

Rancang Bangun Stasiun Bumi Satelit Orbit Rendah Berbasis Radio Terdefinisi Perangkat Lunak pada 437 MHz

Nita Hanifah*, Fadhlul Ariqi, Khairan Rafi Sukma Pratama, Bambang Setia Nugroho, Edwar

Fakultas Teknik Elektro, Telkom University, Bandung

*Koresponden email: nitahanifah1301@gmail.com

Diterima: 24 September 2024

Disetujui: 4 Oktober 2024

Abstract

The aim of this research is to design and build a Software Defined Radio (SDR) based ground station for communication with low earth orbit (LEO) satellites at 437 MHz. This ground station is designed to overcome the challenges of high cost and hardware complexity in conventional satellite communications. Methods used include system development using two Yagi antennas as transmitters and receivers, and the use of Raspberry Pi and RTL-SDR for signal processing. Tests were conducted at Telkom University, Bandung, with results demonstrating the ground station's ability to effectively track and receive signals from multiple LEO satellites. The test results show that the system can operate well in the UHF frequency range, with stable signal reception despite some minor interference. The study concludes that the use of SDR can increase the flexibility and efficiency of satellite communications, and provides recommendations for further hardware and software improvements to improve satellite tracking accuracy.

Keywords: *ground station, SDR, satellite communication, UHF, low orbit satellite*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun stasiun bumi berbasis Software Defined Radio (SDR) untuk komunikasi dengan satelit di orbit rendah (LEO) pada frekuensi 437 MHz. Stasiun bumi ini dirancang untuk mengatasi tantangan biaya dan kompleksitas perangkat keras yang tinggi dalam komunikasi satelit konvensional. Metode yang digunakan meliputi pengembangan sistem dengan dua antena Yagi sebagai transmitter dan receiver, serta pemanfaatan Raspberry Pi dan RTL-SDR untuk pengolahan sinyal. Pengujian dilakukan di Universitas Telkom, Bandung, dengan hasil yang menunjukkan kemampuan stasiun bumi dalam melacak dan menerima sinyal dari beberapa satelit LEO secara efektif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat beroperasi dengan baik dalam rentang frekuensi UHF, dengan penerimaan sinyal yang stabil meskipun terdapat beberapa gangguan minor. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan SDR dapat meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi dalam komunikasi satelit, serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan lebih lanjut pada perangkat keras dan software untuk meningkatkan akurasi pelacakan satelit.

Kata Kunci: *stasiun bumi, SDR, komunikasi satelit, UHF, satelit orbit rendah*

1. Pendahuluan

Satelit di orbit rendah (LEO) memiliki peranan penting dalam berbagai aplikasi komunikasi, pemantauan bencana, dan pemantauan bumi [1]. Sebelum meluncurkan satelit ke orbit, perlu untuk menyiapkan stasiun bumi yang dapat beroperasi sebagai media komunikasi dengan satelit. Stasiun bumi ini memiliki peran penting yakni untuk mengirim dan menerima sinyal serta data dari satelit [2]. Satelit orbit rendah biasa beroperasi pada frekuensi UHF atau S-band sehingga stasiun bumi yang dibuat juga harus dapat beroperasi dengan frekuensi tersebut [3][4][5]. Tantangan utama dalam komunikasi satelit pada frekuensi ini adalah kebutuhan perangkat keras yang mahal dan perancangannya yang kompleks [6]. Maka dari itu, stasiun bumi yang dirancang akan berbasis SDR pada frekuensi 437 MHz yang merupakan bagian dari UHF.

Teknologi SDR memungkinkan perangkat komunikasi untuk diprogram secara dinamis sehingga mengurangi kebutuhan perangkat keras spesifik untuk frekuensi tertentu [7]. Fleksibilitas SDR memungkinkan pengguna untuk beradaptasi dengan berbagai jenis sinyal, frekuensi, dan protokol yang digunakan dalam komunikasi satelit. Berbagai platform SDR seperti RTL-SDR dan USRP telah terbukti memiliki kemampuan yang memadai untuk komunikasi satelit [8]. RTL-SDR adalah platform SDR dengan biaya rendah yang biasa digunakan oleh amatir radio sedangkan USRP adalah platform SDR yang lebih canggih dan sering digunakan dalam perancangan purwarupa dan perancangan sistem yang kompleks

[9][10]. Sebelum ini terdapat penelitian yang telah menunjukkan bahwa SDR dapat digunakan secara efektif dalam komunikasi satelit [11].

