



Rancang Bangun *Trainer Spectrum Analyzer* berbasis *Raspberry Python* dan *Register Transfer Level - Software Defined Radio*

Design Trainer Analysis Spectrum Analyzer Based on Raspberry Python and Register Transfer Level - Software Defined Radio

Fatmawati Sabur¹, Ucok Sinaga²

fatmawatisaburatkp@gmail.com, emailsina@gmail.com

Politeknik Penerbangan Makassar
Universitas Indonesia Timur, Makassar

ABSTRAK

Spectrum Analyzer merupakan perangkat yang dapat menganalisis atau menguji kondisi suatu sistem frekuensi dalam suatu jaringan komunikasi. Kondisi yang terjadi dilapangan adalah harga beli dari sebuah Spectrum Analyzer yang tinggi menyebabkan tidak semua pihak mampu memilikinya. Salah satu solusi untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan membuat suatu hardware yang mampu melakukan unjuk kerja yang sama seperti Spectrum Analyzer tetapi dengan harga yang relatif lebih murah. Prototype Spectrum Analyzer yang akan diimplementasikan merupakan suatu perangkat yang mampu menampilkan spektrum suatu sinyal pada range frekuensi tertentu. Rekayasa ini dilaksanakan dari bulan Juli sampai dengan Oktober 2020 di Kampus Politeknik Penerbangan Makassar dan ujicoba alat dengan alat pembanding dilaksanakan di Otban Wilayah V makassar. Teknik atau metode yang digunakan dalam pengumpulan data yaitu metode pustaka dengan cara mengumpulkan beberapa data tertulis baik dari buku, literatur, dan tutorial-tutorial di internet, sebagai bahan referensi kemudian menganalisa solusi yang dapat diambil dalam penyelesaian masalah. Dari hasil pengujian yang dilakukan dengan penggunaan RTL-SDR pada Single Board Computer (SBC) Raspberry pi dapat menampilkan spectrum frekuensi baik itu dilakukan secara tunggal ataupun diterapkan pada jaringan sehingga dapat digunakan sebagai media pembelajaran praktik teknologi wireless atau pun materi lain yang melakukan pengukuran frekuensi. Dari sergi performa kinerja trainer spectrum analyzer dengan pemanfaatan raspberry pi sebagai perangkat untuk mengolah sinyal radio/ wireless cukup baik pada pemanfaatan dengan mode CLI (command line Interface) namun relatif lambat jika digunakan pada desktop sebagai alat portable spectrum analyzer yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran.

Kata kunci: spectrum analyzer; RTL-SDR; trainer portable

ABSTRACT

Spectrum Analyzer is a device that is reliable enough to analyze or test the condition of a system in a communication network. However, the high purchase price of a Spectrum Analyzer means that not everyone can afford it. One solution to overcome this problem is to make a piece of hardware capable of performing the same performance as a Spectrum Analyzer but at a relatively cheaper price. Prototype Spectrum Analyzer to be implemented is a device capable of displaying the spectrum of a signal in a certain frequency range. This engineering was carried out from July to October 2020 at the Makassar Aviation Polytechnic Campus and testing tools with a comparison tool was carried out at Otban Region V Makassar. The technique or method used in data collection is the library method by collecting some

written data from books, literature, and tutorials on the internet, as reference material and then analyzing solutions that can be taken in solving problems. From the results of tests carried out by using RTL-SDR on the Single Board Computer (SBC), Raspberry pi can display the frequency spectrum whether it is done singly or applied to the network so that it can be used as a learning medium for wireless technology practice or other materials that measure frequency from sergi, the performance of the trainer spectrum analyzer with the use of raspberry pi as a device for processing radio / wireless signals is quite good at utilization with CLI mode (command line interface) but is relatively slow when used on the desktop as a portable spectrum analyzer that can be used as a learning medium.

