

Penerima Sinyal VOR dan ILS untuk Alat Bantu Pengecekan di Darat

VOR and ILS Signal Receivers for Ground Inspection Aids

Toni ¹, Muhammad Arif Sulaiman^{2*}, Mochamad Faisal Yoga Dewantara ³, Muh Wildan ⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

toni@ppicurug.ac.id¹, arif.sulaiman@ppicurug.ac.id^{2*}, faisalyoga@ppicurug.ac.id³,

muh.wildan@ppicurug.ac.id⁴

Abstrak – Penelitian ini membahas perancangan aplikasi Navigation Analyzer fasilitas bantu navigasi udara yang dalam hal ini adalah VOR dan ILS (Localizer, Glide path) menggunakan perangkat Software Define Radio dari REALTEK (RTL-SDR). Perangkat RTL-SDR yang digunakan berbentuk dongle dengan frekuensi yang dapat diatur dari 500 kHz – 1,7 GHz. Oleh karena itu, perangkat ini mendukung frekuensi kerja VOR yaitu 108,0 hingga 117,95 MHz, Localizer yaitu 108,1 hingga 111,95 MHz, Glide Path yaitu 328,6 MHz hingga 335,40 MHz. Aplikasi rancangan akan disematkan pada Raspberry Pi yang telah dilengkapi dengan Layar Sentuh 3,5 Inch. Kontrol dan Pengolahan data dari RTL-SDR ini diolah menggunakan Bahasa pemrograman Python dan Kivy. Kinerja rancangan akan diuji menggunakan simulator IFR 4000 dengan dua metode yaitu dengan antenna dan tanpa antenna dengan berfokus pada parameter utama yaitu Azimuth pada VOR dan DDM pada Localizer dan Glide Path. Hasil uji dari rancangan menunjukkan pengujian tanpa antenna lebih stabil dibandingkan dengan menggunakan antenna, walaupun masih terdapat deviasi Azimuth sebesar 0,1 hingga 0,6^o pada VOR, deviasi DDM sebesar 0,0079 pada Localizer, deviasi DDM sebesar 0,02 pada Glide Path.

Kata Kunci: VOR, Localizer, Glide Path, Navigation Receiver.

Abstract – This research discusses the design of Navigation Analyzer application on navigation aid equipment, which in this case is VOR and ILS (Localizer, Glide Path) using Software Design Radio (RTL-SDR) by REALTEK. The RTL-SDR device in dongle form has adjusted frequency with range 500 kHz to 1.7 GHz. Thus, the device supports VOR range frequencies from 108.0 MHz to 117.95 MHz, Localizer from 108.1 MHz to 117.95 MHz, Glide Path from 108.1 MHz to 335.40. The application of design will be included in the Raspberry Pi, which is equipped with a 3.5-inch touch-screen display. Control and processing of data from RTL-SDR using Python and Kivy programming languages. Design performance will be tested using the IFR 4000 simulator by two methods, which are with antennas and without antennas by focusing on the main parameters, VOR Azimuth and Localizer and Glide Path DDM. The test results from the design show that testing without antennas is more stable than using antennas, although there is still an Azimuth deviation of 0.1 to 0.6 Degrees in VOR, DDM deviation of 0.0079 in the Localizer, DDM deviation of 0.02 in the Glide Path.

Keywords: VOR, Localizer, Glide Path, Navigation Receiver.

1. Pendahuluan

Instrument Landing System (ILS) merupakan salah satu instrument navigasi nonvisual yang digunakan pilot untuk melakukan prosedur pendekatan dan pendaratan secara tepat pada suatu bandara[1]. Localizer merupakan sub-sistem dari Instrument Landing System (ILS), dengan memancarkan sinyal panduan pendaratan tepat pada centerline runway. Panduan dari Localizer

TELKA, Vol.10, No.3, November 2024, pp. 217~229

ISSN (e): 2540-9123

ISSN (p): 2502-1982

dihasilkan oleh perbedaan modulasi 90 dan 150 Hz [2]. Pancaran *Localizer* mencakup 25 NM dengan rentang frekuensi 108-112 MHz. *Centerline* pada landasan pacu diindikasikan oleh *Localizer* dengan nilai 0 DDM atau 0 μA . Sedangkan pada titik *Course Width* ditandai dengan indikasi 15,5% DDM atau 150 μA , dimana positif 150 μA adalah batas indikasi “*Fly left*” dan negatif 150 μA adalah batas indikasi “*Fly right*” seperti terlihat pada Gambar 1. nilai DDM ini diperoleh melalui persamaan:

$$DDM = \% \text{ Mod } 150 \text{ Hz} - \% \text{ Mod } 90 \text{ Hz} \tag{1}$$

Persen modulasi 90 Hz dan 150 Hz dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta P = 10 \log \frac{P_{USB/LSB}}{P_{CARR}}$$

