

Pengembangan Stasiun Bumi Frekuensi Ultra Tinggi Menggunakan Raspberry Pi 3b+

1st Nita Hanifah

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

nitahanifah@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Bambang Setia Nugroho

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id

3rd Edwar

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

edwarm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan stasiun bumi frekuensi ultra tinggi (UHF) dengan memanfaatkan Raspberry Pi 3B+ sebagai inti sistem pengkomputasian. Stasiun bumi ini dirancang untuk menerima dan mengirim sinyal pada rentang frekuensi UHF, yang umumnya digunakan untuk komunikasi satelit dan aplikasi radio amatir. Raspberry Pi 3B+ dipilih karena dimensinya yang kecil, biaya yang rendah, dan kemampuannya dalam menjalankan berbagai aplikasi perangkat lunak open-source. Prototipe stasiun bumi ini melibatkan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, termasuk modul Software Defined Radio (SDR) dan antena UHF yang dioptimalkan. Sistem ini dikonfigurasi untuk mengolah sinyal UHF, dengan kemampuan untuk mengakses, merekam, dan menganalisis data yang diterima dari satelit yang mengorbit rendah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa stasiun bumi berbasis Raspberry Pi 3B+ ini mampu menangkap sinyal dengan jelas dan stabil, serta menawarkan fleksibilitas dalam penyesuaian frekuensi dan pengolahan sinyal. Penelitian ini menunjukkan bahwa Raspberry Pi 3B+ adalah platform yang efektif dan ekonomis untuk pengembangan stasiun bumi UHF. Implementasi ini tidak hanya bermanfaat untuk aplikasi komunikasi satelit, tetapi juga dapat digunakan dalam proyek-proyek edukasi dan penelitian yang membutuhkan solusi stasiun bumi yang terjangkau.

Kata kunci: Stasiun Bumi, Raspberry Pi 3B+, Software Defined Radio (SDR), Pengolahan Sinyal

I. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi satelit kecil, seperti CubeSat, telah menjadi salah satu revolusi terbesar dalam eksplorasi luar angkasa modern. CubeSat, dengan ukuran standar yang biasanya 10x10x10 cm dan berat kurang dari 1,33 kilogram, memungkinkan akses yang lebih terjangkau dan fleksibel ke luar angkasa untuk berbagai tujuan, seperti pemantauan lingkungan, eksperimen ilmiah, dan komunikasi global[1]. Keberadaan satelit-satelit ini menuntut adanya stasiun bumi yang efektif dalam menjembatani komunikasi antara satelit dan sistem terestrial. Tradisionalnya, stasiun bumi memerlukan infrastruktur yang kompleks dan biaya yang tinggi untuk mengoperasikan peralatan pendukung seperti antena parabola dan sistem komunikasi berkecepatan tinggi[2].

Perkembangan terbaru dalam teknologi Software Defined Radio (SDR) dan platform komputasi miniatur, seperti Raspberry Pi 3B+, telah membuka peluang baru dalam pengembangan stasiun bumi yang lebih terjangkau dan mudah diimplementasikan. SDR, yang memungkinkan pengolahan sinyal menggunakan perangkat lunak yang dapat diubah-ubah, memberikan fleksibilitas yang besar dalam menangani berbagai frekuensi dan modulasi sinyal, cocok untuk aplikasi komunikasi satelit [3]. Di sisi lain, Raspberry Pi 3B+, dengan ukurannya yang kecil, biaya yang terjangkau, dan kemampuan untuk menjalankan berbagai aplikasi open-source, telah digunakan dalam berbagai proyek teknologi ruang angkasa untuk memfasilitasi operasi stasiun bumi yang efisien dan hemat biaya [4].

Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan teknologi SDR dengan Raspberry Pi 3B+ untuk mengembangkan stasiun bumi frekuensi ultra tinggi (UHF) yang efektif. Tujuan utama adalah merancang sebuah prototipe stasiun bumi yang mampu menerima dan mengirimkan sinyal dalam rentang frekuensi UHF, yang sering digunakan dalam komunikasi satelit dan radio amatir. Evaluasi prototipe ini akan difokuskan pada kinerja sinyal yang diterima, stabilitas operasi, serta kemampuan adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang berbeda.

II. KAJIAN TEORI

A. Pengembangan Teknologi Satelit Kecil (CubeSat)

CubeSat telah mengubah paradigma eksplorasi luar angkasa dengan memungkinkan penggunaan satelit-satelit berukuran kecil untuk berbagai aplikasi. Referensi umum untuk informasi lebih lanjut tentang CubeSat dapat ditemukan dalam literatur seperti "CubeSat"[1].

