

Transmitter Gelombang Frekuensi Radio (RF) FM Berbasis Raspberry Pi

¹Ali Mustofa, ²Sigit Kusmaryanto, ³Rusli Ambarwati, ⁴Bravy Dwika Nanda

^{1,2,3} Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

¹ali@ub.ac.id, ²sigitkus@ub.ac.id, ³rusmi@ub.ac.id, ⁴bravydwika@student.ub.ac.id,

Abstract - In recent years, technology in the telecommunications sector has developed rapidly, especially with the global situation encouraging the use of long-distance communications. One of these developments is the use of the Raspberry Pi, abbreviated as Raspi, as a substitute for conventional computers for receiving and transmitting FM radio signals. Raspberry Pi is a mini and portable computer that can be used as an alternative to conventional computers in general, such as the use of teleconference media, offices, Big Data, and as a video player with high resolution. The problem in using a computer as an FM radio signal transceiver system is its complex and expensive infrastructure. When compared to the Raspberry Pi 3 with a price range of IDR 500,000 - IDR 1,000,000, a transceiver system using conventional computers requires a computer in general at a price far exceeding the said price. Using Raspi makes it easy to transmit FM radio signals by simply coding through the Raspi terminal. In this study, the authors propose a transmitter system using a Raspberry Pi 3B+ which is connected to a dipole antenna at a working frequency of 100 – 101 MHz. Raspi is operated using the SSH protocol for remote desktops. The operating system used is Raspberry Pi OS with the use of a MAC computer (MAC OS) as a remote desktop. The results show that the Raspberry Pi device can be used to transmit FM radio signals at a frequency of 100 - 101 MHz. The dipole antenna tested using VNA (Vector Network Analyzer) with a length of 71 cm and a linear form can transmit a

signal with a VSWR of 1.08 - 1.95:1 at a working frequency of 94.9 - 103.06 MHz and a return loss of -28.1 dBm at a frequency of 98.98 MHz.

Keywords — *Transmitter, FM Radio Signal, Raspberry Pi, Remote desktop, Vector network analyzer*

Abstrak— Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi dalam bidang telekomunikasi semakin berkembang pesat, terutama dengan situasi global yang mendorong penggunaan komunikasi jarak jauh. Salah satu dari perkembangan tersebut merupakan penggunaan Raspberry Pi, disingkat Raspi, sebagai pengganti komputer konvensional untuk sistem penerima maupun pemancar sinyal radio FM. Raspberry Pi merupakan komputer mini dan *portable* yang dapat digunakan sebagai alternatif dari komputer konvensional pada umumnya, seperti penggunaan media teleconference, perkantoran, *Big Data*, dan sebagai pemutar video dengan resolusi tinggi. Permasalahan dalam penggunaan komputer sebagai sistem *transceiver* sinyal radio FM adalah infrastruktur yang kompleks dan mahal. Jika dibandingkan dengan Raspberry Pi 3 dengan jangkauan harga Rp500.000 - Rp1.000.000, sistem *transceiver* menggunakan komputer memerlukan komputer pada umumnya dengan harga jauh melebihi harga tersebut. Penggunaan Raspi memudahkan untuk mentransmisikan sinyal radio FM hanya dengan melakukan coding melalui terminal Raspi. Pada penelitian ini, penulis mengusulkan sistem pemancar (*transmitter*) menggunakan Raspberry Pi 3B+ yang dihubungkan dengan antenna dipole pada frekuensi kerja 100 – 101 MHz. Raspi dioperasikan

menggunakan protokol SSH untuk remote desktop. Sistem operasi yang digunakan merupakan Raspberry Pi OS dengan penggunaan komputer MAC (MAC OS) sebagai remote desktop. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat Raspberry Pi mampu digunakan untuk memancarkan sinyal radio FM pada frekuensi 100 - 101 MHz. Antena dipole yang diuji menggunakan VNA (*Vector Network Analyzer*) dengan panjang 71 cm dan bentuk linier dapat mentransmisikan sinyal dengan VSWR 1,08 - 1,95:1 pada frekuensi kerja 94,9 - 103,06 MHz dan return loss -28,1 dBm pada frekuensi 98,98 MHz.