Keywords: spectrum analyzer; RTL-SDR; portable trainer

1. PENDAHULUAN

Dalam membangun suatu peralatan sistem komunikasi, secara garis besar dibutuhkan minimal tiga tahapan, yaitu tahap perencanaan, tahap implementasi (instalasi), dan tahap pengujian. Dari ketiga tahapan tersebut, tahap pengujian merupakan tahapan yang paling menentukan, dikarenakan dari tahap inilah dapat diketahui kekurangan-kekurangan serta kinerja dari sistem yang telah dirancang. Tahap dimana suatu alat yang secara umum digunakan untuk dapat mendeteksi dan menguji kinerja sistem rancangan bangun yang dibuat tersebut. Salah satu jenis perangkat instrumentasi yang umumnya digunakan untuk mengukur frekuensi adalah *Spectrum Analyzer*.

Spectrum Analyzer merupakan suatu perangkat instrumentasi yang mampu menampilkan dan menganalisa spektrum frekuensi suatu sinyal input. *Spectrum Analyzer* dibuat untuk dapat mengubah suatu sinyal berdasarkan domain waktu (*time domain*) untuk menjadi signal yang domain frekuensi (*frekuensi domain*), kemudian menampilkannya pada bagian display yang telah disediakan. Dengan peralatan *Spectrum Analyzer* diharapkan dapat menganalisa kondisi atau bentuk suatu sinyal inputan pada range frekuensi tertentu berdasarkan bentuk spektrum sinyal yang diterimanya. Beberapa parameter yang mampu dianalisis oleh suatu *Spectrum Analyzer* adalah besarnya *bandwidth sinyal*, *power* (daya) dari sinyal yang diterima, atau besarnya *noise* yang ikut terbawa oleh sinyal input, serta terdapatnya frekuensi IM (*Intermediate Frequency*) serta terjadinya *interferensi* pada sinyal.

Keberadaan *Spectrum Analyzer* menjadi perangkat yang handal dalam menganalisis atau menguji kondisi suatu sistem frekuensi dalam suatu jaringan komunikasi. Kondisi yang sering terjadi adalah harga beli dari sebuah *Spectrum Analyzer* yang cukup tinggi menyebabkan banyak pihak yang belum mampu memilikinya. Salah

satu solusi untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan membuat suatu *hardware* yang mampu melakukan unjuk kerja yang sama seperti *Spectrum Analyzer* tetapi dengan harga yang relatif lebih murah. *Prototype Spectrum Analyzer* yang akan diimplementasikan merupakan suatu perangkat yang mampu menampilkan spektrum suatu sinyal pada range frekuensi tertentu.

Dilihat dari sudut pandang harga beli, nilai *Spectrum Analyzer* sangat berbeda dengan harga *Prototype Spectrum Analyzer* ini yang memiliki harga relatif lebih murah, tetapi *fitur* yang dimiliki tidak selengkap *Spectrum Analyzer*. Selain itu, dengan adanya *Prototype Spectrum Analyzer* ini, diharapkan dapat difungsikan sebagai alat bantu pembelajaran yang dapat dimanfaatkan dosen dalam pembelajaran wireless untuk menunjang dan meningkatkan kualitas pembelajaran.

Dari kondisi tersebut, sehingga dilakukan rekayasa dengan judul “Rancang Bangun *Trainer Prototype Spectrum Analyzer* berbasis *Raspberry Phyton* dan *Register Transfer Level-Software Defined Radio*”.

2. METODE

Rekayasa ini dilaksanakan dari bulan Juli sampai dengan Oktober 2020 di Kampus Polteknik Penerbangan Makassar dan ujicoba alat dengan alat pembanding dilaksanakan di Otban Wilayah V makassar. Rancang bangun *Trainer Prototype Spectrum Analyzer* berbasis *Raspberry Phyton* dan *Register Transfer Level - Software Defined Radio* ini dikerjakan oleh 2 (dua) orang dosen dan tidak melibatkan aktivitas taruna dalam proses rancang bangun dikarenakan mengantisipasi kondisi pandemi COVID-19 yang masih mewabah.

Teknik atau metode yang digunakan dalam pengumpulan data yaitu metode pustaka dengan cara mengumpulkan beberapa data tertulis baik dari buku, *literature*, dan *tutorial-tutorial* di internet, sebagai bahan referensi kemudian

menganalisa solusi yang dapat diambil dalam penyelesaian masalah.