$$\frac{\Delta P}{10} = \log \frac{P_{USB/LSB}}{P_{CARR}}$$

$$\frac{P_{USB/LSB}}{P_{CARR}} = 10^{\frac{\Delta P}{10}} \tag{2}$$

$$m = \sqrt{4x \frac{P_{USB/LSB}}{P_{CARR}}} x 100\% \tag{3}$$

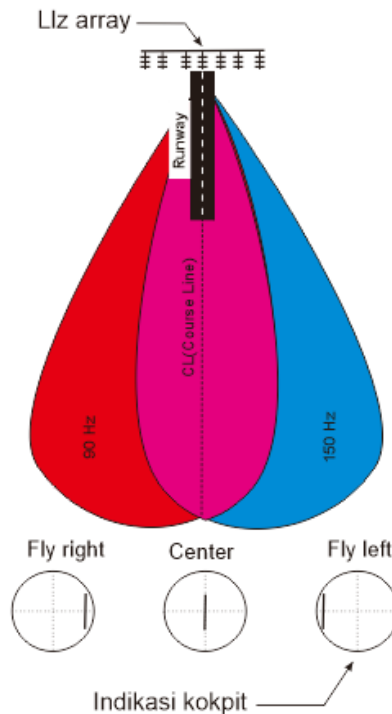
Persamaan (2) dimasukkan ke persamaan (3):

$$m = \sqrt{4x 10^{\frac{\Delta P}{10}}} x 100\% \tag{4}$$

dengan:

m = Persen Modulasi (%)

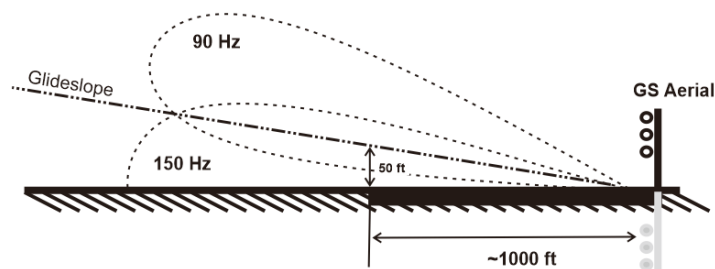
ΔP = Power Level USB/LSB – Power Level Carrier



Gambar 1. Pola pancaran *Localizer*.

Selain *Localizer* juga terdapat peralatan *Glide Path* yang berfungsi memberikan panduan sudut pendaratan dengan sudut $\pm 3^0$ agar pesawat tepat berada pada titik sentuh pendaratan (*touch down point*). Untuk menghasilkan hal tersebut, antenna *Glide Path* dipasang pada tiang vertikal,

satu antenna diatas antenna yang lain. Tanah (*terrain*) di depan antenna *Glide Path* berfungsi sebagai *reflector* dan sudut pendaratan ditentukan oleh tinggi antenna terhadap tanah [3] seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola pancaran *Glide Path*.

DVOR (Doppler VHF Omni-directional Range) adalah sebuah alat bantu navigasi udara seperti halnya ILS, dengan fungsi memberikan informasi arah radial (azimuth) kepada pesawat udara terhadap arah referensi Utara magnetik Bumi dengan cara membandingkan sinyal 30 Hz AM dan 30 Hz FM yang dimodulasikan dalam sinyal pembawa dengan frekuensi 108 Mhz – 118 MHz. Pada DVOR terdapat beberapa buah antenna melingkar dimana terdapat 48 antenna pada sisi pinggir *counter poise* berbentuk lingkaran dan satu buah antenna tengah. Antena ini seolah-olah berputar berlawanan arah jarum jam secara horizontal terhadap antenna tetap yang terletak di bagian tengah. Pesawat udara yang terletak pada suatu jarak tertentu akan menerima perubahan frekuensi pada saat putaran menuju pesawat dan akan mengalami pengurangan frekuensi apabila perputaran antenna menjauhi pesawat. 48 antenna pinggir tersebut adalah antenna *sideband* sedangkan satu antenna tengah adalah antenna *carrier*. DVOR memancarkan beberapa sinyal, diantaranya :

- 1) *Frequency Carrier* (F_c) = 108 – 111,975 Mhz;
- 2) *Frequency Upper Side Band* (USB) = $F_c + 9960$ Hz;
- 3) *Frequency Lower Side Band* (LSB) = $F_c - 9960$ Hz;
- 4) Referensi 30 Hz dan Variabel 30 Hz;
- 5) Sinyal Identifikasi (*Tone* 1020 Hz).

