan sinyal, serta penerapan teknologi radiofrekuensi dalam dunia nyata. Dengan demikian, RTL-SDR tidak hanya menjadi sarana eksperimental bagi para hobiis, tetapi juga merupakan alat pendidikan yang vital dalam memahami prinsip dasar teknologi komunikasi modern.

C. Stasiun Bumi

Stasiun bumi berperan dalam melakukan komunikasi dengan satelit, baik satelit orbit rendah ataupun orbit jauh. Stasiun bumi konvensional yang ada saat ini memiliki ukuran yang cukup besar dan biaya pembuatan yang tinggi. Seperti yang terlihat pada stasiun bumi dari PT Telkom Satelit Indonesia.



GAMBAR 4
STASIUN BUMI PT TELKOM SATELIT INDONESIA

Stasiun bumi konvensional biasanya digunakan untuk berkomunikasi dengan satelit yang jauh mengorbit pada Orbit geostasioner, yang juga dikenal sebagai orbit ekuatorial geosinkron, adalah orbit melingkar yang terletak sekitar 35.786 kilometer (22.236 mil) di atas khatulistiwa Bumi. Di orbit ini, satelit tetap terjaga di atas titik tertentu di permukaan Bumi, sehingga sangat berguna untuk sistem komunikasi dan pertahanan.

Stasiun bumi satelit LEO (Low Earth Orbit) merupakan fasilitas yang berfungsi untuk mengendalikan, memantau, dan berkomunikasi dengan satelit yang mengorbit di ketinggian rendah, biasanya antara 160 hingga 2.000 kilometer di atas permukaan Bumi. Ketinggian ini memungkinkan satelit LEO memiliki waktu orbit yang cepat, biasanya satu putaran penuh di sekitar Bumi hanya memakan waktu sekitar 90 hingga 120 menit. Oleh karena itu, stasiun bumi harus memiliki kemampuan untuk melacak dan berkomunikasi dengan satelit secara berkelanjutan, mengingat jalur orbit yang bergerak cepat.

Infrastruktur stasiun bumi terdiri dari antena besar, sistem pemrosesan data, serta perangkat lunak kontrol yang canggih untuk memastikan komunikasi yang efektif antara satelit dan pusat pengendalian. Selain itu, stasiun ini juga bertanggung jawab untuk menerima data yang dikirimkan dari satelit, seperti informasi cuaca, gambar bumi, dan berbagai data ilmiah lainnya yang dapat dimanfaatkan untuk penelitian dan aplikasi komersial. Pemahaman tentang peran dan fungsi stasiun bumi dalam mendukung operasi satelit LEO sangat penting, terutama terkait dengan pengembangan teknologi komunikasi, pengamatan bumi, serta aplikasi dalam bidang telekomunikasi dan navigasi. Dengan meningkatnya jumlah satelit LEO yang diluncurkan, baik untuk tujuan komersial maupun penelitian, keberadaan stasiun bumi menjadi semakin vital dalam menjamin keberlangsungan operasi satelit dan optimalisasi penggunaan data yang dihasilkan.

D. Satnogs

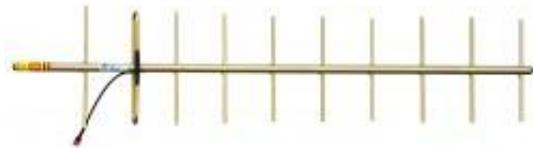
SatNOGS, atau Satellite Networked Open Ground Station, adalah sebuah inisiatif yang bertujuan untuk membangun jaringan stasiun bumi terbuka yang dapat digunakan untuk komunikasi dengan satelit kecil. Konsep ini berasal dari kebutuhan untuk mendemokratisasikan akses terhadap data satelit dan mempermudah kolaborasi di antara pengguna, peneliti, dan pengembang teknologi satelit. SatNOGS menyediakan infrastruktur perangkat keras dan perangkat lunak yang memungkinkan siapa saja, terutama di kalangan akademisi dan komunitas penggiat luar angkasa, untuk mengoperasikan stasiun bumi mereka sendiri.

Jaringan ini terdiri dari berbagai stasiun yang tersebar di seluruh dunia, yang masing-masing dilengkapi dengan antena dan perangkat penerima yang mampu menangkap sinyal dari satelit. Data yang diterima dapat diakses oleh pengguna melalui platform online yang terintegrasi, yang memungkinkan analisis dan penelitian lebih lanjut.