Kata Kunci— *Pemancar, Sinyal Radio FM, Raspberry Pi, Remote desktop, Vector network analyzer*

I. Pendahuluan

Komunikasi radio merupakan komunikasi menggunakan gelombang elektromagnet dengan frekuensi radio melalui media ruang bebas. Dengan adanya komunikasi radio, keperluan akan kabel dan media fisis lainnya dapat dikurangi sehingga menjadi lebih hemat biaya. Selain dari aspek ekonomi, pengguna juga mempunyai keunggulan dalam hal ruang yang disebabkan oleh mobilitas dan pengaksesan yang dapat dilakukan dari mana saja. Meski demikian, radio konvensional merupakan suatu *hardware* yang harus diubah seiring dengan perkembangan teknologi.

Salah satu teknologi yang dikembangkan pada tahun 1990-an merupakan teknologi sistem komunikasi radio berbasis perangkat lunak (*software*). Teknologi tersebut adalah *Software Defined Radio* (SDR). SDR merupakan suatu radio yang dapat diprogram dan dikonfigurasi menggunakan *software*. Penemunya, Joseph Mitola, menginginkan suatu sistem komunikasi radio dengan perangkat keras (*hardware*) yang minimalis, yaitu hanya membutuhkan ADC/DAC yang dihubungkan ke antena dan komputer sehingga fungsi lain dari radio konvensional dapat diprogramkan. Selain dari penggunaan SDR sebagai sistem radio FM, SDR juga dapat diprogramkan untuk menerima sinyal televisi, HP, dll. Walaupun

demikian, sistem SDR tetap membutuhkan perangkat keras lainnya, yaitu komputer.

Raspberry Pi merupakan suatu komputer *portable* yang dapat digunakan sebagai penerima/*receiver* sekaligus pemancar/*transmitter* gelombang radio. Perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk memanipulasi gelombang radio adalah *Software Defined Radio* (SDR) yang kegunaannya dapat memudahkan pengguna untuk mengatur selain dari frekuensi yang diinginkannya, seperti mode *transmit/receive*, visualisasi gelombang sinyal menggunakan *spectrum analyzer*, penggunaan frekuensi yang lebih besar, dll. Selain bagian dari sistem SDR, Raspberry Pi memiliki fleksibilitas tinggi dalam penggunaannya, seperti komputer pada umumnya. Raspberry Pi dapat digunakan untuk mengirim email, mendengarkan musik, memutar video, internet, dll. Jika dibandingkan dengan Arduino, Raspberry Pi merupakan komputer yang lebih komplit, bukan hanya sebagai *micro controller* namun sudah dilengkapi dengan operating system itu sendiri. untuk menggunakannya.

Penggunaan SDR untuk melakukan transmisi sinyal radio bergantung pada jenisnya. Beberapa SDR hanya bisa untuk melakukan penerimaan sinyal (sebagai *receiver*). Pada penelitian ini, peneliti hanya menggunakan Raspberry Pi untuk melakukan transmisi sinyal dengan frekuensi yang sudah ditetapkan. Raspberry Pi memiliki *built-in* antenna sehingga dapat melakukan *broadcasting* sinyal radio dengan frekuensi yang telah ditetapkan.