Prinsip kerja penerima DVOR pertama kali yaitu dengan membuang sinyal *carrier*. Sinyal yang diterima tanpa *carrier* disebut *composite signal*. *Composite signal* ini terdiri dari 9960 Hz, sinyal Referensi 30 Hz AM, 1020 Hz. 9960 Hz yang merupakan *subcarrier* memiliki nilai frekuensi yang berbeda karena termodulasi secara FM dimana perubahannya antara 9480 Hz hingga 10440 Hz atau $9960 \text{ Hz} \pm 480 \text{ Hz}$ yang kemudian didiskriminasi untuk menghasilkan 30 Hz yang disebut 30 Hz VAR (*Variable*) [4]. Untuk mendapatkan nilai *bearing* atau azimuth diperoleh dari perbedaan fasa dari 30 Hz REF dan 30 Hz VAR sedangkan untuk mendapatkan nilai FMI digunakan persamaan :

$$FMI = \frac{480 \text{ Hz}}{30 \text{ Hz}} \quad (5)$$

dengan:

$$FMI = FM \text{ Index} / \text{Deviation Index}$$

Penerima VOR dan ILS untuk keperluan pengujian di darat diperlukan untuk memastikan keandalan 168 VOR, 44 ILS di seluruh Indonesia [5]. Sementara itu, tuntutan produk dengan tingkat kandungan dalam negeri (TKDN) semakin ketat. Namun, Hal tersebut bukan lagi hal yang rumit dengan adanya teknologi *Software Define Radio*.

Teknologi *Software Defined Radio* (RTL-SDR) merupakan produk chip dari Realtek yang mampu membuat perangkat komunikasi yang besar menjadi lebih sederhana dan dalam bentuk USB dongle [6] Teknologi SDR diimplementasikan di beberapa fungsi pada sistem radio, seperti modulasi/demodulasi, pengolahan sinyal, pemrograman dan *link-layer protocol* pada *software*. Hal ini sangat membantu pada saat mendesain ulang sistem *software* radio dimana parameter-parameternya sering diubah-ubah untuk mendapatkan kualitas yang sesuai dengan yang

diharapkan. Pada sistem radio yang menggunakan *full hardware*, ini akan susah dilakukan karena parameter-parameter yang digunakan sudah tetap dan jika ingin mengubah suatu parameter maka *hardware*-nya juga harus diganti. Sistem radio yang dibangun menggunakan teknologi SDR, dapat dikembangkan untuk berbagai aplikasi yang menggunakan link-layer yang berbeda protokol dan teknik modulasi/demodulasi. RTL-SDR ini sudah mendukung pita kerja perangkat VOR dan ILS yaitu pada rentang *Very High Frequency* (VHF) serta memiliki akurasi yang baik jika dibandingkan dengan *spectrum analyzer* komersil [7].

Penggunaan RTL-SDR dan GNU-Radio banyak dibahas pada beberapa penelitian yang salah satunya oleh Yagoub [8]. Khusus untuk bidang peralatan navigasi, penelitian sebelumnya yaitu Park[9], Leosrisook et al [10], Yoga [11], Arnito et al. [12], dan Islam et al. [13]. Pada Tabel 1 menunjukkan penelitian yang telah ada sebelumnya belum berupa satu kesatuan antara VOR dan ILS, sehingga pada penelitian ini akan mengemas pengukuran VOR dan ILS dalam satu program. Pada penelitian ini akan dibahas perancangan dan pembuatan penerima VOR dan ILS melalui implementasi RTL-SDR yang dikendalikan oleh sebuah aplikasi grafis berbasis Blok GNU-Radio dan dijalankan menggunakan Raspberry Pi 3 B+ [14].

Tabel 1. Penelitian sejenis yang telah ada sebelumnya.

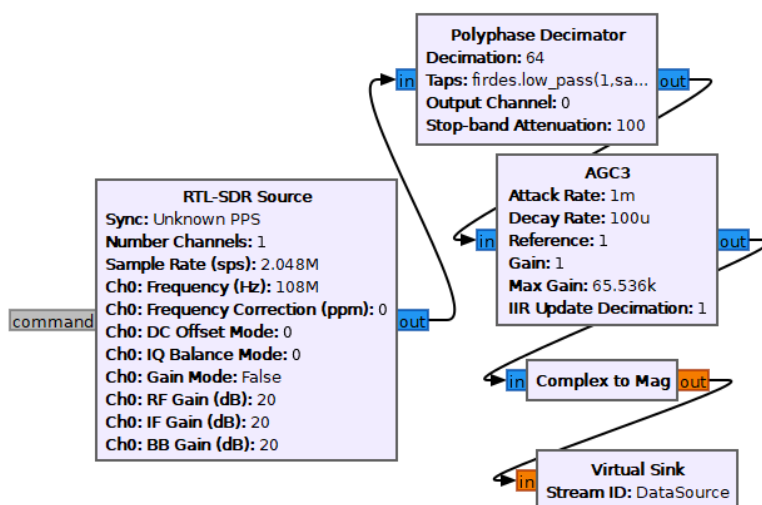
Nama Penulis	Peralatan	Fitur	Pemrograman
Park, J.I.L. (2011)	VOR	Perangkat Keras	-
Leosrisook, C. et al. (2014)	ILS	Aplikasi	GNU Radio (Python, C++)
Islam et al (2018)	ADS-B	Perangkat keras	-
Arnito et al. (2021)	VOR	Aplikasi	GNU Radio (Python)
Yoga, M. F. (2022)	Localizer	Aplikasi	Python, PHP, HTML, CSS
Penelitian ini	VOR/ILS	Aplikasi	Python, Kivy

2. Metode Penelitian

Pada bagian ini akan dijelaskan metode dan tahapan penelitian pada sub sistem penerima VOR dan ILS yang terdiri dari blok – blok GNU-Radio.