- a. Jenis Rekayasa
 Jenis rekayasa yang digunakan *Research and Development* dengan pendekatan *experimental*.
- b. Instrumen Pengumpulan Data
 Pengumpulan data membutuhkan Instrumen rekayasa yaitu alat atau fasilitas yang digunakan berupa rancangan alat *spectrum analyzer*, alat pembanding *spectrum analyzer*, *laptop*, dan alat tulis.
- c. Metode Pengumpulan Data
 Metode pengumpulan data pada rekayasa ini yaitu menggunakan metode tes dengan tujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari alat peraga / *prototype* yang dikembangkan.
- d. Analisis data
 Dalam rekayasa ini, digunakan metode pengujian *check list* yang berfokus pada persyaratan fungsional perangkat lunak. Tahap Pengujian menggunakan metode *check list* dimaksudkan untuk menemukan kesalahan dalam kategori-kategori sebagai berikut: (1) fungsi-fungsi yang tidak benar atau hilang, (2) kesalahan *interface*, (3) kesalahan dalam struktur data atau akses *database eksternal*, (4) kesalahan unjuk kerja dan (5) tahapan inisialisasi dari kesalahan terminasi
- e. Desain Rekayasa
 Desain rekayasa yang digunakan dalam rekayasa ini adalah model pengembangan ADDIE. Didalam teori Model ADDIE dibagi atas lima langkah tahapan diantaranya tahapan *analyze*, tahapan *design*, tahapan *develop*, tahapan *implement*, and tahapan *evaluate* (Arkun and Akkoyunlu, 2008).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. RTL-SDR

Software Defined Radio (SDR) menghadirkan banyak fungsionalitas sebagai perangkat lunak, SDR mengurangi biaya pemeliharaan perangkat keras dan peningkatan gradasi. Perangkat keras *open source* seperti USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) dan perangkat lunak yang disebut *GNU Radio-Companion* biasanya digunakan untuk melakukan eksperimen di SDR.

Untuk tujuan transmisi, rangkaian mixer dapat digunakan untuk memetakan sinyal baseband ke pita yang dapat diterima oleh RTL-SDR di ujung lain pada platform Linux / Windows. Ujicoba awal dilakukan secara simulasi, selanjutnya diuji dengan perangkat keras berbiaya rendah seperti mixer dan RTL-SDR. RTL-SDR adalah dongle USB ~ \$ 25 yang sangat murah yang dapat digunakan sebagai pemindai radio berbasis komputer untuk menerima sinyal radio langsung di wilayah tertentu (tidak perlu internet). Tergantung pada model tertentu, dapat menerima frekuensi dari 500 kHz hingga 1,75 GHz.

1) *Software Defined Radio*

Komponen radio seperti *modulator*, *demodulator*, dan *tuner* secara tradisional diimplementasikan dalam komponen perangkat keras analog. Munculnya komputasi modern dan konverter analog ke digital memungkinkan sebagian besar komponen berbasis perangkat keras tradisional ini diimplementasikan dalam perangkat lunak. Oleh karena itu, istilah perangkat lunak mendefinisikan radio. Hal ini memungkinkan pemrosesan sinyal yang mudah dan karenanya radio pemindai pita lebar yang murah dapat diproduksi.

2) *Range frekuensi RTL-SDR*

Tergantung pada *varian tuner* tertentu yang digunakan dalam *dongle*, dan implementasi tertentu. Beberapa dongle, seperti RTL-SDR Blog V3 menggunakan mode pengambilan sampel langsung yang dapat mengaktifkan penerimaan di bawah 28 MHz.

Tabel 1. Range frekuensi RTL-SDR

Tuner	Rentang frekuensi
Elonics E4000	52 - 2200 MHz dengan jarak antara 1100 MHz hingga 1250 MHz (bervariasi)
Rafael Micro R820T / 2	24 - 1766 MHz (Dapat ditingkatkan hingga ~ 13 - 1864 MHz dengan <u>driver eksperimental</u>)
Fitipower FC0013	22 - 1100 MHz
Fitipower FC0012	22 - 948,6 MHz
FCI FC2580	146 - 308 MHz dan 438