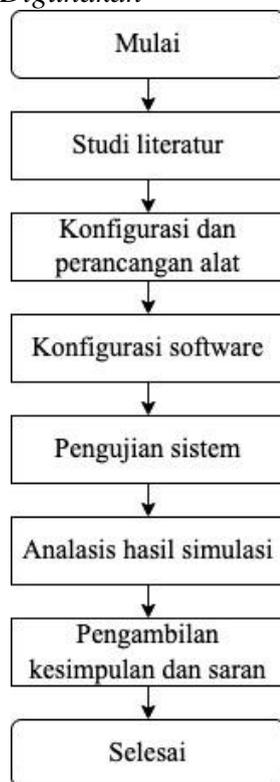
II. Metode Penelitian

A. Umum

Peneliti membangun pemancar (*transmitter*) sinyal radio FM berbasis Raspberry Pi yang memerlukan beberapa komponen perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah Raspberry Pi model 3B+ yang dihubungkan dengan antena dipole melalui pin GPIO 4 dan komputer sebagai remote desktop melalui protokol SSH. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Raspberry Pi OS dan macOS Big Sur.

Kajian yang digunakan dalam membangun pemancar sinyal radio FM berbasis Raspberry Pi adalah kajian yang bersifat analisis yang mengacu kepada hasil literatur dan hasil pengukuran real. Tujuan yang ingin dicapai pada penulisan penelitian ini adalah dihasilkan pemancar sinyal radio FM berbasis Raspberry Pi.

B. Metode yang Digunakan

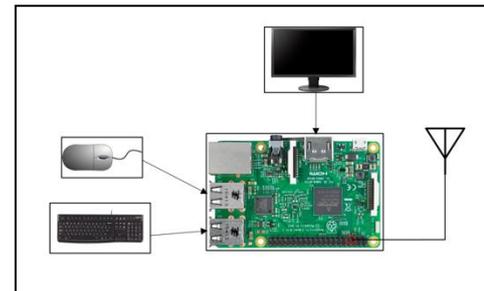


Gambar 1. Diagram Alir Metodologi

1) *Studi Literatur*: Studi Literatur bertujuan untuk mempelajari konsep yang terkait dengan rancang bangun pemancar sinyal radio FM berbasis Raspberry Pi. Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai konsep, parameter, dan teori yang mendukung penulisan penelitian ini.

2) *Konfigurasi dan Perancangan Alat*: Dalam desain rancang bangun ini, penulis memancarkan sinyal radio FM melalui Raspberry Pi model 3B+ yang dioperasikan jarak jauh menggunakan protokol SSH melalui penggunaan komputer dengan *operating software* macOS Big Sur. Raspberry Pi 3 ini berfungsi sebagai perangkat keras utama dalam memancarkan sinyal yang telah

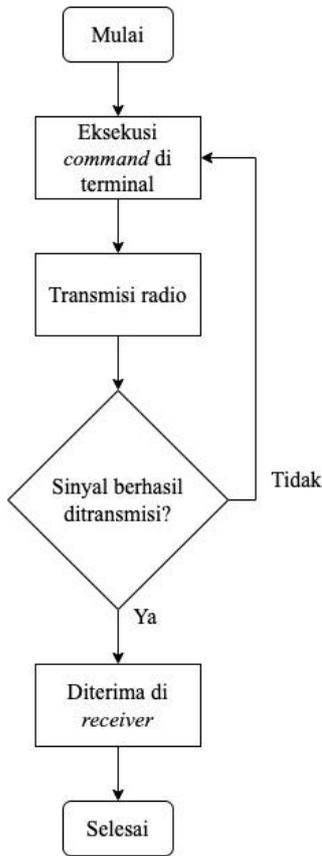
dihubungkan dengan antena dipole. Antena tersebut dihubungkan melalui kabel *jumper* di pin GPIO 4. Sinyal transmisi dapat dianalisis menggunakan pengujian antena sistem. Gambar 2 menunjukkan desain dari rancangan penelitian ini:



Gambar 2. Desain sistem transmitter radio FM berbasis Raspberry Pi

3) *Konfigurasi Software*: Pada tahap ini akan dilakukan konfigurasi perangkat lunak yang meliputi instalasi OS untuk Raspberry Pi (*Raspberry Pi OS*), konfigurasi OS (update dan upgrade OS melalui terminal), dan penetapan SSH untuk *remote desktop Raspberry Pi*. Konfigurasi SSH merupakan langkah untuk *remote desktop Raspberry Pi* sehingga dapat dioperasikan melalui laptop/komputer lain. Hal tersebut bermanfaat jika ingin mengoperasikan *transmitter* dengan laptop/komputer pribadi sehingga tidak memerlukan Raspberry Pi. SSH merupakan suatu protokol jaringan yang digunakan untuk *remote login* dan eksekusi baris *command*. Sebelum dapat menginisiasi hubungan antar komputer, dibutuhkan alamat IP dari Raspberry Pi yang dapat diperoleh melalui terminal.

4) *Pengujian Sistem*: Pengujian penelitian dari sistem ini bertujuan untuk melihat apakah sistem rancangan pengirim sinyal radio FM berbasis Raspberry Pi dapat mentransmisikan sinyal yang diterima oleh penerima radio. Diagram alir untuk pengujian sistem dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir pengujian transmitter radio FM berbasis Raspberry Pi

5) *Analisis Hasil Pengujian:* Pada tahap ini dilakukan analisis dari hasil simulasi yang dilakukan. Analisis yang dilakukan berupa pengujian antenna.

6) *Pengambilan Kesimpulan dan Saran:* Pada tahap ini berisi mengenai hasil akhir dari penelitian yang telah dilakukan berdasarkan pada rumusan penelitian dan tujuan. Pada sub bab ini juga berisi saran untuk membangun penelitian agar dilanjutkan dengan baik kedepannya

III. Hasil dan Pembahasan

A. Pengujian Antena

Pengujian antena dipole dilakukan untuk mengetahui *return loss*, *VSWR*, dan *bandwidth* dari sistem transmitter. Pengujian tersebut dilaksanakan menggunakan perangkat keras VNA (*Vector Network Analyzer*) dan perangkat lunak “Nano

VNA QT” untuk memperoleh grafik dari parameter-parameter tersebut.

1) *Konfigurasi Antena Dipole:* Konfigurasi antena dipole dilakukan untuk memperoleh parameter dengan nilai paling optimal. Konfigurasi tersebut meliputi panjang dan pola radiasi antena. Antena dipole yang digunakan memiliki panjang $1/2\lambda$ dengan frekuensi kerja yang digunakan untuk penelitian ini 100 - 101 MHz. Frekuensi *transmitter* tersebut tergantung pada spektrum frekuensi yang sedang tidak digunakan oleh pemancar radio komersil. Untuk mengetahui hal tersebut, diperlukan perangkat lunak penerima sinyal radio yang dapat menampilkan grafik spektrum frekuensi radio, salah satunya merupakan GNU Radio. Penelitian ini menggunakan frekuensi kerja 100,6 MHz. Dengan frekuensi tersebut, dapat diketahui panjang masing-masing antena dipole melalui (1):

$$L = \frac{\lambda \times 0,95}{4} \dots\dots\dots (1)$$

$$L = \frac{c}{f} \times \frac{0,95}{4} = \frac{3 \times 10^8 \times 0,95}{100,6 \times 10^6 \times 4} = 0,708 \text{ m} \approx 0,71\text{m}$$

$$L = 71 \text{ cm}$$

Konfigurasi bentuk antena dipole yang digunakan merupakan dipole linier (terbuka 90° dari *feeder*) sehingga memaksimalkan *gain*. Maka demikian, bentuk dan panjang antena sesuai dengan Gambar 4.