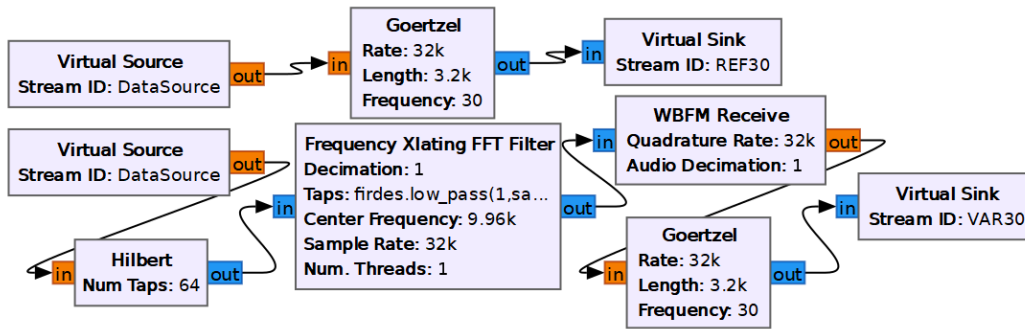
3.1. Pengolah sinyal digital penerima VOR

Sample rate pada RTL-SDR adalah sebesar 2,048 MHz. Sample rate ini adalah masih terlalu besar dan harus diturunkan (*Down sampling*) menggunakan *decimator* dengan target *sampling rate* sebesar 32 Khz maka diperlukan desimasi 64 kali. Digunakan *Polyphase Decimator* karena blok ini terdapat *decimator* sekaligus *Low Pass Filter* untuk menghilangkan carrier.



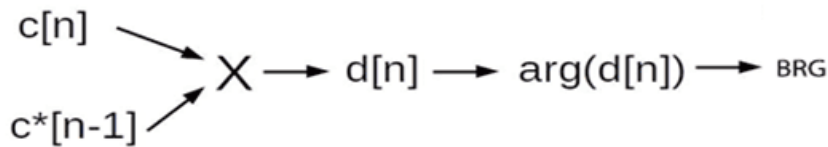
Gambar 3. Blok pengolahan awal sinyal *carrier*.

Deteksi *audio envelope* 30 Hz digunakan Goertzel filter. Filter ini dapat digunakan baik pada 30 Hz REF maupun 30Hz VAR. Akan tetapi untuk 30Hz VAR melalui Band Pass filter 9960 Hz terlebih dahulu.



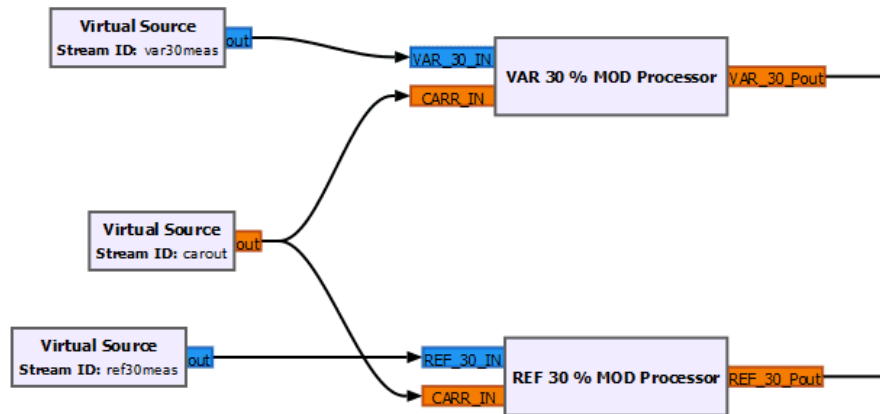
Gambar 4. Blok *envelope detector*.

Perkalian konjugat yang dalam hal ini antara 30 Hz REF dan 30 Hz VAR yang berbeda fasa sebesar $n-1$ akan menghasilkan bilangan kompleks baru seperti pada Gambar 5 yang nilai fasanya tergantung beda fasa sampel sebelumnya. “Arg” berfungsi untuk menghitung nilai fasa pada suatu sampel. Nilai fasa ini kemudian dijadikan nilai *Bearing*.



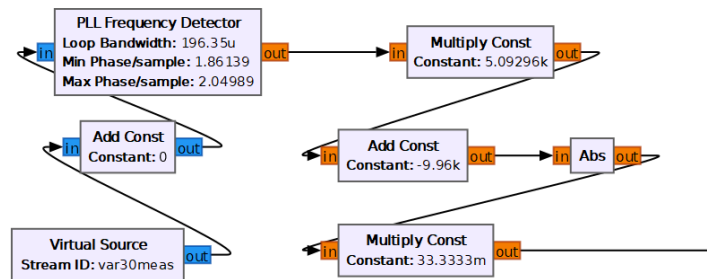
Gambar 5. Fungsi *bearing detector*.

Perhitungan persen modulasi menggunakan blok GNU-Radio dapat dilihat pada Gambar 6 Secara matematis dapat dihitung menggunakan persamaan (3).