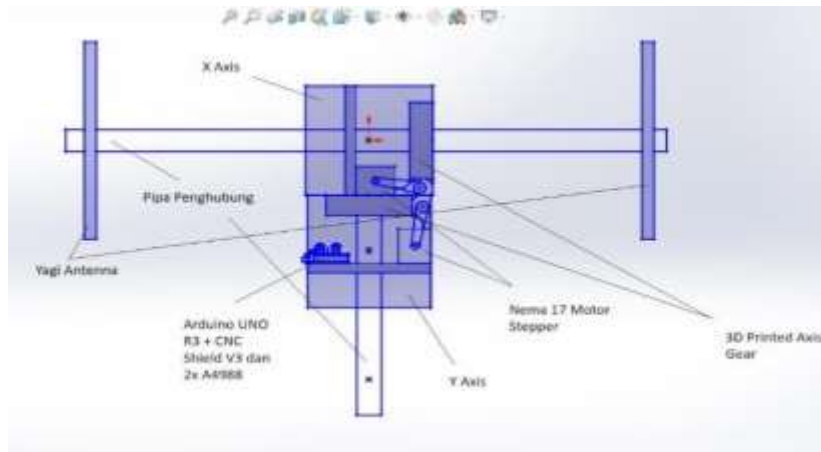


Gambar 1. RTL-SDR

Pada penelitian kali ini model SDR yang digunakan adalah RTL-SDR seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. RTL-SDR merupakan sebuah platform SDR yang memiliki biaya yang terjangkau dan multifungsi [9]. Berdasarkan hal-hal yang telah dijelaskan, stasiun bumi yang dirancang haruslah dapat berfungsi dalam rentang frekuensi UHF, dapat mengolah data dari satelit dan dapat melakukan *tracking* satelit orbit rendah secara manual maupun otomatis.

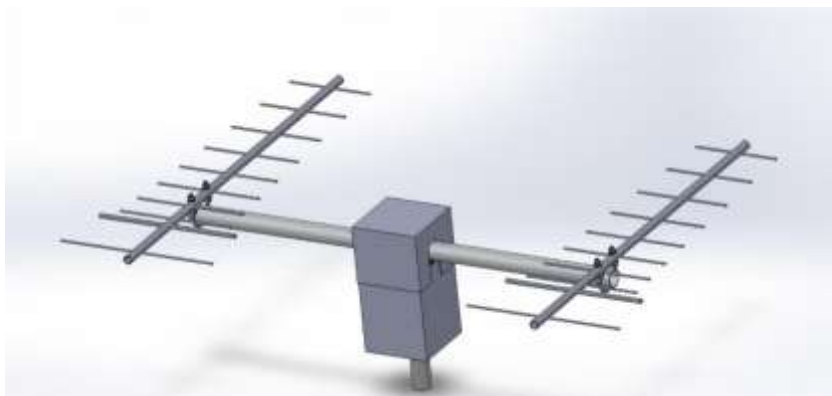
2. Metode Penelitian

a. Desain Sistem



Gambar 2. Sketsa Stasiun Bumi

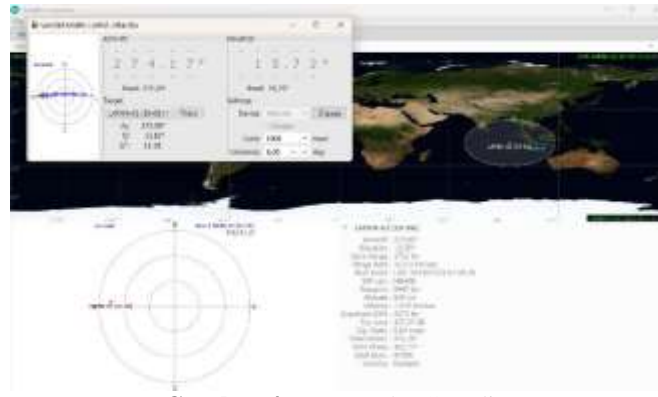
Gambar 2 menunjukkan bahwa stasiun bumi yang dirancang akan memiliki dua buah antena Yagi yang berfungsi sebagai *transmitter* dan *receiver* sinyal dari dan ke satelit, *motor stepper* sebagai penggerak untuk mengendalikan azimut dan elevasi sistem, Arduino UNO R3 sebagai mikrokontroler untuk mengendalikan *motor stepper*, dan beberapa bagian lainnya yang dapat dilihat pada **Gambar 3** [12][13].