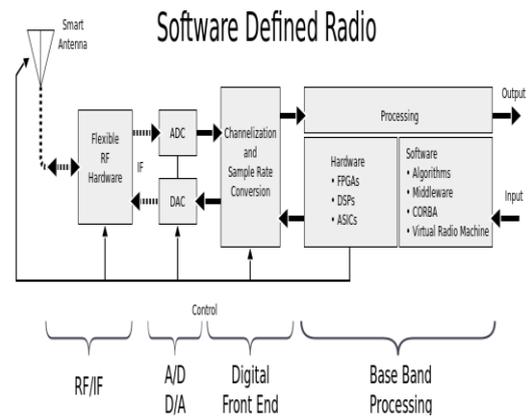
	- 924 MHz (jarak di antara keduanya)
--	--------------------------------------

(Sumber Tabel: [Osmocom](#))

- 3) Tingkat sampel RTL-SDR
 Kecepatan sampel maksimum adalah 3,2 MS / s (sampel mega per detik). Namun, RTL-SDR tidak stabil pada tingkat ini. Kecepatan sampel maksimum yang aman adalah 2.56 MS / s, namun beberapa kondisi dengan 2.8MS / s dan 3.2 MS / s bekerja dengan baik pada beberapa port USB 3.0.
- 4) Resolusi ADC RTL-SDR
 Resolusi asli adalah 8 bit, tetapi Jumlah Efektif Bit (ENOB) diperkirakan ~7. Penghancuran perangkat lunak dapat meningkatkan nilai tersebut.
- 5) Impedansi masukan RTL-SDR
 Karena *dongle* ini ditujukan untuk TV, sebagian besar dongle akan memiliki impedansi input sekitar 75 Ohm, meskipun tidak mungkin tepat 75 Ohm di seluruh rentang frekuensi, kehilangan daya akibat ketidaksesuaian saat menggunakan kabel 50 Ohm pada input 75 Ohm akan sangat minimal yaitu kurang dari 0,177 dB. Namun, dongle lebih baru yang dilengkapi dengan konektor SMA akan berukuran 50 Ohm.
- 6) Persyaratan PC minimum
 Secara umum, setidaknya prosesor inti ganda akan diperlukan untuk perangkat lunak radio berbasis GUI yang paling umum. PC papan tunggal seperti *Raspberry Pi* dan perangkat seluler Android juga dapat menjalankan beberapa aplikasi.

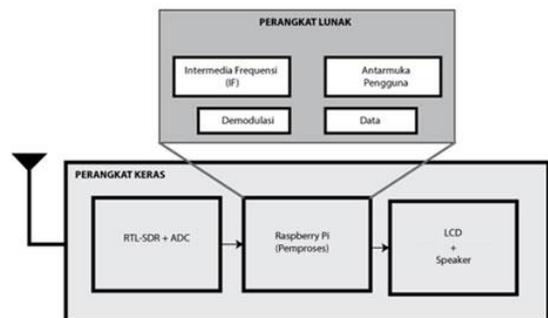
b. Perbandingan dengan Radio Perangkat Lunak Komersial Pita Lebar lainnya.

Perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*), secara sistematis perancangan sistem melibatkan tiga bagian yaitu masukan (*input*), pemroses (*process*), dan keluaran (*output*). tiap tahap perancangan memiliki fungsi yang berbeda tetapi dalam fungsi rangkaian yang sama. Berikut diagram Blok sistem rancang bangun *software defined radio* (SDR).

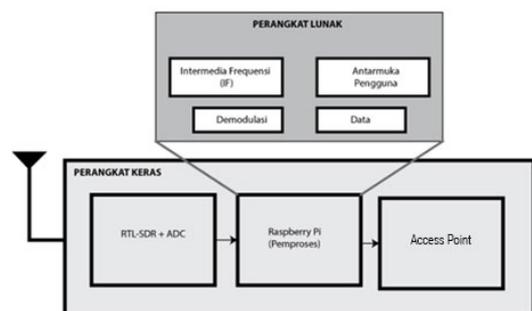


Gambar 1. Blok diagram SDR

Berdasarkan gambar diatas, blok analog digital converter/digital analog converter (ADC/DAC) terletak lebih dekat dengan antena untuk melakukan konversi analog ke digital atau digital ke analog, sehingga membutuhkan *wide band* ADC/DAC. Prosesor akan berfungsi sebagai radio yang dilakukan oleh perangkat lunak *wide band* ADC/DAC terletak setelah blok *Down/Up Converter*, sehingga konverter analog ke digital atau sebaliknya dilakukan terhadap sinyal *intermediate frequency* (IF) dengan frekuensi yang lebih rendah sinyal radio frekuensi (RF). Dari segi perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan dengan mengacu pada blok diagram SDR.