Gambar 6. Blok 30 Hz REF dan 30 Hz VAR Percent Mod detector.

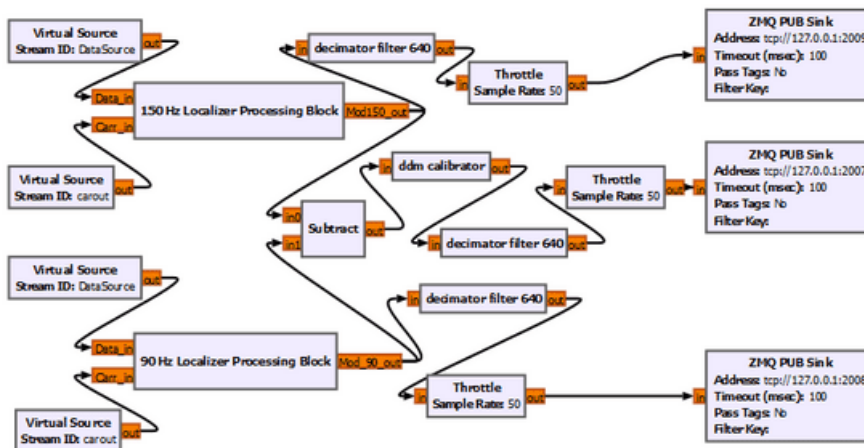
Perhitungan FM Index menggunakan persamaan (5) dimana 480 Hz merupakan perubahan frekuensi pada modulasi FM dengan pemodulasi 30 Hz terhadap 9960 Hz. Dengan demikian terjadi rapatan dan renggangan dengan nilai minimum 9480 Hz dan nilai maksimum 10440 Hz. Pada blok GNU Radio dapat dilihat pada Gambar 7.



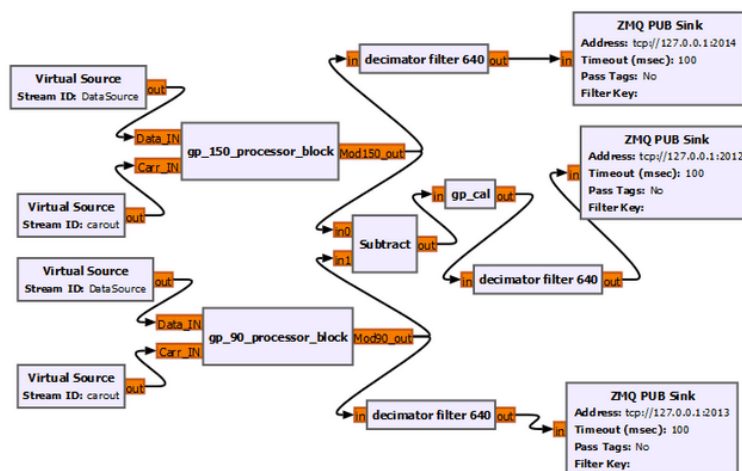
Gambar 7. Blok FM Index Detector.

3.2. Pengolah sinyal digital penerima Localizer dan Glide Path

Pengolahan awal sinyal *carrier* pada *localizer* dan *Glide Path* sama dengan pengolahan awal sinyal *carrier* pada DVOR seperti pada Gambar 3. Tahap selanjutnya adalah menghitung persen modulasi 150 Hz dan 90 Hz. Secara matematis blok ini menggunakan persamaan (4). Namun, pada ujung *processing block* ditambahkan filter *decimator* sebesar 640 kali secara bertingkat untuk memperoleh sampling rate 50 Hz seperti pada Gambar 8. Hal ini agar proses pengiriman data bisa lebih lambat dan hasil pengolahan pada Raspberry Pi bisa terlihat dengan jelas. Untuk memperoleh DDM digunakan persamaan seperti persamaan (1). Prinsip pengolahan pada *Localizer* juga berlaku pada *Glide Path* seperti pada Gambar 9.



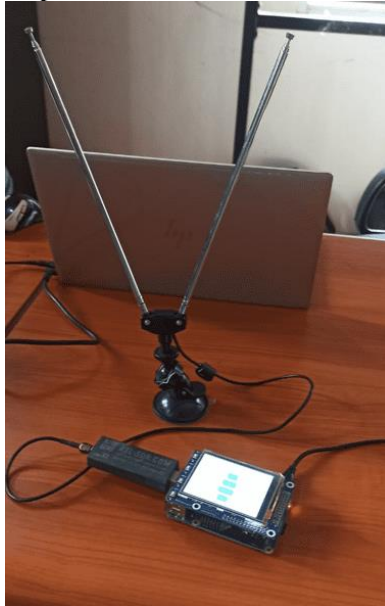
Gambar 8. Blok pengolah DDM dan modulasi 90/150 Hz Localizer.



Gambar 9. Blok pengolah DDM dan modulasi 90/150 Hz Glide Path.