Gambar 3. Rancangan 3D Stasiun Bumi

b. *Tracking*

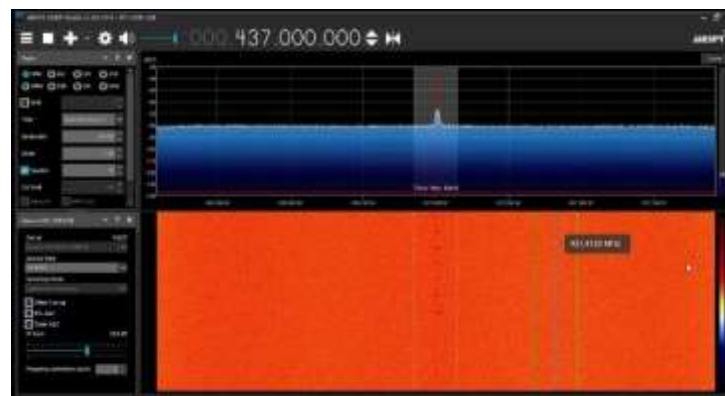
Tracking pada stasiun bumi ini bekerja dengan bantuan perangkat lunak Gpredict seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 4**. Gpredict merupakan sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan oleh pengguna untuk memprediksi orbit dan melacak satelit secara *real-time* dan menampilkan hasilnya dalam daftar, tabel, peta, dan diagram kutub [14]. Melalui perangkat lunak ini pengguna dapat memberikan perintah secara manual untuk menggerakkan motor dengan menentukan nilai derajat yang tertera pada antarmuka atau secara otomatis dengan menunjuk satelit yang sedang mengorbit. Untuk dapat melakukan *tracking*, haruslah dilakukan penjadwalan dengan *Scheduling Satellite Observation* untuk mendapatkan *catalog number* dari satelit yang akan di-*tracking*.



Gambar 4. Antarmuka Gpredict

c. *Receiving Signal*

Sinyal yang dikirimkan ke stasiun bumi ini akan diterima oleh antena Yagi. Sinyal tersebut ditangkap oleh RTL-SDR pada frekuensi 437 Mhz. Pada proses ini ketika RTL-SDR menangkap sinyal pada frekuensi yang telah ditentukan akan ditunjukkan oleh kenaikan gelombang sinyal pada garis frekuensi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5**. Dalam proses pengiriman sinyal, stasiun bumi ini menggunakan modul RF4463 Pro dengan bantuan perangkat lunak Arduino IDE.



Gambar 5. Simulasi Penangkapan Sinyal

d. *Pengolahan Data*

Pengolahan data dalam sistem ini dilakukan oleh Raspberry Pi dengan perangkat lunak SDR yang nantinya akan melakukan pemrosesan sinyal digital. Raspberry Pi ini dapat mengendalikan perangkat keras RTL-SDR termasuk pengaturan frekuensi, *bandwidth*, dan parameter lainnya yang diperlukan. Hal ini dapat dilakukan dengan memasang sistem operasi sesuai SatNOGS dan menghubungkan Raspberry Pi ke internet dan mengintegrasikan Raspberry Pi dengan jaringan SatNOGS [15].

Setelah sistem berhasil dirangkai, pengujian akan dilakukan untuk melihat hasil kinerja dari sistem yang telah dibuat. Pengujian tersebut akan disesuaikan dengan spesifikasi yang sebelumnya telah disebutkan yakni *tracking*, penerimaan sinyal, dan pengolahan data.