Selain itu, SatNOGS juga berfungsi sebagai repositori data yang menyimpan informasi yang diperoleh dari berbagai satelit, sehingga memfasilitasi penelitian ilmiah dan aplikasi praktis di bidang pemantauan lingkungan, komunikasi, dan pengembangan teknologi satelit. Dengan adanya jaringan ini, SatNOGS tidak hanya menawarkan solusi untuk komunikasi satelit, tetapi juga membangun komunitas global yang saling bertukar pengetahuan dan pengalaman dalam teknologi luar angkasa.

E. Antena Yagi

Antena Yagi, yang dikembangkan oleh Hidetsugu Yagi pada tahun 1926, merupakan salah satu jenis antena yang populer dalam aplikasi komunikasi radio. Antena ini dikenal dengan kemampuannya yang tinggi dalam meningkatkan gain dan directivitas dibandingkan dengan antena jenis lainnya. Antena Yagi terdiri dari beberapa elemen, yang mencakup elemen rakitan, reflektor, dan direktur. Untuk pemahaman lebih mendalam, dalam kajian ini akan dibahas tentang antena Yagi dengan konfigurasi 10 elemen.



GAMBAR 5
ANTENA YAGI 10 ELEMEN

Antena Yagi 10 elemen terdiri dari satu reflektor, delapan direktur, dan satu elemen rakitan. Konfigurasi ini dirancang untuk menghasilkan pola radiasi yang lebih terfokus, yang memungkinkan penerimaan dan pengiriman sinyal radio yang lebih efektif. Dengan jumlah elemen yang lebih banyak, antena Yagi ini menawarkan peningkatan gain, yang dapat mencapai 15 dB atau lebih, tergantung pada desain dan frekuensi operasinya. Keuntungan ini membuat antena Yagi 10 elemen sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan jangkauan jauh dan kualitas sinyal yang tinggi, seperti dalam komunikasi TV, radio, dan sistem komunikasi data.

Penggunaan antena Yagi 10 elemen juga memberikan keuntungan dalam hal penghindaran interferensi, berkat sifatnya yang directional. Dengan demikian, antena ini dapat diarahkan langsung ke sumber sinyal yang diinginkan sambil mengurangi penerimaan sinyal dari arah lain yang tidak diinginkan. Selain itu, desain antena yang relatif sederhana dan mudah untuk diinstalasi menjadikannya pilihan yang menarik bagi para pengguna, baik di sektor profesional maupun amatir.

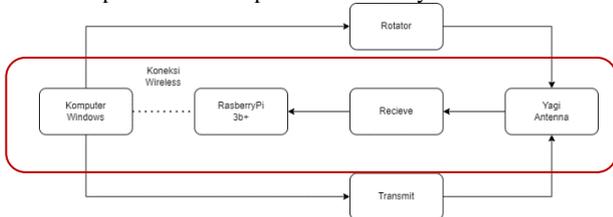
Performa antena Yagi 10 elemen sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti panjang elemen, jarak antar elemen, dan frekuensi operasi. Penyesuaian elemen-elemen ini harus

dilakukan dengan cermat untuk mencapai hubungan yang optimal antara impedansi antena dan perangkat penerima/transmitter yang digunakan. Dengan demikian, pemahaman mendalam tentang karakteristik antena Yagi 10 elemen menjadi esensial bagi para peneliti dan praktisi yang ingin memanfaatkan teknologi antena ini dalam berbagai aplikasi komunikasi modern.

Antena Yagi menjadi salah satu solusi efektif dalam dunia komunikasi, menawarkan kombinasi antara efisiensi, jangkauan, dan build quality yang kaya, serta memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi komunikasi yang lebih baik.

III. METODE

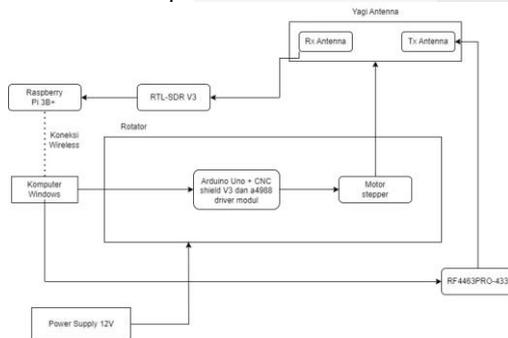
Rancangan penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mengembangkan penerimaan sinyal dari stasiun bumi untuk satelit orbit rendah dengan memanfaatkan teknologi Software Defined Radio (SDR). Prosedur penelitian akan dimulai dengan tahap analisis literatur yang mendalam mengenai konsep dasar SDR, karakteristik sinyal satelit, dan kebutuhan spesifik dalam penerimaan sinyal tersebut.