3. Hasil dan Pembahasan

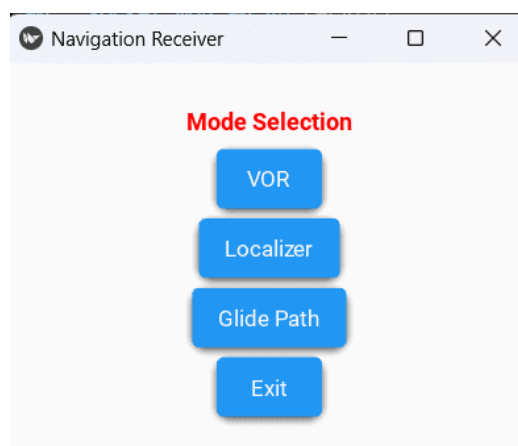
Pada bagian ini akan dijelaskan hasil dari pengujian beserta pembahasannya. Pengujian terdiri dari dua bagian yaitu pengujian fungsi antarmuka dan pengujian pembacaan parameter. Bentuk hasil rancangan dapat dilihat pada Gambar 10.



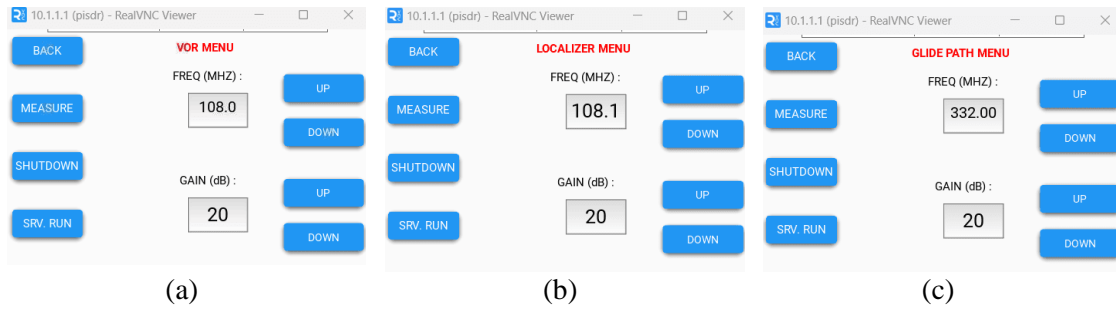
Gambar 10. Hasil perancangan penerima VOR dan ILS.

3.1. Pengujian fungsi antarmuka

Antarmuka pada penerima VOR dan ILS ini menggunakan bahasa pemrograman Kivy dan Python, dimana pada menu utama terdapat pemilihan mode peralatan, yaitu VOR dan ILS. Pada menu ILS terdiri dari *Localizer* dan *Glide Path* seperti pada Gambar 11. Pada tiap sub menu tiap mode peralatan, pengguna dapat mengatur frekuensi kerja dan *Gain* dari RTL-SDR. Terdapat pula tombol “SRV RUN” dan “SHUTDOWN” yang berfungsi untuk memanggil dan menutup program GNU-Radio secara latar belakang. Setelah program GNU-Radio berjalan maka pengguna dapat mengklik tombol “MEASURE” untuk memulai pengukuran parameter seperti yang terlihat pada Gambar 12.

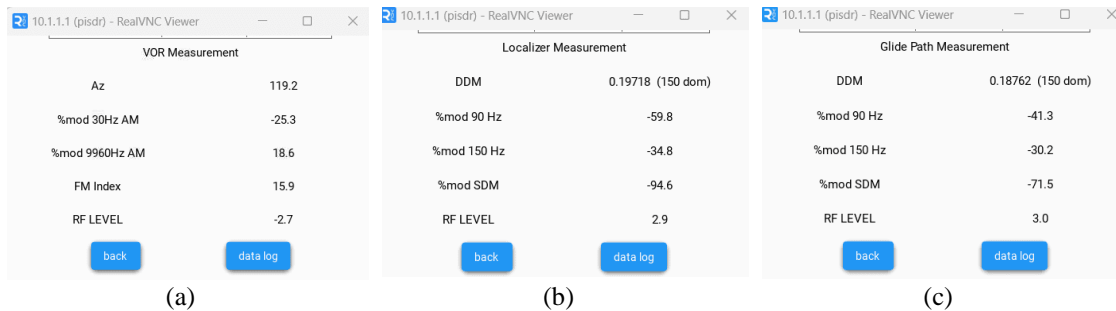


Gambar 11. Menu utama penerima VOR dan ILS.

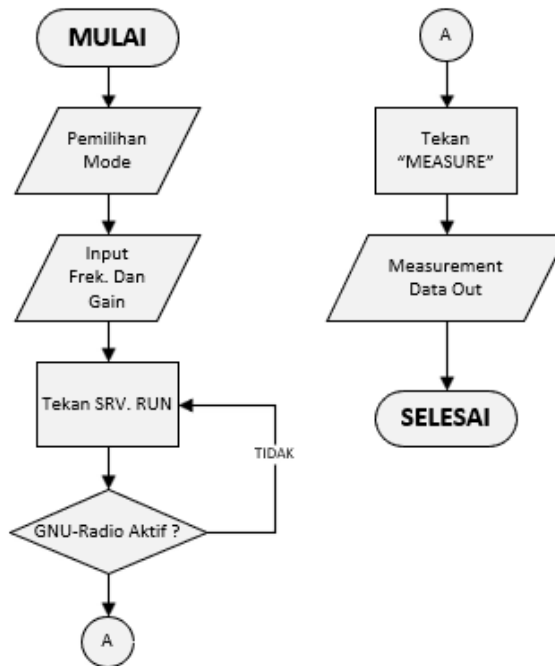


Gambar 12. Menu tiap mode peralatan, (a) VOR, (b) Localizer, (c) Glide Path.