3. Hasil dan Pembahasan

a. Tracking

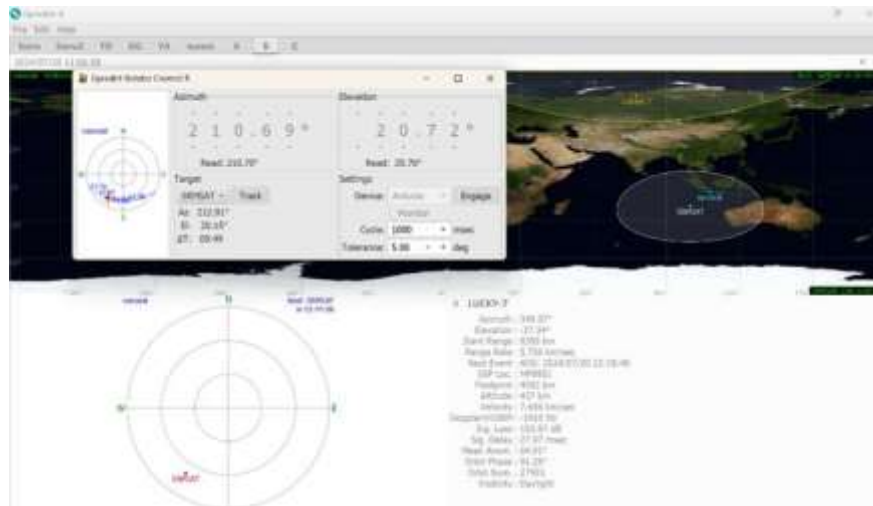
Pengujian stasiun bumi ini dilakukan pada lantai 4, gedung P, Universitas Telkom, Bandung dengan koordinat garis lintang 6.9755 dan bujur 107.6294 dengan elevasi 665 mdpl. Untuk melakukan pengujian ini, data tersebut dimasukkan ke *software* Gpredict sehingga *software* tersebut dapat mengetahui lokasi dari stasiun bumi ketika melakukan *tracking*.

Tracking dilakukan dengan memasukkan lima *catalog number* dengan nama satelit masing-masing adalah SRMSAT (37841), UNISAT-6 (40012), AO-7 (7530), LAPAN A3 (41603), dan DMSP 5D-3 F17 (29522). Hasil yang diperoleh dari *tracking* lima satelit tersebut seperti yang dijelaskan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Satelit yang Berhasil di-Tracking

Nama Satelit	Catalog Number	Loss of Signal (menit)	Coordinated Universal Time	Waktu Indonesia Barat
SRMSAT	37841	09.50	11:01-11:10	18:01-18:10
UNISAT-6	40012	10.02	10:15-10:25	17:15-17:25
AO-7	7530	06.12	08:29-08:35	15:29-15:35
LAPAN A3	41603	07.26	11:11-11:18	18:11-18:18
DMSP 5D-3 F17	29522	10.13	11:19-11:29	18:19-18:29

Pengujian ini menunjukkan bahwa *software* Gpredict dapat mengetahui lokasi dan posisi stasiun bumi dioperasikan. Selain itu stasiun bumi ini juga dapat mendeteksi dan mengikuti satelit orbit rendah yang sedang diobservasi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6**. Gambar tersebut menunjukkan hasil *tracking* dari satelit SRMSAT dengan menunjukkan azimut dan elevasinya.



Gambar 6. Gpredict Melakukan *Tracking* pada Satelit SRMSAT

b. Penerimaan Sinyal

Pengujian ini dilakukan untuk memverifikasi kinerja stasiun bumi pada rentang frekuensi UHF sehingga dapat menerima data dari satelit orbit rendah yang lewat. Data diambil dari sepuluh satelit orbit rendah yang berbeda pada dua hari menyesuaikan waktu UTC. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**.

SRMSAT	AALISAT-II	437.425 MHz	AFSK 1200	2024-07-10 08:58:34 2024-07-10 09:06:00	40	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
SRMSAT	TECHSAT 1B	435.225 MHz	FSK 9600	2024-07-10 08:28:40 2024-07-10 08:31:48	40	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
SRMSAT	SEEDS II	437.186 MHz	CW	2024-07-10 08:20:16 2024-07-10 08:28:10	40	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
SRMSAT	CUTE-1.7+APD II	437.275 MHz	CW	2024-07-10 08:11:51 2024-07-10 08:19:59	40	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
SRMSAT	STRD-AIS-31	401.115 MHz	GMSK USP 2400	2024-07-10 07:47:38 2024-07-10 07:54:51	40	Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station

Gambar 7. Penerimaan Data Satelit 10 Juli 2024

ID	Satellite	Frequency	Mode	Timeframe	Results	Observer	Station
WCTN012	ULACSAT 2	437.225 MHz	GFSK 4800	2024-07-16 10:11:38 2024-07-16 10:14:51		Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
WCTN011	CUTE-1	436.836 MHz	CW	2024-07-16 09:40:43 2024-07-16 09:44:43		Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
WCTN010	LUSAT	437.125 MHz	CW 0	2024-07-16 09:29:35 2024-07-16 09:36:59		Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
WCTN004	TECHSAT 1B	435.225 MHz	FSK 9600	2024-07-16 09:24:05 2024-07-16 09:29:05		Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station
WCTN002	UNISAT-6	437.421 MHz	FSK 9600	2024-07-16 09:06:05 2024-07-16 09:14:26		Nita Hanifah	3587 - Tel-U Ground Station