GAMBAR 6

RANCANGAN SISTEM PENERIMAAN SINYAL STASIUN BUMI

Selanjutnya, tahapan perancangan sistem akan dilakukan, di mana peneliti akan menentukan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan. Untuk waktu penelitian, diperkirakan bahwa keseluruhan proses akan berjalan selama enam bulan, dimulai dari bulan pertama dengan studi literatur hingga bulan keenam dengan evaluasi dan analisis hasil penerimaan sinyal. Sumber data akan mencakup data primer yang diperoleh melalui eksperimen langsung di lapangan serta data sekunder yang diperoleh dari artikel, jurnal, dan dokumen teknis terkait. Dalam cara perolehan data, peneliti akan menggunakan perangkat SDR yang dirancang khusus untuk menangkap frekuensi sinyal dari satelit serta perangkat lunak analisis sinyal yang dapat memproses dan menampilkan data secara real-time.



GAMBAR 7

FLOWCHART SISTEM KERJA STASIUN BUMI

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, di mana peneliti akan melakukan pengujian penerimaan sinyal pada berbagai kondisi

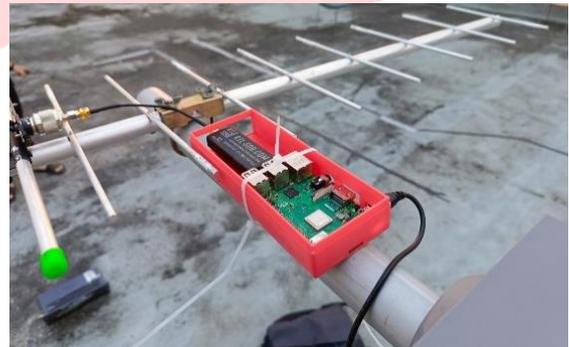
lingkungan dan parameter teknis. Evaluasi diterapkan untuk melihat apakah ada sinyal yang diterima dengan melihat pada Satnogs Network, sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih baik tentang kinerja sistem SDR dalam lingkungan operasional yang nyata.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi paparan objektif peneliti terhadap hasil-hasil penelitian berupa penjelasan dan analisis terhadap penelitian ini. Mencakup bagaimana proses penggabungan serta hasil dari rancangan stasiun bumi.

A. Hasil Integrasi Perangkat Penerimaan Sinyal

Setiap perangkat keras yang direncanakan akan integrasi menjadi bagian dari stasiun bumi seperti yang dapat dilihat dari gambar.



GAMBAR 8

INTEGRASI SISTEM PENERIMAAN SINYAL

Perangkat keras ini terdiri dari antena yagi 10 elemen, RTL-SDR V3, dan Raspberry Pi 3B+ sebagai mikrokomputer. Perangkat ini akan beroperasi menerima data satelit orbit rendah yang akan terhubung langsung dengan Satnogs Network.

B. Pengambilan Data Satelit Orbit Rendah

Setelah data diterima, mikrokomputer akan mengirim data yang diterima secara online ke Satnogs Network dan akan terlihat seperti gambar 8 dan gambar 9.

ID	Satellite	Frequency	Mode	Timeframe	Results	Observer	Station
0070109	AANUSAT-0	437.425 MHz	AFSK 1200	2024-07-10 08:58:34 2024-07-10 09:06:00	4/1	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
0130488	TECHSAT 1B	435.225 MHz	FSK 9600	2024-07-10 09:20:40 2024-07-10 08:31:48	4/1	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
0130488	SEEDS II	437.486 MHz	CW	2024-07-10 08:20:16 2024-07-10 08:28:10	4/1	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
0130487	CUTE 1.7 / APO II	437.275 MHz	CW	2024-07-10 08:11:51 2024-07-10 08:19:59	4/1	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
0130474	SITRO-AVS-11	401.115 MHz	CMSK 115P 2400	2024-07-10 07:47:38 2024-07-10 07:54:51	4/1	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station

GAMBAR 9

PENERIMAAN DATA SATELIT LEO 10 JULI 2024

ID	Satellite	Frequency	Mode	Timeframe	Results	Observer	Station
0070019	STRAND 1	437.568 MHz	FSK 9600	2024-07-16 10:26:39 2024-07-16 10:13:47	4/1	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
0070019	LILACSAT 2	437.225 MHz	GFSK 4800	2024-07-16 10:11:38 2024-07-16 10:14:51	4/1	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
0070051	CUTE-1	436.836 MHz	CW	2024-07-16 09:40:43 2024-07-16 09:44:43	4/1	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
0070019	LUSAT	437.125 MHz	CW 0	2024-07-16 09:29:15 2024-07-16 09:36:59	4/1	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
0070016	HCINSAT 10	435.275 MHz	FSK 9600	2024-07-16 09:24:07 2024-07-16 09:25:05	4/1	Nita Hanifah	1587 - Tel-U Ground Station
0070019	UNISAT-6	437.421 MHz	FSK 9600	2024-07-16 09:06:05 2024-07-16 09:14:26	4/1	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station