Setelah menekan tombol “MEASURE”, pengguna akan diarahkan ke menu *measurement* seperti pada Gambar 13. Pada menu ini terdapat beberapa parameter pengolahan hasil pancaran dari peralatan. Peralatan VOR terdapat parameter Az (Azimuth), %mod 30 Hz AM (REF), %mod 9960 Hz AM (SUB CARR), FM Index, RF Level. Peralatan *Localizer* dan *Glide path* terdapat parameter DDM, %mod 90 Hz, %mod 150 Hz, %mod SDM, RF Level. *Flow chart* pengoperasian antarmuka penerima VOR dan ILS dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 13. Sub menu Mesurement tiap mode peralatan, (a) VOR, (b) Localizer, (c) Glide Path.



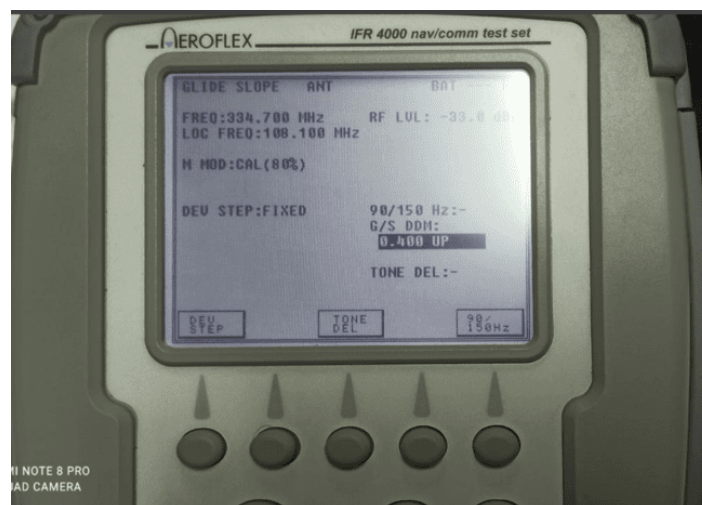
Gambar 14. Flow chart pengoperasian antarmuka penerima VOR dan ILS.

3.2. Pengujian pembacaan parameter

Pengujian pembacaan parameter dilakukan dengan menggunakan simulator ILS-VOR IFR-4000 dari AEROFLEX [15] sebagai sumber sinyal. Ada dua metode yang akan digunakan pada pengujian ini yaitu dengan antenna dan tanpa antenna. Pemancar ILS dan VOR yang sebenarnya menggunakan beberapa elemen antenna. Namun, pada IFR 4000 yang biasa digunakan untuk pengujian perangkat avionik pesawat terbang menggunakan antenna tunggal omnidirectional. Bentuk antenna RTL-SDR dan IFR 4000 dapat dilihat pada Gambar 15 sedangkan tampilan IFR 4000 dapat dilihat pada Gambar 16. Pada pengujian tanpa antenna, output IFR 4000 dihubungkan langsung dengan input RTL-SDR menggunakan kabel RF.



Gambar 15. Antena untuk keperluan pengujian, (a)Antena *omni directional* IFR 4000, (b) Antena dipol RTL-SDR.



Gambar 16. IFR 4000.

3.2.1. Pengujian VOR

Pengujian parameter VOR pada Tabel 2 menunjukkan hasil yang tidak berbeda jauh dengan pengaturan IFR 4000. Namun, pada pengujian dengan antenna diperoleh hasil ketidakpastian pengukuran hingga $0,9^{\circ}$. Sedangkan pengukuran tanpa antenna diperoleh hasil yang relatif stabil, namun terdapat deviasi minimal $0,1^{\circ}$ dan maksimal $0,6^{\circ}$ yang ditunjukkan pada Gambar 17. Perbedaan yang diperoleh antara pengujian dengan antenna dan tanpa antenna karena antenna yang digunakan bersifat pita lebar sehingga sangat memungkinkan harmonik ikut dalam pengolahan. Selain itu, penerima VOR dan ILS ini belum dilengkapi dengan *Band Pass Filter* pada pita frekuensi VOR dan ILS.

Tabel 2. Hasil Bearing/Azimuth pengujian penerima VOR.