Gambar 8. Penerimaan Data Satelit 16 Juli 2024

Berdasarkan kedua Gambar 8 tersebut, dapat dilihat bahwa stasiun bumi dapat menerima data dari total sepuluh satelit pada frekuensi UHF dengan rentang 401.115 MHz sampai 437.486 MHz. Data yang telah diterima ini dapat dilihat pada jaringan SatNOGS. Data yang diterima ini berupa *waterfall signal* dan audio dari satelit yang pada setiap satelitnya berbeda sesuai dengan identifikasi tiap satelitnya.

c. Pengolahan Data

Gambar 9 menunjukkan RTL-SDR dengan perintah `rtl_test -p` yang telah terhubung ke Raspberry Pi ini mengukur pergeseran frekuensi ppm setiap 10 detik, mencatat laju sampel nyata serta pergeseran frekuensi saat ini dan kumulatif. Hasilnya menunjukkan variasi nilai pergeseran frekuensi yang menilai performa dan stabilitas perangkat, memastikan akurasi frekuensi yang diperlukan untuk penerimaan sinyal radio.

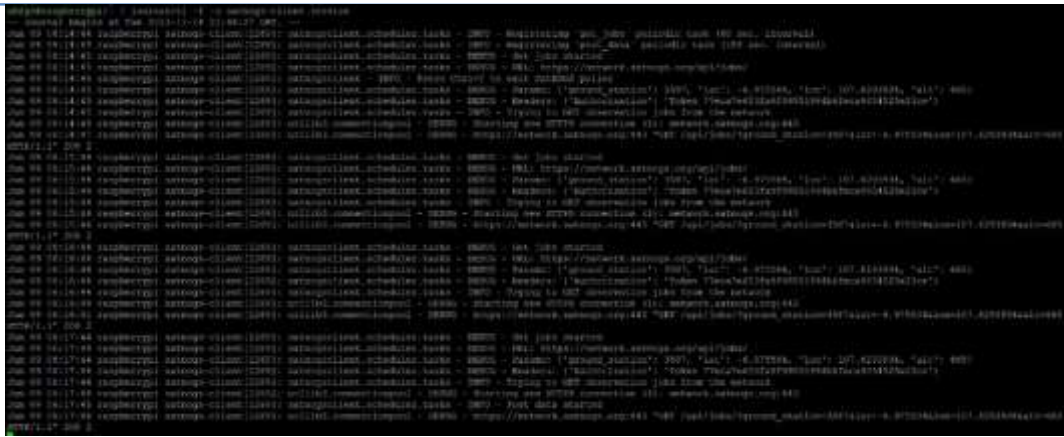
```

rtl_test:rtl_test: ~ 100_ppm @
rtlsdr 1: rtl_test(1)
  ~ 100_ppm, rtl_test(1), 00:00:00
Using device 0: rtl_test(1)
Using device 0: rtl_test(1)
Supported gain values (dB): 0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100
RTLSDR PLL not locked!
Sampling at 2000000 Hz.
Reporting FSK signal measurements every 10 seconds...
Press 'q' after a few minutes.
Reading samples in binary mode...
Allocating 15 zero-copy buffers
Start at block 00 bytes
real sample rate: 2046720 current FPM: -634 cumulative FPM: -616
real sample rate: 2046720 current FPM: 113 cumulative FPM: 144
real sample rate: 2046720 current FPM: -634 cumulative FPM: -223
real sample rate: 2046720 current FPM: 270 cumulative FPM: 29
real sample rate: 2046720 current FPM: -133 cumulative FPM: 9
real sample rate: 2046720 current FPM: 27 cumulative FPM: 21
real sample rate: 2046720 current FPM: 27 cumulative FPM: 21
real sample rate: 2046720 current FPM: -143 cumulative FPM: -9
real sample rate: 2046720 current FPM: 143 cumulative FPM: 27
real sample rate: 2046720 current FPM: 27 cumulative FPM: 18
real sample rate: 2046720 current FPM: -278 cumulative FPM: -6