B. Peran Stasiun Bumi dalam Komunikasi Satelit

Stasiun bumi memegang peran krusial dalam menjembatani komunikasi antara satelit yang berada di orbit dengan sistem terestrial di Bumi. Fungsi utamanya mencakup penerimaan dan transmisi sinyal untuk pengiriman data, perintah kontrol, dan pemantauan kesehatan satelit. Tradisionalnya, stasiun bumi menggunakan infrastruktur kompleks seperti antena

parabola dan sistem komunikasi berkecepatan tinggi untuk memastikan kualitas dan keandalan komunikasi [2].

C. Software Defined Radio (SDR) dalam Komunikasi Satelit

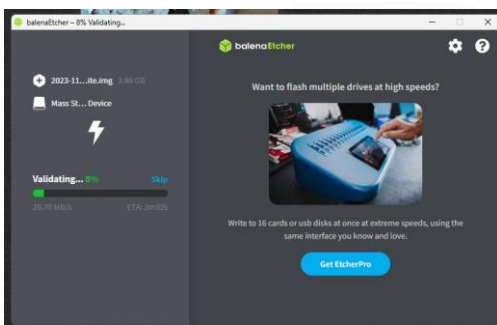
Software Defined Radio (SDR) merupakan teknologi yang memungkinkan pengolahan sinyal radio menggunakan perangkat lunak yang dapat diprogram ulang. Dalam konteks komunikasi satelit, SDR memberikan fleksibilitas yang besar dalam menangani berbagai frekuensi, modulasi, dan protokol komunikasi. Hal ini memungkinkan adaptasi yang lebih cepat terhadap perubahan dalam spesifikasi komunikasi satelit dan kondisi lingkungan yang berubah-ubah [3].

D. Raspberry Pi 3B+ sebagai Platform Komputasi Miniatur

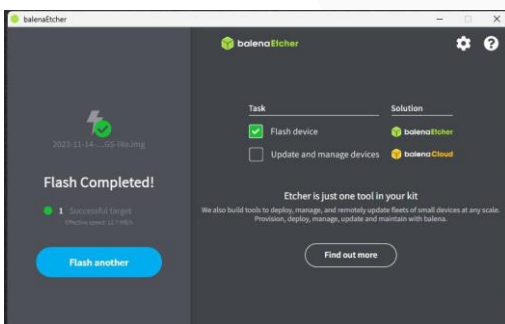
Raspberry Pi 3B+ adalah salah satu contoh platform komputasi miniatur yang telah mendapatkan popularitas dalam berbagai aplikasi teknologi, termasuk dalam konteks stasiun bumi untuk komunikasi satelit. Raspberry Pi 3B+ menawarkan ukuran yang kecil, biaya yang terjangkau, dan kemampuan komputasi yang cukup untuk menjalankan berbagai aplikasi perangkat lunak secara fleksibel [4].

III. METODE

A. Instalasi OS Raspberry Pi 3B+



GAMBAR I
Flashing Process



GAMBAR II
Flashing Complete

Pada Gambar I terlihat dua tampilan dari aplikasi Balena Etcher yang digunakan untuk melakukan flashing pada kartu SD dengan image SatNOGS Raspbian. Pertama, pengguna melakukan unduh aplikasi Balena Etcher dari situs resmi. Selanjutnya pengguna mengunduh file SatNOGS Raspbian image dari situs web resmi SatNOGS. File ini berisi sistem operasi khusus yang telah

dikonfigurasi untuk digunakan dengan stasiun bumi SatNOGS. Setelah mengunduh image, pengguna membuka aplikasi Balena Etcher dan memilih file image SatNOGS Raspbian yang telah diunduh. Kemudian, pengguna memasukkan kartu SD ke dalam komputer dan memilih kartu SD sebagai target untuk flashing. Selanjutnya, pada gambar pertama, terlihat proses flashing sedang berlangsung dengan status "Validating" yang menunjukkan bahwa aplikasi sedang memeriksa integritas data yang ditulis. Pada Gambar II, terlihat bahwa proses flashing telah selesai dengan pesan "Flash Complete!". Pengguna dapat melepas kartu SD dari komputer setelah proses ini selesai.