Gambar 2. Blok Pengujian Pertama Trainer Spektrum Analyzer



Gambar 3. Blok Pengujian Kedua Trainer Spektrum Analyzer

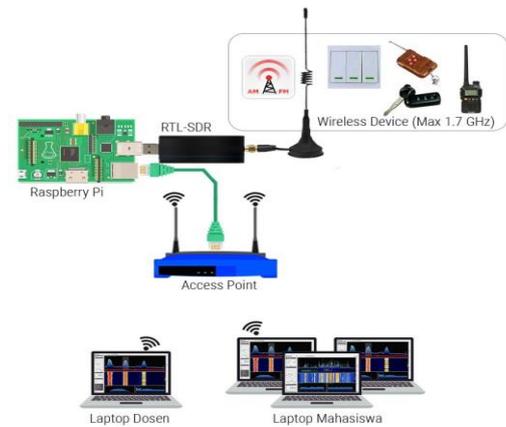
Komputasi SDR pada prinsipnya adalah kumpulan perangkat keras yang disusun sedemikian rupa sehingga memungkinkan fungsi radio dapat diimplementasikan fungsi radio dengan menggunakan perangkat *software* sehingga syarat yang harus dipenuhi adalah bahwa sinyal yang diproses harus berupa sinyal digital. Pada rangkaian *Rf amplifier* dan rangkaian *Up/Down converter* berfungsi sebagai pengkondisi sinyal (*signal conditioning*) termasuk ADC, perangkat lunak (*software*) untuk menjalankan fungsi radio penerima adalah wujud dari system pengolahan sinyal (*signal processing*), serta sebagai layar monitor untuk menampilkan hasil pengelolaan signal dan speaker sebagai wujud dari tampilan (*display*) dalam sistem.

Pada blok masukan *Software Define radio* merupakan perangkat penerima sinyal radio yang akan dijadikan masukan untuk *Raspberry Pi*. Sedangkan *power supply* digunakan untuk menghidupkan *server*. Sedangkan blok proses *Raspberry Pi* berfungsi sebagai server dalam pemrosesan data berupa audio. Pada rancangan ini, SDR (*Software Define Radio*) yang digunakan pada DVB-T tuner yang berbasis *chipset* RTL2832U. Sinyal input dan output data dapat diakses secara langsung, sehingga memungkinkan DVB-T Tuner yang berbasis *chipset* RTL2832U dikonversi menjadi SDR *wideband* melalui *software* RTL-SDR ini.

Fungsi dari bagian utama blok diagram rancang bangun *software defined radio* (SDR) yaitu:

- 1) Masukan (*Input*) untuk bagian masukan (*input*) pada pengguna sebelum terkoneksi dengan sistem, pengguna harus mengaktifkan terlebih dahulu *software defined radio* (SDR) yang terkoneksi ke *raspberry*.
- 2) *Software defined radio* (SDR) pada bagian proses dimanfaatkan sebagai perangkat penghubung ke mini PC pengguna. *software defined radio* yang sudah terpasang pada port USB mini PC akan menerima data proses yang diperintahkan dari pengguna, melalui *raspberry* agar melakukan proses keluaran (*output*).
- 3) Pada bagian keluaran atau *output* merupakan proses hasil akhir dari instruksi atau perintah dari pengguna berupa audio yang berasal dari mini PC. Output dapat disesuaikan dengan perintah atau kebutuhan pengguna.