GAMBAR 10

PENERIMAAN DATA SATELIT LEO 16 JULI 2024

Dari data yang disajikan gambar 8 dan gambar 9 dapat dilihat jika sinyal satelit yang diterima berhasil diunggah oleh mikrokomputer ke Satnogs Network pada bagian results. Frekuensi yang diterima oleh stasiun bumi cukup beragam pada rentang UHF dengan total ada sebelas penerimaan sinyal satelit orbit rendah.

V. KESIMPULAN

Perancangan penerimaan sinyal stasiun bumi satelit orbit rendah berbasis software defined radio ini memberikan solusi alternatif yang lebih fleksibel dan efisien dalam melakukan observasi pada satelit orbit rendah. Dengan penggunaan SDR yang memiliki biaya yang lebih rendah stasiun bumi ini cocok dikembangkan pada lingkungan perguruan tinggi yang memiliki keterbatasan dalam pendanaan dan waktu. Kombinasi antara teknologi satelit nano dan Software Defined Radio dalam rancangan stasiun bumi menawarkan potensi yang luar biasa untuk meningkatkan kemampuan komunikasi di luar angkasa.

Dengan dukungan teori yang komprehensif, para peneliti dan insinyur dapat mengembangkan sistem yang lebih efisien, adaptif, dan aman. Oleh karena itu, kajian ini berperan penting dalam memfasilitasi pemahaman lebih dalam mengenai aspek-aspek teknis dan praktis dalam pengembangan stasiun bumi satelit nano, serta membuka jalan bagi inovasi-inovasi lebih lanjut di bidang komunikasi satelit.

Data yang diterima dari satelit orbit rendah dari stasiun bumi ini masih terbatas pada *waterfal* sinyal dan audio yang dikirimkan oleh satelit orbit rendah. Rancangan ini juga menjadi awal bagi Universitas Telkom untuk melangkah lebih jauh dalam bidang komunikasi satelit.

REFERENSI

- [1] E. Kulu, "Nanosats Database | Constellations, companies, technologies and more." Accessed: Jul. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.nanosats.eu/>
- [2] M. R. Maheshwarappa and C. P. Bridges, "Software defined radios for small satellites," in Proceedings of the 2014 NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems, AHS 2014, IEEE Computer Society, 2014, pp. 172–179. doi: 10.1109/AHS.2014.6880174.
- [3] "SatNOGS – Open Source global network of satellite ground-stations." Accessed: Jul. 30, 2024. [Online]. Available: <https://satnogs.org/>
- [4] S. Amoud, A. O. Said, E. B. Zantou, and N. Hassainate, "A design and installation of a low-cost SDR-based VHF/UHF ground receiving station for satellites," in E3S Web of Conferences, EDP Sciences, May 2022. doi: 10.1051/e3sconf/202235101061.
- [5] A. Kriezis et al., "[SSC23-P3-19] UHF Ground Station for Satellite Communications: The Design, Build, Test, and Lessons Learned."
- [6] "SatNOGS," Libre Space Foundation. Accessed: Nov. 26, 2023. [Online]. Available: <https://satnogs.org/>
- [7] U. Ukommi, E. Ubom, and I. Ikpaya, "Ground Station Design for Satellite and Space Technology Development," American Journal of Engineering Research (AJER), vol. 10, no. 8, pp. 12–19, 2021, [Online]. Available: www.ajer.org
- [8] J. Das, R. S. Muppuna, M. Parusha, and M. Vineeth, "Ground Station with VHF and UHF Band Antenna to Track Satellites and Testing with High Altitude Balloon(HAB) Experiment," in INDICON 2022 - 2022 IEEE 19th India Council International Conference, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/INDICON56171.2022.10040115.
- [9] T. Choi, T. H. Stevenson, and E. G. Lightsey, "Reference ground station design for university satellite missions with varying communication requirements," in AIAA SciTech Forum - 55th AIAA Aerospace Sciences Meeting, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., 2017. doi: 10.2514/6.2017-1334.
- [10] A. Kriezis et al., "[SSC23-P3-19] UHF Ground Station for Satellite Communications: The Design, Build, Test, and Lessons Learned."