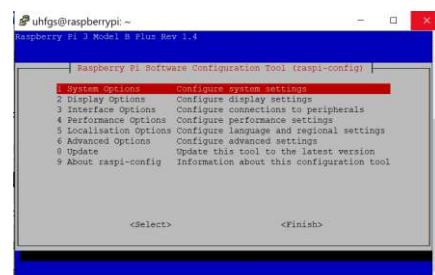


GAMBAR III
Konfigurasi SSID dan Password Wi-fi

Pada Gambar III, output hostname digunakan untuk menampilkan atau mengubah nama host dari sistem. Hostname dari Raspberry Pi ditampilkan sebagai "myraspberrypi". Selanjutnya, output ifconfig digunakan untuk mengonfigurasi dan menampilkan informasi tentang antarmuka jaringan. Pada gambar, ditampilkan informasi tentang konfigurasi jaringan termasuk alamat IP yang diperoleh dari jaringan. Menggunakan command ifconfig, pengguna dapat memverifikasi bahwa Raspberry Pi telah terhubung ke jaringan dengan benar dan memperoleh alamat IP yang diperlukan untuk konektivitas. Setelah memastikan bahwa Raspberry Pi terhubung ke jaringan, pengguna dapat melanjutkan dengan konfigurasi perangkat lunak SatNOGS, termasuk pengaturan parameter spesifik untuk operasi stasiun bumi, integrasi dengan perangkat keras rotator, dan pengaturan lainnya yang diperlukan.

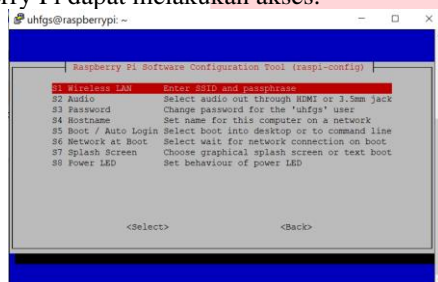
kartu SD, kemudian dilanjutkan dengan melakukan konfigurasi pada Raspberry Pi berdasarkan SatNOGS.

B. System Option Configuration

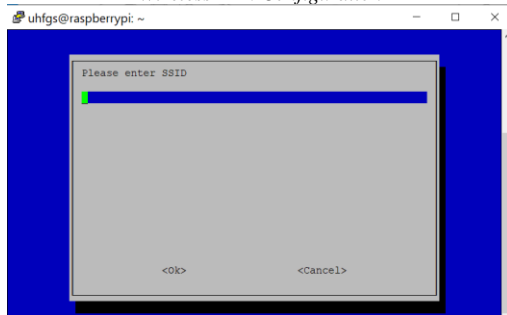


GAMBAR IV
Raspberry Pi Software Configuration

Pada Gambar IV menunjukkan *System Options Configuration* yang mempunyai peranan yang sangat penting pada Raspberry Pi SatNOGS. System Options Configuration berfungsi untuk mengatur berbagai opsi sistem yang penting untuk memastikan Raspberry Pi berfungsi dengan optimal dalam konteks operasi SatNOGS. Di dalam *System Options Configuration* dapat mengatur Lokasi dan Waktu serta melakukan konfigurasi Jaringan. Kita perlu memastikan bahwa Raspberry Pi yang akan digunakan memiliki waktu dan tanggal yang akurat, dikarenakan penting untuk sinkronisasi pada data pengamatan, serta mengatur zona waktu yang benar untuk koordinasi pengamatan satelit. Selanjutnya yaitu melakukan konfigurasi pada alamat IP statis atau DHCP untuk memastikan Raspberry Pi dapat melakukan akses.



GAMBAR V
Wireless LAN Configuration



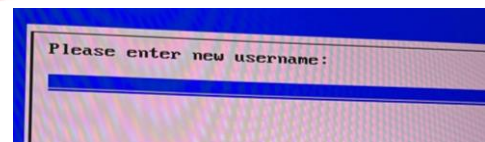
GAMBAR VI
Input SSID dan Password

Pada Gambar VI, Wireless LAN berfungsi untuk mengatur koneksi nirkabel (Wi-Fi) pada Raspberry Pi 3B+. Penggunaan koneksi nirkabel memungkinkan penempatan Raspberry Pi di lokasi yang lebih fleksibel tanpa ketergantungan pada kabel *Ethernet*, yang mungkin tidak selalu praktis atau tersedia. Dengan koneksi Wi-Fi, kita dapat melakukan akses pada Raspberry Pi dari jarak jauh melalui SSH atau antarmuka web untuk memonitor kinerja, dan melakukan *troubleshooting*. Menghubungkan Raspberry Pi ke internet merupakan langkah yang sangat penting, seperti mengunduh pembaruan sistem, menginstal perangkat lunak, dan mengunggah data pengamatan SatNOGS ke database pusat.