```

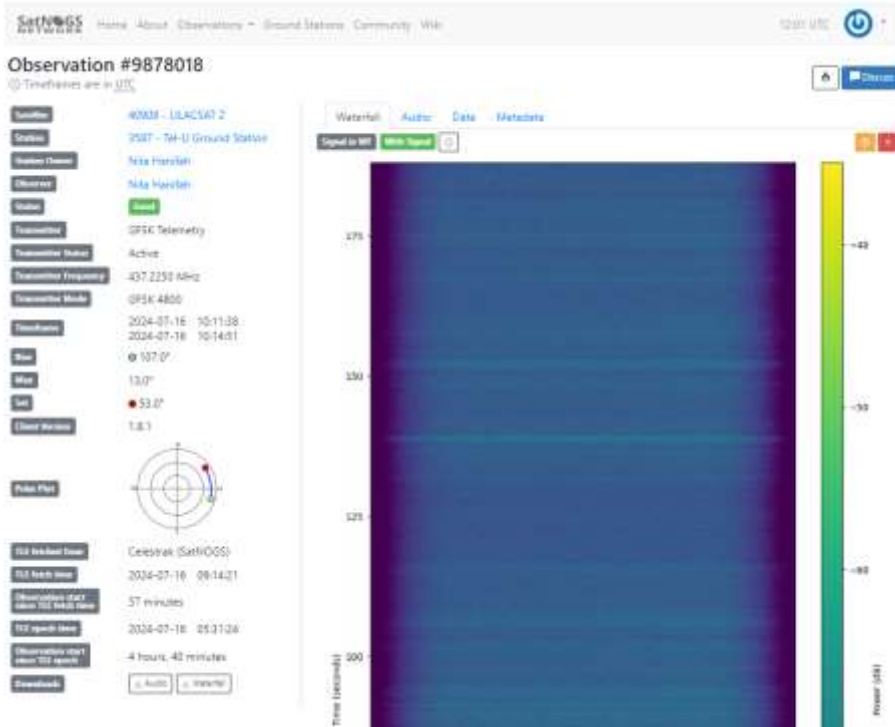
Gambar 9. Pengujian Fungsi RTL-SDR

Error! Reference source not found. menunjukkan *log* dari proses *tracking* pada Raspberry Pi menggunakan layanan *satnogs-client.service*. Sistem ini memantau tugas penjadwalan *schedule tasks* yang berulang setiap 60 detik dan terhubung ke jaringan SatNOGS sebuah jaringan *open-source* untuk pengamatan satelit. Beberapa pesan *log* menunjukkan bahwa Raspberry Pi terhubung dengan server SatNOGS untuk mendapatkan data tugas baru, seperti mengunduh informasi dari URL tertentu untuk menjalankan pelacakan *ground station tracking*. Terdapat beberapa percobaan dalam mendapatkan tugas baru dari jaringan, yang berhasil setelah beberapa kali koneksi ulang. Komputasi ini penting dalam memastikan bahwa stasiun bumi yang berbasis Raspberry Pi terus mengikuti pergerakan satelit sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.



Gambar 10. Komputasi pada Raspberry Pi dalam Proses Tracking

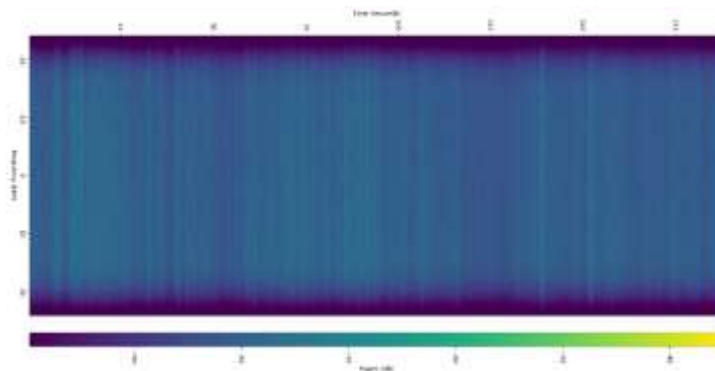
Berdasarkan dua gambar di atas (9-10), pengujian menggunakan RTL-SDR yang terhubung ke Raspberry Pi berhasil menunjukkan performa dan stabilitas frekuensi perangkat melalui pengukuran pergeseran frekuensi secara berkala, yang penting untuk memastikan akurasi dalam penerimaan sinyal radio. Selain itu, proses *tracking* menggunakan layanan *satnogs-client.service* pada Raspberry Pi menunjukkan kemampuan sistem untuk terus memantau dan menjalankan tugas penjadwalan dari jaringan SatNOGS, memastikan bahwa stasiun bumi berbasis Raspberry Pi dapat melakukan pelacakan satelit secara konsisten meskipun terdapat beberapa kendala dalam koneksi. Kombinasi pengujian ini menegaskan keandalan perangkat dan sistem dalam mendukung operasi pelacakan sinyal satelit secara efisien.