Gambar 4. Konfigurasi Antena Dipole Frekuensi 100,6 MHz

2) *Kalibrasi Vector Network Analyzer (VNA):* *Vector Network Analyzer (VNA)* merupakan alat untuk mengukur kualitas dari suatu antenna. Penelitian ini menggunakan VNA untuk mengukur SWR, koefisien pantul (*reflection coefficient*), dan bandwidth dari antenna. Sebelum melakukan pengukuran, VNA harus dikalibrasi terlebih dahulu supaya pengukuran menjadi akurat dan tepat. Proses kalibrasi VNA dilakukan menggunakan metode SOL (*Short, Open, Load*), yaitu dengan memberikan beban *short, open, dan load* sesuai dengan Gambar 5 ke channel 0 (CH 0) pada VNA. Gambar 6 menunjukkan VNA yang digunakan untuk pengujian antenna.

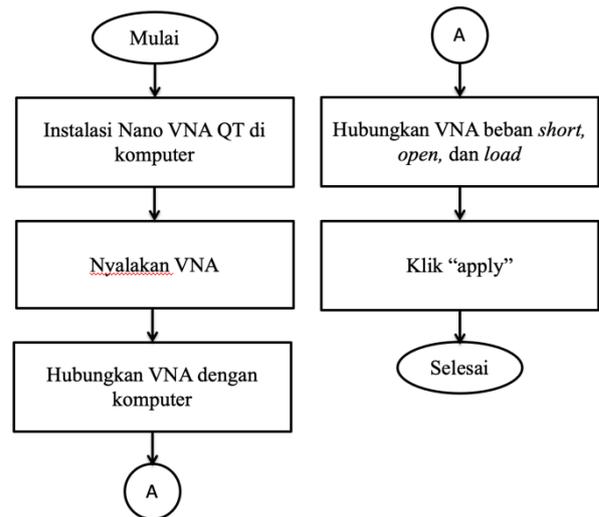


Gambar 5. Beban Kalibrasi VNA



Gambar 6. Vector Network Analyzer - SAA2

Kalibrasi VNA dapat dilakukan menggunakan *software* yang dapat diunduh di Internet, yaitu “Nano VNA QT”. Tahapan melakukan kalibrasi VNA sesuai dengan diagram alir berikut:

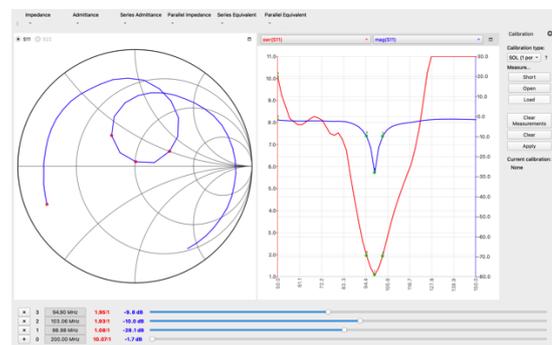


Gambar 7. Diagram Alir Kalibrasi VNA

3) *Hasil Pengujian Antena:* Dengan menggunakan panjang antenna masing-masing dipole 71 cm dengan konfigurasi linier (90° dengan feeder), didapatkan antenna yang optimal untuk mentransmisikan sinyal radio dengan rentang frekuensi kerja 100 - 101 MHz. Hasil yang diperoleh merupakan sistem *transmitter* dengan:

- a. $VSWR = 1,08:1$
- b. $Return Loss = -28,1 \text{ dB}$
- c. $Bandwidth = 8 - 9 \text{ MHz}$

Gambar 8 menunjukkan grafik VSWR dan koefisien pantul



Gambar 8. Hasil pengujian antenna menggunakan Nano VNA QT

B. Perhitungan Daya Pemancar Raspberry Pi

Pin GPIO 4 di Raspberry Pi memiliki tegangan keluaran 3,3 V dan arus keluaran maksimum 16 mA

sehingga untuk perhitungan daya rata-rata dapat diperoleh dari (2) dan (3):

$$P_{avg} = V_{rms} \times I_{max} \dots\dots\dots (2)$$

$$V_{rms} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan keterangan:

P_{avg} = daya rata-rata

V_{rms} = tegangan *root-mean-square*

I_{max} = arus maksimum

V_{peak} = tegangan maksimum

Maka daya rata-rata adalah:

$$P_{avg} = V_{rms} \times I_{max} = \frac{V_{peak} \times I_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$P_{avg} = \frac{3,3 \times 16}{\sqrt{2}} = 37,33 \text{ mW}$$

C. Pengujian Keseluruhan Sistem

1) *Source Code Sistem*: Source code dari sistem merupakan source code yang didapatkan dari *github*. Hal tersebut lalu dieksekusi di terminal laptop. Source code sistem dapat dilihat melalui Tabel 1.