Pada Gambar VI, diperlukan untuk memasukkan data SSID dan Password yang sesuai dengan alamat Wi-Fi yang digunakan agar Raspberry Pi dapat bekerja. Menghubungkan Raspberry Pi 3B+ dengan wifi dengan cara `sudo raspi-config`, lalu memasukkan SSID dan password. Pada Gambar V, Raspberry Pi 3B+ melakukan proses penghubungan ke jaringan *WiFi* menggunakan command 'Raspi-Config'. Setelah berhasil *booting* dan masuk ke antarmuka *command line* pada Raspberry Pi,

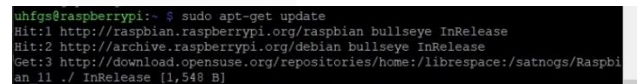
tahapan selanjutnya yaitu menjalankan perintah '`sudo raspi-config`' untuk mengakses alat pengaturan untuk konfigurasi.

Pada Gambar IV terdapat '`raspi-config`', selanjutnya memilih opsi pertama yaitu *System Operation* dengan menekan tombol Enter. Selanjutnya, memilih opsi untuk mengonfigurasi koneksi jaringan yang terdapat pada bagian *Network Options* atau *WiFi* dalam alat pengaturan `raspi-config` lalu pengguna akan diminta untuk memasukkan SSID (nama jaringan WiFi) dan password untuk menghubungkan Raspberry Pi ke jaringan *WiFi* yang diinginkan. Setelah memasukkan SSID dan *password*, Raspberry Pi akan mencoba terhubung ke jaringan WiFi, kemudian koneksi *WiFi* akan aktif dan siap digunakan untuk keperluan lebih lanjut dan pengguna diminta untuk memasukkan detail pengaturan lainnya, seperti nama pengguna baru atau parameter lainnya yang relevan untuk konfigurasi sistem. Setelah semua pengaturan selesai, pengguna memilih opsi *Finish* pada alat pengaturan `raspi-config` untuk menyimpan perubahan dan keluar dari alat pengaturan.

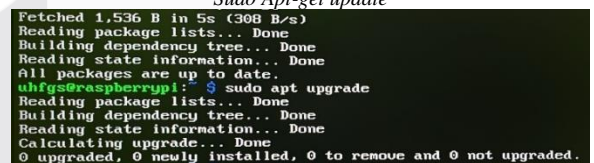


GAMBAR VII
Input Username Raspberry Pi

Pada Gambar VII dibutuhkan untuk memasukkan nama pengguna baru serta *password* pengguna. Hal ini sangat penting untuk melakukan akses masuk ke dalam Raspberry Pi untuk menjaga keamanan data. Melakukan konfigurasi pada opsi keamanan berguna untuk melindungi sistem dari akses yang tidak sah dan mencegah potensi ancaman siber.



GAMBAR VIII
Sudo Apt-get update



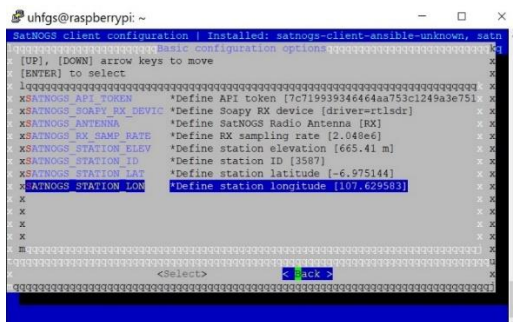
GAMBAR IX
Sudo Apt Upgrade

Setelah melakukan konfigurasi jaringan, selanjutnya melakukan update dan upgrade sistem dengan command `sudo apt-get update` dan `sudo apt-get upgrade`.

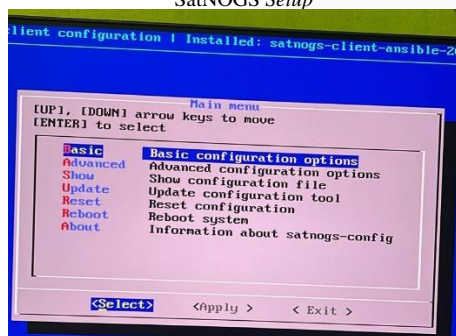
Pada Gambar VIII dan Gambar IX menunjukkan proses update dan upgrade sistem pada perangkat Raspberry Pi. Setelah melakukan konfigurasi jaringan pada Raspberry Pi, langkah selanjutnya yaitu memastikan bahwa sistem operasi dan semua paket perangkat lunak diperbarui. Langkah ini bertujuan untuk memastikan sistem berjalan dengan lancar dan memiliki fitur terbaru. Perintah pertama yang dijalankan adalah `sudo apt-get update`. Perintah ini bertujuan untuk memperbarui daftar paket dari repositori perangkat lunak.