Gambar 11. Hasil Pengujian pada Satelit Lilac

Berdasarkan Gambar 11 merupakan hasil observasi #9878018 dari jaringan SatNOGS yang dilakukan oleh stasiun bumi Tel-U Ground Station, dengan pengamat Nita Hanifah. Observasi ini mencatat penerimaan sinyal dari satelit LILACSAT 2 dengan frekuensi 437.2250 MHz, menggunakan modulasi GFSK untuk telemetri. Gambar spektrum *waterfall* menunjukkan kekuatan sinyal yang diterima selama periode pengamatan dengan intensitas warna yakni kuning yang mewakili sinyal yang lebih kuat. Informasi tambahan seperti azimut, elevasi, serta posisi satelit juga disertakan, membantu analisis jalur lintasan satelit.

Observasi berlangsung selama sekitar empat menit, dengan sinyal yang diterima tergolong baik, menunjukkan bahwa stasiun bumi berhasil melakukan pelacakan satelit dengan akurat.



Gambar 12. Data *Waterfall* Satelit Lilacsat

Pada **Gambar 12** spektrogram yang diberikan menunjukkan distribusi frekuensi sebuah sinyal selama rentang waktu sekitar 180 detik. Sumbu horizontal menampilkan frekuensi dari -25 kHz hingga +25 kHz, sementara sumbu vertikal menampilkan waktu dalam detik. Warna dalam spektrum pada **Gambar 12** menggambarkan tingkat daya dengan area berwarna ungu gelap menunjukkan daya yang sangat rendah sekitar -90 dB, dan area berwarna kuning menunjukkan daya yang lebih tinggi hingga -40 dB. Spektrogram ini memperlihatkan adanya garis horizontal yang konsisten pada beberapa frekuensi, yang menandakan keberadaan sinyal berfrekuensi tetap selama periode waktu yang diamati. Secara keseluruhan, distribusi daya sinyal terlihat relatif konsisten sepanjang durasi waktu tersebut, tanpa adanya perubahan besar atau gangguan signifikan.

4. Kesimpulan

Pengujian stasiun bumi UHF yang dilakukan di Universitas Telkom menunjukkan hasil yang memuaskan. Perangkat berhasil melacak dan menerima sinyal dari satelit orbit rendah (LEO) dengan menggunakan *software* Gpredict dan SatNOGS sebagai basis data pelacakan. Selama pengujian, stasiun bumi ini mampu menerima data satelit pada frekuensi UHF dengan sinyal yang cukup stabil dan konsisten. Salah satu kelebihan perangkat ini adalah penggunaan mikrokomputer Raspberry Pi 3B+ yang mampu melakukan pemrosesan data satelit secara efektif. Meskipun demikian, masih ada tantangan berupa gangguan sinyal minor seperti fluktuasi dan interferensi dari lingkungan sekitar yang perlu diperhatikan agar kualitas penerimaan data tetap optimal.

Untuk penelitian selanjutnya, ada beberapa saran perbaikan yang dapat dilakukan. Pertama, kualitas perangkat keras perlu ditingkatkan untuk meminimalkan interferensi sinyal, terutama pada komponen antena dan *receiver*. Kedua, optimasi lokasi stasiun bumi juga sangat penting guna mengurangi hambatan fisik seperti bangunan atau pepohonan yang dapat mengganggu penerimaan sinyal. Selain itu, peningkatan *software* untuk memaksimalkan akurasi dalam pelacakan satelit juga dapat menjadi salah satu fokus penelitian lanjutan. Dengan pengembangan ini, diharapkan stasiun bumi UHF dapat lebih andal dalam mendukung misi penerimaan data satelit yang lebih kompleks di masa depan.