Tabel 1. Source code sistem *transmitter* sinyal radio FM

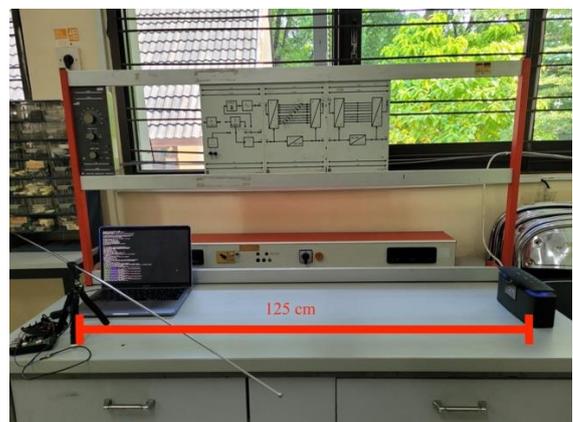
1	<code>sudo apt-get update</code>
2	<code>sudo apt-get install make build-essential</code>
3	<code>sudo apt-get install libraspberrypi-dev</code>
4	<code>git clone</code> <code>https://github.com/markondej/fm_transmitter</code>
5	<code>cd fm_transmitter</code>
6	<code>make</code>
7	<code>sudo ./fm_transmitter -f 100.6</code> <code>acoustic_guitar_duet.wav</code>

Baris pertama merupakan *default* jika ingin melakukan suatu proses pemrograman di Raspberry

Pi. Syntax tersebut digunakan untuk meng-*update* sistem dari Raspberry Pi. Untuk baris kedua dan ketiga, sistem akan melakukan pengunduhan *library* “*build essential*” dan “*librasberrypi-dev*”. “*build essential*” digunakan untuk compiling perangkat lunak ke dalam sistem operasi (OS) berbasis Linux. “*librasberrypi-dev*” digunakan untuk instalasi *library broadcom*.

Setelah tahap instalasi, baris 4 – 6, digunakan untuk meng-*clone repository* dari link *github* tersebut dan menggunakan sintaks “*make*” untuk mengeksekusi *build* tersebut. Program akan berjalan setelah berhasil mentransmisikan program “*fm_transmitter*” yang ada di baris terakhir. Dalam sintaks tersebut, sistem akan mentransmisikan suatu file audio dengan format *.wav* dengan nama “*acoustic_guitar_duet.wav*” yang sudah ada dalam *repository github* tersebut. Frekuensi transmisi dapat diubah sesuai dengan frekuensi FM yang sedang tidak digunakan secara komersil. Hal tersebut dapat diketahui melalui program penerima dengan melihat spektrum radio yang aktif dan tidak aktif.

2) *Sistem Transmitter-Receiver*: Pengujian sistem *transmitter* menggunakan Raspberry Pi dirancang sesuai dengan Gambar 2. Perancangan tersebut menunjukkan bahwa untuk mengoperasikan Raspberry Pi membutuhkan perangkat keras masukan dan keluaran seperti mouse, keyboard, dan monitor. Untuk penggunaan melalui protokol SSH, perangkat-perangkat keras tersebut hanya dibutuhkan untuk pengecekan IP *address* dari jaringan WiFi yang terhubung ke Raspberry Pi.