Dapat dilihat pada gambar, terminal menunjukkan hasil dari perintah `sudo apt-get update` dan Raspberry Pi sedang mengakses beberapa URL untuk mengambil informasi paket terbaru dari berbagai repositori. Selanjutnya, informasi paket yang diperoleh termasuk paket dari Debian Bullseye (versi sistem operasi Raspberry Pi), paket dari repository launchpad, Raspbian, dan lainnya. Pada output terakhir sistem menampilkan informasi bahwa daftar paket telah berhasil diperbarui. Setelah memperbarui daftar paket, tahapan selanjutnya yaitu meningkatkan semua paket yang sudah ada ke versi terbaru menggunakan perintah `sudo apt-get upgrade`.

Dapat dilihat pada Gambar IX, terminal menunjukkan hasil dari perintah `sudo apt-get upgrade`, tahapan ini membaca daftar paket, membangun pohon dependensi, dan memeriksa status sistem saat ini. Pada gambar diatas, terminal menunjukkan bahwa semua paket sudah diperbaharui sehingga tidak ada paket yang perlu di-upgrade ('0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded'). Melakukan update dan upgrade sistem pada Raspberry Pi sangat penting untuk memastikan bahwa sistem memiliki pembaruan terbaru baik dari sisi keamanan maupun fitur. Pada Gambar VIII dan Gambar IX di atas menggambarkan langkah-langkah umum yang dilakukan untuk memperbarui sistem dengan menggunakan perintah `sudo apt-get update` dan `sudo apt-get upgrade`.



GAMBAR X
SatNOGS Setup



GAMBAR XI
Basic Configuration

Pada Gambar X dan Gambar XI menunjukkan proses instalasi dan konfigurasi stasiun bumi dan rotator pada perangkat Raspberry Pi menggunakan SatNOGS. Setelah memastikan bahwa sistem operasi Raspberry Pi sudah diperbaharui, langkah selanjutnya adalah menginstal dan mengonfigurasi perangkat lunak SatNOGS. SatNOGS (Satellite Networked Open Ground Station) adalah proyek open-source yang memungkinkan pengguna untuk mendirikan stasiun bumi untuk berkomunikasi dengan

satelit orbit rendah. Untuk memulai konfigurasi, perintah `sudo SatNOGS-setup` dijalankan di terminal Raspberry Pi. Pada Gambar XI dan Gambar X terminal menunjukkan tampilan antarmuka konfigurasi SatNOGS. Pada menu utama, terdapat beberapa opsi seperti *Basic*, *Advanced*, *Show*, *Update*, *Reset*, dan *Reboot*. Pilihan pertama yaitu *"Basic configuration options"* yang dipilih untuk mengatur konfigurasi dasar. Pada menu *Basic configuration options* pengguna dapat memasukkan berbagai parameter yang dibutuhkan dalam menjalankan stasiun bumi SatNOGS. Beberapa parameter yang dapat diatur seperti:

1. *SATNOGS_API_TOKEN*: Token API yang digunakan untuk mengautentikasi perangkat dengan jaringan SatNOGS.
2. *SATNOGS_RX_DEVICE*: Jenis perangkat penerima yang digunakan, seperti RTL-SDR.
3. *SATNOGS_RX_SAMP_RATE*: Tingkat pengambilan sampel (sampling rate) untuk perangkat penerima.
4. *SATNOGS_STATION_ELEV*: Ketinggian stasiun di atas permukaan laut (dalam meter).
5. *SATNOGS_STATION_ID*: ID unik untuk stasiun SatNOGS.
6. *SATNOGS_STATION_LAT*: Garis lintang lokasi stasiun (koordinat geografis).
7. *SATNOGS_STATION_LON*: Garis bujur lokasi stasiun (koordinat geografis).



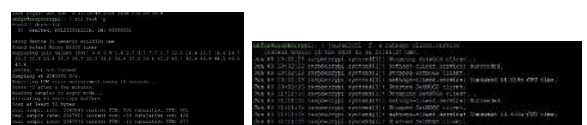
GAMBAR XII
Step of Configuration

Pada Gambar XII menunjukkan halaman web yang memberikan panduan mengenai cara mengatur atau mengonfigurasi Raspberry Pi 3B+ untuk digunakan dengan SatNOGS. Dapat dilihat pada gambar yang bertuliskan di garis bawah *"Client Configuration"* dan mencakup langkah-langkah konfigurasi utama, termasuk pengaturan klien, ID stasiun, kunci API, dan pengaturan lainnya.