5. Singkatan

UHF	Ultra High Frequency
Khz	Kilohertz
dB	Desibel
Mhz	Megahertz
SDR	Software Defined Radio
SatNOGS	Satellite Networked Open Ground Station
RTL-SDR	<i>RTL2832U Software Defined Radio</i>
V	Volt
CubeSat	Cube Satellite
LEO	Low Earth Orbit
mdpl	Meter di atas permukaan laut

6. Referensi

- [1] L. S. Haloho and A. A. Supriyadi, "Utilization of Satellite Technology in Communication Systems, Disaster Monitoring, Border Surveillance, and Military Intelligence: a Literature Review," *Remote Sensing Technology in Defense and Environment*, vol. 1, no. 1, pp. 36–44, Feb. 2024, doi: 10.61511/rstde.v1i1.2024.842.
- [2] A. Kriezis *et al.*, "UHF Ground Station for Satellite Communications: The Design, Build, Test, and Lessons Learned," in *Small Satellite Conference*, Logan, 2023, pp. 1–10. Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2023/all2023/267/>
- [3] M. Suwarjo, "Rancangan Awal Sistem Komunikasi Satelit Image Processing LAPAN-TUBSAT." Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: https://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_tekgan/article/download/782/694
- [4] F. Khaznasari, J. Suryana, and S. Tinggi, "Design and Implementation of Ground Model Nano-Satellite with S-Band Frequency Communication Subsystem," *Jurnal Teknologi Dirgantara*, vol. 15, no. 1, pp. 59–70, Jun. 2017, Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/323311576_Desain_Dan_Implementasi_Ground_Model_Satelit_Nano_Dengan_Subsistem_Komunikasi_Pada_Frekuensi_S-Band_Design_And_Implementation_Of_Ground_Model_Nano-Satellite_With_S-Band_Frequency_Communication_Subsys
- [5] A. Rahman and A. Nuryanto, "Analisis Sistem Dinamika Terbang (Flight Dynamic) Satelit LAPAN TUBSAT," *Jurnal Teknologi Dirgantara*, vol. 6, no. 1, pp. 25–60, Jun. 2008, Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: https://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_tekgan/article/view/59/57
- [6] Nesr, "Stasiun Bumi," Laboratorium Satelit Nano Universitas Telkom. Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://nesr.labs.telkomuniversity.ac.id/stasiun-bumi/>
- [7] P. Goyal and S. K. Agrawal, "A Review On Software Defined Radio (SDR) In Communication," *International Journal of Creative Research Thoughts*, vol. 12, no. 6, pp. 2320–2882, Jun. 2024, [Online]. Available: www.ijcrt.org
- [8] E. Marpanaji, B. Riyanto, A. Z. R. Langi, A. Kurniawan, and A. Mahendra, "Arsitektur Software-Defined Radio (SDR)," in *Seminar Nasional Ilmu Komputer dan Aplikasinya-SNIKA*, Nov. 2006. Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: https://www.academia.edu/99844135/Arsitektur_Software_Defined_Radio_SDR_
- [9] "About RTL-SDR," RTL-SDR.COM. Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/>
- [10] "Partners," ETTUS Research. Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.ettus.com/partners/>
- [11] R. N. Irawan, "Implementasi Sistem Penerima dan Pengolah Sinyal APT Satelit NOAA untuk Memperoleh Informasi Suhu Permukaan Laut Berbasis Citra," Mataram, 2017. Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: https://eprints.unram.ac.id/7064/1/RESTU%20NOPIANDI%20I_F1B%20011072.pdf
- [12] S. Dase, A. Hiskia Putra, and N. Idrus, "Rancang Bangun Antena Satelit OSCAR," in *Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Ke pada Masyarakat*, Makassar, 2022, pp. 63–68.
- [13] DryRun, "How to Control Stepper Motor with Arduino UNO + CNC Shield V3 + A4988," Arduino Forum. Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <https://forum.arduino.cc/t/how-to-control-stepper-motor-with-arduino-uno-cnc-shield-v3-a4988/583779>
- [14] Damian A., "Prediksi, Lacak Satelit Secara Real Time dengan Aplikasi Ini," Uibunlog. Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <https://ibunlog.com/id/aplikasi-gpredict-melacak-satelit/>
- [15] "Raspberry Pi," SatNOGS Wiki. Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: https://wiki.satnogs.org/Raspberry_Pi