Gambar 9. Sistem *transmitter* radio FM menggunakan Raspberry Pi dengan jarak 125 cm

Pengujian sistem dapat dilihat melalui Gambar 9 dengan jarak antara *transmitter* dan *receiver* berupa radio konvensional sejauh 125 cm. Penerima radio diatur frekuensi menjadi 100,6 MHz, sesuai dengan frekuensi yang dipancar.

3) *Eksekusi Source Code*: Sebelum melakukan eksekusi *source code*, sistem terlebih dahulu harus sudah terhubung ke komputer/laptop melalui protokol SSH. Setelah komputer/laptop sudah terhubung dengan Raspi, Raspi dapat dioperasikan melalui *command line* pada terminal komputer.

```

pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get update
sudo apt-get install make build-essential
sudo apt-get install libraspberrypi-dev
git clone https://github.com/markondej/fm_transmitter
cd fm_transmitter
make
sudo ./fm_transmitter -f 100.6 acoustic_guitar_duet.wav
Hit:1 http://archive.raspberrypi.org/debian bullseye InRelease
Hit:2 http://raspi.debian.raspberrypi.org/raspbian bullseye InRelease
Reading package lists... Done
Building dependency tree... Done
Reading state information... Done
build-essential is already the newest version (12.9).
make is already the newest version (4.3-4.1).
The following package was automatically installed and is no longer required:
 libraspberrypi0
Use 'sudo apt autoremove' to remove it.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.
Reading package lists... Done
Building dependency tree... Done
Reading state information... Done
libraspberrypi-dev is already the newest version (1:2+git20220324-990164-c4f4db8-1).
The following package was automatically installed and is no longer required:
 libraspberrypi0
Use 'sudo apt autoremove' to remove it.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.
fatal: destination path 'fm_transmitter' already exists and is not an empty directory.
g++ -I/opt/vc/lib -o fm_transmitter_fm_transmitter.o mailbox.o wave_reader.o transmitter.o -lm -pthread -lbcm_host
Broadcasting at 100.6 MHz with 200 kHz bandwidth
Playing: acoustic_guitar_duet.wav, 22050 Hz, 16 bits, mono
    
```

Gambar 10. Eksekusi *source code* sistem

```

Broadcasting at 100.6 MHz with 200 kHz bandwidth
Playing: acoustic_guitar_duet.wav, 22050 Hz, 16 bits, mono
    
```

Gambar 11. Eksekusi *source code* transmisi sinyal

Pada terminal komputer, *source code* yang terdapat di Tabel 1 dieksekusi sesuai dengan Gambar 10. Gambar 11 menunjukkan bahwa *source code* baris ketujuh pada Tabel 1 berhasil ditransmisikan. Sinyal yang ditransmisikan memiliki bandwidth 200 KHz dengan 22050 Hz laju sample (*sample rate*) kedalaman bit sebesar 16 bit.

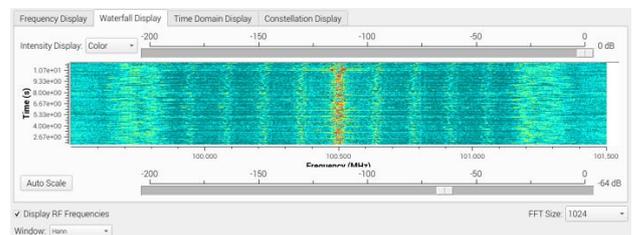
D. *Pengolahan Data*

Pengolahan data dilakukan dengan cara merancang dan menguji pemancar sinyal radio FM berbasis Raspberry Pi. Hasil pengujian akan dilakukan oleh data lebih lanjut dengan cara:

- Melihat dan mengukur performansi spektrum frekuensi melalui pengujian antena *software* Nano VNA QT
- Menampilkan spektrum frekuensi penerima untuk mengetahui frekuensi yang sedang tidak digunakan
- Hasil pengujian performansi akan ditampilkan dalam bentuk audio dan spektrum pada penerima sinyal radio FM.