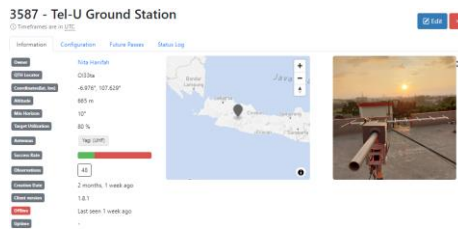


GAMBAR XIII
Instalasi RTL-SDR

Pada Gambar XIII menampilkan proses instalasi RTL-SDR pada Raspberry Pi mempunyai tujuan untuk mengubah Raspberry Pi menjadi penerima radio software-defined (SDR).

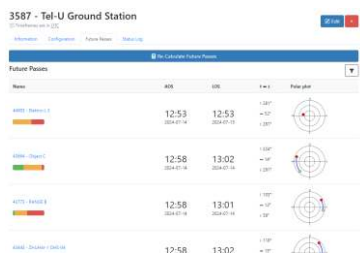


GAMBAR XIV
Aktivasi Stasiun Bumi



GAMBAR XV
Status Stasiun Bumi

Pada Gambar XIV dilakukan RTL-SDR Tes untuk memastikan apakah RTL-SDR yang digunakan sudah berfungsi dengan baik dan sesuai seperti yang dibutuhkan. Selanjutnya, pada Gambar XIV, perintah `journalctl -f -u SatNOGS-client` digunakan untuk melihat log secara real-time dari layanan SatNOGS-client. `Journalctl` yaitu perintah untuk menampilkan log dari sistem jurnal, yaitu sistem pencatatan log yang digunakan oleh sistem. Keterangan `-f` atau `--follow` menunjukkan bahwa perintah ini membuat `journalctl` menampilkan log secara real-time, mirip dengan perintah `tail -f` pada log file serta pengguna akan terus melihat log baru yang masuk tanpa harus menjalankan kembali perintahnya. Keterangan `-u` atau `--unit` ini sama dengan nama layanan SatNOGS-client, dan berfungsi untuk memfilter log. Pada Gambar XV menunjukkan status stasiun bumi secara *real-time*.



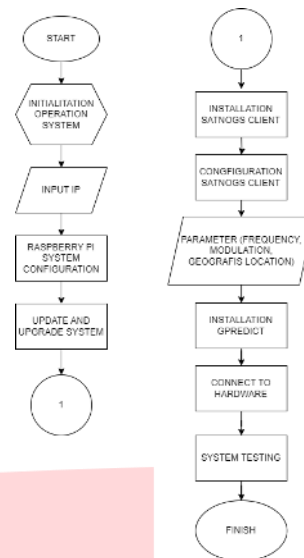
GAMBAR XVI
Scheduling satellite Observations at a Ground Station

Pada Gambar XIV terlihat proses instalasi perangkat lunak penerima sinyal pada mikrokomputer Raspberry Pi yang terintegrasi dengan stasiun bumi SatNOGS. Proses ini mencakup instalasi dependensi dan konfigurasi sistem yang diperlukan, yang berhasil diselesaikan dengan sukses. Pada Gambar XIV dan Gambar XVI menunjukkan bahwa Raspberry Pi 3B+ mampu mengelola pengaturan yang diperlukan untuk menerima sinyal satelit orbit rendah.

Pada Gambar XIV, dilakukan pengujian untuk memastikan perangkat penerima sinyal berfungsi dengan baik. Pada Gambar XIV ditampilkan stasiun bumi SatNOGS dengan jadwal pengamatan beberapa satelit orbit rendah, seperti Elektron-1 dan OPS-SAT. Informasi mencakup waktu masuk (AOS) dan keluar (LOS) dari cakupan, serta pola polarisasi. Pada Gambar XVI menunjukkan bahwa sistem berhasil melakukan penjadwalan dan pelacakan satelit orbit rendah secara akurat menggunakan data dari instalasi perangkat penerima sinyal dan perangkat lunak SatNOGS.

C. Blok Diagram Komputasi

Berikut merupakan flowchart dari proses penginstalan Raspberry Pi 3B+ untuk membuat stasiun bumi SatNOGS.



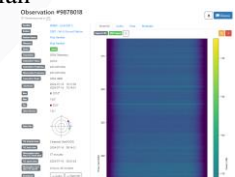
GAMBAR XVII
Flowchart Proses Komputasi

Berdasarkan gambar diatas, menginstal Raspberry Pi 3B+ untuk stasiun bumi SatNOGS melibatkan beberapa langkah penting. Pertama, unduh dan instal sistem operasi Raspbian pada kartu microSD Raspberry Pi. Hubungkan Raspberry Pi ke radio dan antena SDR berlandaskan pada SatNOGS, lalu buat koneksi jaringan melalui kabel Ethernet atau Wi-Fi. Perbarui OS Raspbian dan lakukan instalasi.