Adapun rancangan *prototype* yang dibuat secara keseluruhan digambarkan seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. Rancangan *Topology Spectrum Analyzer*

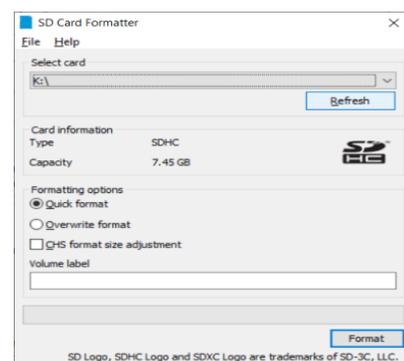
c. Implementasi

Secara keseluruhan hasil implementasi pada rekayasa ini di kemas bentuk *trainer* yang dilengkapi beberapa perangkat *wireless*, seperti *access point*, berbagai macam *remote* yang digunakan sebagai *sample* pengujian.



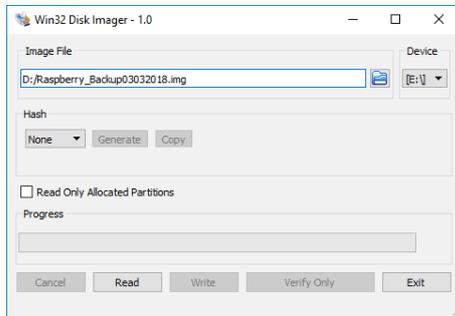
Gambar 5. *Trainer* Hasil 1 Implementasi rekayasa

Adapun tahapan dilakukan pada rekayasa ini dimulai dari proses instalasi sistem operasi pada *SD card*. terlebih dahulu dilakukan proses Format *SD card* menggunakan *SD card formatter*.



Gambar 6. Aplikasi *SD Card Formatter*

Selanjutnya dilakukan proses burning image sistem operasi yang telah didownload dengan menggunakan program win32 disk imager.



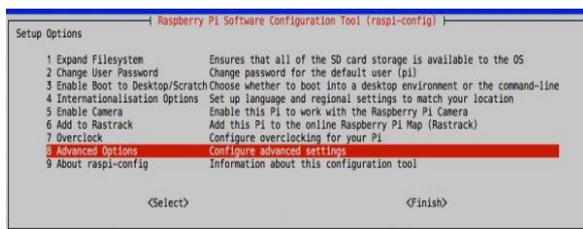
Gambar 7. Aplikasi Win32 Disk Imager

Setelah SD Card berisi berisi sistem operasi tersebut dipasang pada raspberry Pi lalu dilakukan proses booting dengan menghubungkan raspberry Pi dengan power supply dan display HDMI. Adapun proses booting raspberry dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 8. Proses booting Raspberry Pi

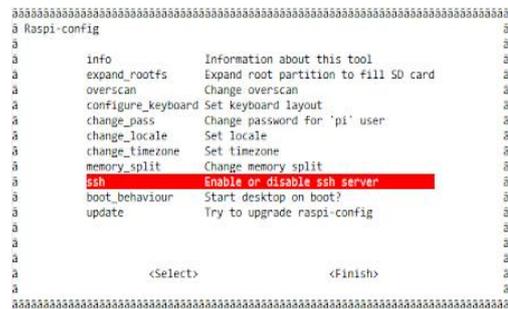
Setelah proses booting selesai dilanjutkan dengan login sistem operasi dengan username dan password default adalah raspberry. Setelah itu dilakukan konfigurasi awal dengan mengetik perintah `sudo raspi-config`.



Gambar 9. Tampilan konfigurasi Raspberry pi

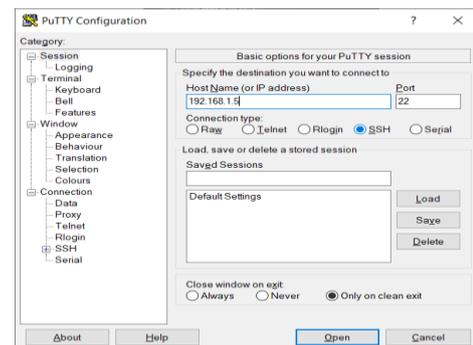
Agar raspberry dapat dikontrol dari komputer lain, maka fitur SSH server diaktifkan selanjutnya proses konfigurasi berikutnya dilakukan melalui perangkat komputer yang

menggunakan sistem operasi Windows. Adapun aplikasi yang digunakan untuk melakukan remote SSH yang digunakan adalah aplikasi putty. Untuk megaktifkan fitur ssh pada raspberry maka dilakukan konfigurasi sebagai berikut:



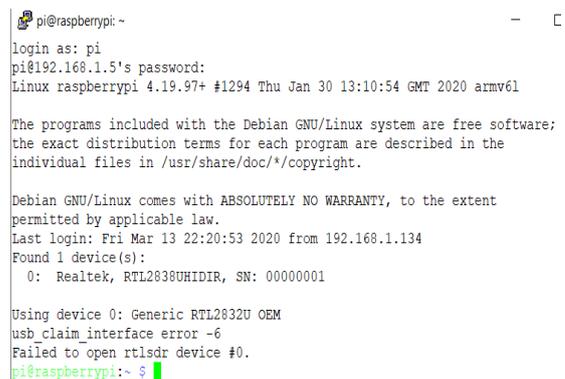
Gambar 9. Mengaktifkan Protocol SSH pada Raspberry pi

Untuk mengkonfigurasi raspberry pi melalui komputer lain dengan mengakses raspberry pi melalui protocol SSH dengan menggunakan aplikasi putty.



Gambar 10. Remote SSH dengan aplikasi Putty

Setelah dihubungkan ke raspberry maka akan tampak tampilan yang mengharuskan pengguna memasukkan username dan password, selanjutnya sistem akan mendeteksi perangkat RTL SDR, adapun tampilannya tampak pada gambar dibawah ini.



Gambar 11. Login Raspberry Pi menggunakan Putty – SSH

konfigurasinya tampak pada gambar di bawah ini.

Secara *default raspberry pi* mendapatkan *IP address* dari *Access Point* dan *IP address* tersebut bersifat dinamik, agar *IP address Raspberry pi* tidak berubah-ubah maka dilakukan konfigurasi *IP Raspberry pi* secara manual. Adapun implimentasinya tampak pada gambar dibawah ini. selanjutnya dilakukan konfigurasi *IP address* pada komputer *raspberry* agar *IP address* yang dimiliki tidak berubah ketika perangkat diaktifkan ulang.

```

pi@raspberrypi: ~
GNU nano 3.2 /etc/dhcpd.conf

#static ip_address=192.168.0.10/24
#static ip6_address=fd51:42f8:caae:d92e::ff/64
#static routers=192.168.0.1
#static domain_name_servers=192.168.0.1 8.8.8.8 fd51:42f8:caae:d92e::1

# It is possible to fall back to a static IP if DHCP fails:
# define static profile
#profile static_eth0
interface eth0
static ip_address=192.168.1.5/24
static routers=192.168.1.1
static domain_name_servers=192.168.1.1

# fallback to static profile on eth0
#interface eth0
#fallback static_eth0
    
```

Gambar 12. Implementasi IP Static Raspberry Pi

Agar RTL-SDR dapat berfungsi secara otomatis ketika sistem dilakukan *booting* maka perlu di buat *script* agar aplikasi *rtl_tcp* dapat berjalan secara otomatis.

```

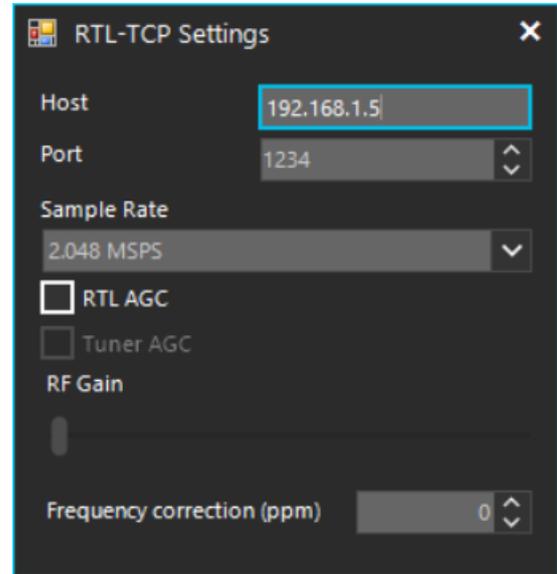
pi@raspberrypi: ~
GNU nano 3.2 /home/pi/.bashrc

# enable programmable completion features (you don't need to enable
# this, if it's already enabled in /etc/bash.bashrc and /etc/profile
# sources /etc/bash.bashrc).
if ! shopt -oq posix; then
  if [ -f /usr/share/bash-completion/bash_completion ]; then
    . /usr/share/bash-completion/bash_completion
  elif [ -f /etc/bash_completion ]; then
    . /etc/bash_completion
  fi
fi

sudo rtl_tcp -a 192.168.1.5
    
```