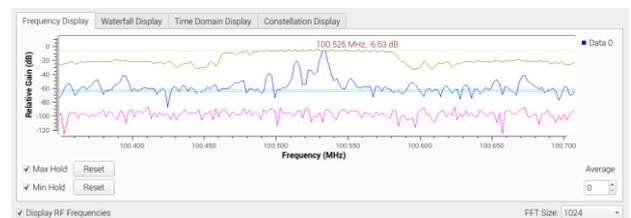
E. *Hasil*

Hasil simulasi menggunakan perangkat Raspberry Pi 3B+ yang dihubungkan dengan antena dipole dengan panjang masing-masing antena 71 cm dengan konfigurasi linier di pin GPIO 4 dapat memancarkan sinyal radio FM pada frekuensi 100,6 MHz.

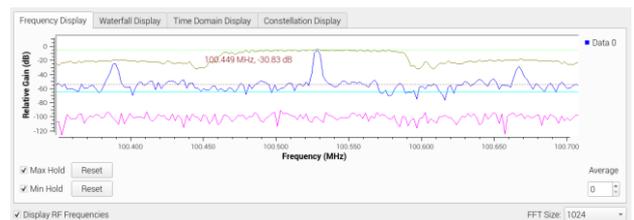


Gambar 12. Grafik *waterfall* pada frekuensi 100,6 MHz (merah)

Gambar 10 menunjukkan grafik *waterfall display* dari sinyal yang berhasil ditransmisikan pada frekuensi 100,6 MHz.



(a)



(b)

$$SNR(dB) = Sinyal (dB) - Noise (dB) \quad (4)$$

$$SNR(dB) = -6,63 - (-30,83)$$

$$SNR(dB) = 24,2 \text{ dB}$$

Gambar 11 menunjukkan grafik spektrum frekuensi dengan *gain* sinyal sebesar -6,63 dB dan *noise floor* sebesar -30,83 dB. Dengan perhitungan menggunakan (4) maka diperoleh SNR sistem *transmitter* sebesar 24,2 dB.

IV. Kesimpulan

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sinyal radio FM dapat dipancarkan dengan baik oleh Raspberry Pi
2. Hasil pengujian antenna dapat dilakukan untuk mengetahui performa antenna saat digunakan
3. Penggunaan jaringan Internet yang sama dapat menghubungkan Raspberry Pi dengan komputer pribadi melalui SSH

B. Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menghasilkan pemancar sinyal radio FM dengan kualitas yang lebih baik
2. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, Raspberry Pi dapat di-upgrade menjadi Raspberry Pi 4 atau Raspberry yang memiliki spesifikasi diatas Raspberry 3

3. Penggunaan layar

REFERENSI

- [1] Coleman, C. (2004). *An Introduction to Radio Frequency Engineering*. New York: Cambridge University Press.
- [2] Electrical4U. (2021, Januari 25). *Dipole Antenna: What is it? (And the Types of Antennas)*. Retrieved from Electrical4U: <https://www.electrical4u.com/dipole-antenna/>
- [3] Faruque, S. (2017). *Radio Frequency Modulation Made Easy*. Grand Forks: Springer.
- [4] Fernández, J. R. (2015, April). Software Defined Radio: Basic Principles and Applications. *Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría*, 24(38), 79-96.
- [5] Hanif, A., Hariyadi, A., & Aisah. (2021). Rancang Bangun FM Transmitter Dengan Metode Spread Spectrum Signal Berbasis Raspberry Pi. *Jurnal Jaringan Telekomunikasi*, 11(3), 141-144.
- [6] KEMENKOMINFO. (2014). *Peraturan Menteri Komunikasi Dan Informatika Republik Indonesia Nomor 25 Tahun 2014 Tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia*. Berita Negara Republik Indonesia.
- [7] Nayyar, A., & Puri, V. (2015, December). Raspberry Pi- A Small, Powerful, Cost Effective and Efficient Form Factor Computer: A Review. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 5(12), 720-737.