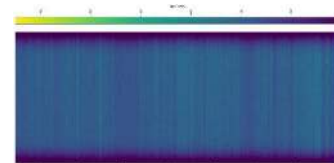
Selanjutnya, konfigurasi waktu dan zona waktu untuk sinkronisasi yang akurat dan instal perangkat lunak SatNOGS dan ikuti petunjuk pengaturan dari platform SatNOGS. Selanjutnya, tetapkan parameter spesifik stasiun bumi, seperti lokasi geografis dan frekuensi pemindaian. Selesaikan proses dengan pengujian dan pemantauan untuk memastikan pengoperasian yang optimal. Melalui langkah-langkah ini, Raspberry Pi 3B+ dapat diintegrasikan secara efektif ke dalam jaringan SatNOGS untuk mendukung observasi dan pemantauan satelit.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian



GAMBAR XVIII
Hasil Pengujian 1 Satelit Lilacsat 2



GAMBAR XIX
Waterfall data Lilacsat 2 Packet Downlink at 437.225 MHz.

Setelah observasi terjadwal selesai, klien SatNOGS mengunggah data yang dikumpulkan ke jaringan

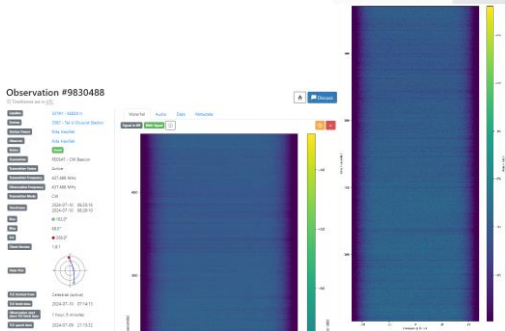
SatNOGS. Setelah halaman observasi disegarkan, data yang diminta dapat diakses. Setiap stasiun bumi dalam Jaringan SatNOGS global tersedia 24/7, memungkinkan anggota komunitas SatNOGS menggunakan stasiun bumi tertentu untuk melacak satelit selama seluruh durasi lintasannya.

Setiap pengguna SatNOGS dapat meminta akses ke stasiun bumi mana pun di jaringan global, asalkan stasiun tersebut online dan belum dijadwalkan untuk observasi lain. Untuk menjadwalkan observasi, pengguna harus menentukan detail seperti satelit target, jangka waktu, dan jenis pengkodean sinyal. Berdasarkan informasi ini, klien SatNOGS menentukan kemungkinan jendela observasi dari stasiun bumi yang tersedia dengan kemampuan yang diperlukan.

Pemilik stasiun bumi dapat mengatur ketersediaan stasiunnya untuk pengguna lain. Mereka dapat memilih untuk beroperasi dalam mode pengujian, yang mencegah pengguna lain mengakses stasiun, atau mode online, yang memungkinkan pengguna menjadwalkan jalur satelit. Pada Gambar XVIII dan Gambar XIX, spektogram yang disediakan menunjukkan distribusi frekuensi suatu sinyal dalam rentang waktu sekitar 180 detik. Sumbu horizontal menampilkan frekuensi dalam kilohertz (kHz) dari -25 kHz hingga +25 kHz, sedangkan sumbu vertikal menampilkan waktu dalam hitungan detik. Warna spektrum pada Gambar XIX menggambarkan tingkat daya dalam desibel (dB), dengan area ungu tua menunjukkan daya yang sangat rendah sekitar -90 dB, dan area kuning menunjukkan daya yang lebih tinggi hingga -40 dB. Spektogram menunjukkan garis horizontal yang konsisten pada beberapa frekuensi, yang menunjukkan adanya sinyal frekuensi tetap selama periode waktu yang diamati. Secara keseluruhan, distribusi kekuatan sinyal tampak relatif konsisten sepanjang durasi, tanpa perubahan besar atau gangguan signifikan.