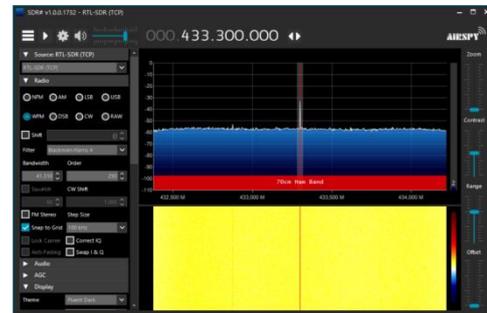
Gambar 13. Implementasi startup stl_tcp

Setelah server aktif selanjutnya pada sisi client dihubungkan koneksi dengan memasukkan *ip address* pada konfigurasi SDR_TCP. Adapun



Gambar 14. Konfigurasi koneksi RTL-TCP dari Client

IP 192.168.1.5 adalah *IP address Raspberry pi* sedangkan 1234 adalah *port* yang digunakan oleh *RTL_SDR*.



Gambar 15. Tampilan Spectrum Analyzer pada client

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang dilakukan dengan penggunaan *RTL-SDR pada Single Board Computer (SBC) Raspberry pi* dapat menampilkan spectrum frekuensi baik itu dilakukan secara tunggal ataupun diterapkan pada jaringan sehingga dapat digunakan sebagai media pembelajaran praktik teknologi wireless atau pun materi lain yang melakukan pengukuran frekuensi.

Dari sergi performa kinerja *trainer spectrum analyzer* dengan pemanfaatan *raspberry pi* sebagai perangkat untuk mengolah sinyal radio/ *wireless* cukup baik pada pemanfaatan dengan mode *CLI (command line*

Interface) namun relatif lambat jika digunakan pada desktop sebagai alat *portable spectrum analyzer* yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran.

Engineering ISSN 2309-0952 Vol. 44:
151-159, 2016.

Saran

- a. Perlu dikembangkan *range* frekuensi yang dapat dijangkau rancangan *trainer spectrum analyzer*
- b. Untuk implementasi *spektrum analyzer* perlu dipertimbangkan penggunaan *desktop* karena akan membebani CPU untuk *visual spektrum* terutama pada penerapan di *Single Board Computer* seperti *raspberry-pi*.
- c. Peralatan rancangan *trainer* akan diujicobakan dilingkungan politeknik penerbangan setelah taruna masuk kampus (pembelajaran secara off line)
- d. Perlu dilakukan rekayasa lanjutan untuk menambah fasilitas yang ada pada purwarupa *spectrum analyzer*.

Onno W Purbo., Protus Tanahandaru. (2011). Jaringan *Wireless* di Dunia Berkembang. Andi Yogyakarta.

www.RTL-sDR.com/about-RTL-sDR di akses tanggal 1 februari 2020 .

www.GNU.rado.com.di akses tanggal 2 februari 2020

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Politeknik Penerbangan Makassar yang telah mendanai penelitian ini. Terima kasih pula kami ucapkan kepada pihak Otoritas Bandara Wilayah V Kota Makassar yang telah membantu menguji unjuk kerja rancang bangun *trainer prototype spectrum analyzer* ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Andi Dinata. (2017). Physical computing dengan raspberrry pi. Jakarta. PT Elex media kompulindo.
- Balkom kelas II semarang. (2017). Pengendalian spektrum frekuensi radio di wilayah jawa tengah. Solo.
- Carl Laufer. (2014). "The Hobbyist's Guide to the RTL-SDR: Really Cheap Software Defined Radio," Kindle Edition, Published on May 14, 2014.
- Lawshe, C.H. (1975). *A Quantitative Approach to Content Validity*. Personnel Psychology. 28(4), 563-575.
- Md. Habibur Rahman and Md. Mamunoor Islam, (2016). A Practical Approach to Spectrum Analyzing Unit Using RTL-SDR Rajshahi University Journal of Science &