TABEL 1
Rentang Frekuensi Satelit

Jumlah Percobaan	Nama Satelit	Rentang Frekuensi
1	Cute-1.7 + APD II	-25 kHz hingga +25 kHz
2	Seeds II	-20 kHz hingga +20 kHz
3	Unisat 6	-20 kHz hingga +20 kHz
4	Techsat 1B	-25 kHz hingga +25 kHz
5	Lusat	-20 kHz hingga +20 kHz



GAMBAR XX
Hasil Pengujian 2 Satelit Seeds II

Data diatas menunjukkan kemampuan mikrokomputer Raspberry Pi 3B+ dalam mengelola data dari satelit orbit rendah, melakukan komputasi, dan menjalankan

penjadwalan pelacakan satelit. Raspberry Pi 3B+ memberikan kinerja memadai dan mendukung perangkat lunak open-source seperti SatNOGS. Pengujian ini mencakup tes penerimaan sinyal satelit orbit rendah, pengelolaan data, dan penjadwalan pelacakan secara akurat. Raspberry Pi

3B+ menunjukkan performa unggul dalam penerimaan sinyal dan pemrosesan data berkat prosesor cepat dan kapasitas RAM besar. Sistem dinilai stabil selama periode panjang, memastikan fungsionalitas berkelanjutan tanpa gangguan. Kedua waterfall plot yang diberikan menunjukkan distribusi frekuensi sinyal yang diterima dari satelit orbit rendah selama periode waktu tertentu dengan perbedaan dalam durasi observasi dan karakteristik sinyal. Pada Gambar XIX, waterfall plot pertama mencakup data selama sekitar 180 detik dengan rentang frekuensi dari -25 kHz hingga +25 kHz, sedangkan pada gambar 5.8 plot kedua mencakup durasi 250 detik dengan rentang frekuensi dari -30 kHz hingga +30 kHz.

Pada Gambar XX plot pertama, tingkat daya sinyal berkisar dari -90 dB hingga -40 dB, menunjukkan sinyal daya rendah hingga sedang. Sebaliknya, plot kedua menunjukkan tingkat daya yang lebih tinggi, berkisar dari -90 dB hingga -30 dB. Kedua plot menampilkan garis horizontal konsisten yang mengindikasikan sinyal berfrekuensi tetap, meskipun plot kedua menunjukkan beberapa gangguan kecil yang mungkin menandakan adanya fluktuasi dalam sinyal. Kendala dalam pengambilan data bisa meliputi interferensi sinyal dari perangkat lain atau kondisi cuaca serta lokasi stasiun yang mungkin dipengaruhi oleh halangan fisik juga dapat mempengaruhi hasil. Untuk meningkatkan kualitas observasi, diperlukan optimasi perangkat keras dan minimalisasi interferensi. Secara keseluruhan, kedua plot ini menunjukkan kemampuan stasiun dalam menerima sinyal dari satelit orbit rendah dengan sinyal yang relatif stabil sepanjang durasi pengamatan, meskipun terdapat beberapa perbedaan dalam karakteristik sinyal yang diterima

V. KESIMPULAN

Pengembangan stasiun bumi frekuensi ultra tinggi (UHF) menggunakan Raspberry Pi 3B+ sebagai inti sistem pengkomputasian terbukti efektif dan ekonomis. Stasiun bumi ini berhasil menerima dan mengirim sinyal pada rentang frekuensi UHF, yang umum digunakan untuk komunikasi satelit dan aplikasi radio amatir. Integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, termasuk modul Software Defined Radio (SDR) dan antena UHF yang dioptimalkan, memungkinkan sistem ini mengolah sinyal UHF dengan kemampuan untuk mengakses, merekam, dan menganalisis data dari satelit yang mengorbit rendah. Pengujian menunjukkan bahwa stasiun bumi ini mampu menangkap sinyal dengan jelas dan stabil, serta menawarkan fleksibilitas dalam penyesuaian frekuensi dan pengolahan sinyal. Dengan demikian, Raspberry Pi 3B+ adalah platform yang sangat berguna untuk pengembangan stasiun bumi UHF, tidak hanya untuk aplikasi komunikasi satelit tetapi juga untuk proyek edukasi dan penelitian yang memerlukan solusi stasiun bumi yang terjangkau.

REFERENSI

- [1] T. Sutikno, "CubeSat: Opportunities and Challenges in Developing Countries.," CubeSat: Opportunities and Challenges in Developing Countries." Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 17, pp. 256–262, 2020.
- [2] A. Widiyanto and W. Nurhadi, "Development of Ground Station for CubeSat Communication.," Journal of Telecommunications Engineering and Technology, vol. 5, pp. 87–95, 2018.
- [3] D. , et al. Setiawan, "Implementation of Software Defined Radio for Satellite Communications.," Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 12, pp. 134–145, 2019.
- [4] R. Hidayat and A. Wijaya, "Raspberry Pi 3B+ as a Low-Cost Solution for Satellite Ground Station.," Journal of Space Technology, vol. 8, pp. 45–52, 2021.