IFR 4000 ($^{\circ}$)	RTL-SDR dengan antenna ($^{\circ}$)	RTL-SDR tanpa antenna ($^{\circ}$)
0 / 360	0 – 0,8	0,4
30	30 – 30,8	30,6
60	60 – 60,6	60,4
90	90 – 90,8	90,5
120	120 – 120,8	120,3
150	150 – 150,8	150,4
180	180 – 180,8	180,1
210	210 – 210,7	210,5
240	240 – 240,7	240,4
270	270 – 270,9	270,5
300	300 – 300,7	300,3
330	330 – 330,6	330,3



Gambar 17. Deviasi Azimuth antara pengaturan IFR 4000 dan pembacaan Penerima VOR.

3.2.2. Pengujian ILS

Pengujian *Localizer* dan *Glide Path* menggunakan IFR 4000 hanya dapat dilakukan pada beberapa pengaturan DDM saja. Pada *Localizer*, yaitu : 0; +/- 0,093; +/- 0,155; +/- 0,210 dimana tanda negatif menandakan sisi kiri landasan dan positif menandakan sisi kanan landasan(dari sudut pandang arah pendaratan pesawat). Pada *Glide Path*, yaitu: 0; +/- 0,100; +/- 175; +/- 400

dimana tanda negatif menandakan sisi atas sudut pendaratan dan tanda positif menandakan sisi bawah sudut pendaratan.

Hasil pengujian pembacaan parameter *Localizer* dan *Glide Path* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4. Seperti halnya dengan pengujian VOR, pengujian dengan antenna menunjukkan ketidakstabilan pembacaan dengan tren yang semakin meningkat seiring DDM menjauh dari *centerline*. Hal ini juga disebabkan antenna yang tidak spesifik dan belum dilengkapi dengan *Band Pass Filter*.

Tabel 3. Hasil pengujian DDM penerima *Localizer*.

	IFR 4000	RTL-SDR dengan antenna	RTL-SDR tanpa antenna
Center	0,000	-0,00161 – 0,00202	0
90 Dom	-0,093	(-0,08715) – (-0,09088)	-0,094
90 Dom	- 0,155	(-0,15266) – (-0,15641)	-0,1569
90 Dom	-0,210	(-0,20664) – (-0,21108)	-0,202
150 Dom	0,210	0,20709 – 0,21035	0,2021
150 Dom	0,155	0,15263 – 0,15801	0,156
150 Dom	0,093	0,08847 – 0,09134	0,0939

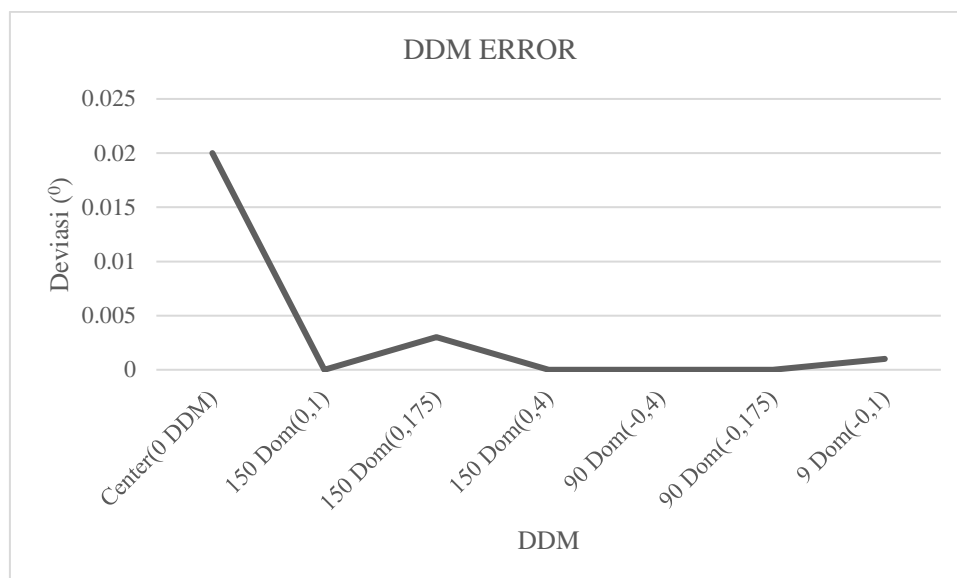
Tabel 4. Hasil pengujian DDM penerima *Glide Path*.

	IFR 4000	RTL-SDR dengan antenna	RTL-SDR tanpa antenna
Center	0,000	-0,02781 – 0,02783	-0,02
150 Dom	0,100	0,09992 – 0,10109	0,100
150 Dom	0,175	0,17510 – 0,17379	0,178
150 Dom	0,400	0,39974 – 0,40002	0,400
90 Dom	-0,400	(-0,40060) – (-0,40008)	-0,400
90 Dom	-0,175	(-0,17519) – (-0,17525)	-0,175
90 Dom	-0,100	(-0,10065) – (-0,10121)	-0,101

Pengujian tanpa antenna seperti pada Gambar 18 dan 19 juga menunjukkan hasil yang stabil walaupun masih terdapat deviasi dimana pada pengujian tanpa antenna *Localizer* terdapat deviasi DDM maksimum 0,0079 dan pengujian tanpa antenna *Glide Path* terdapat deviasi DDM maksimum 0,02. Deviasi ini juga disebabkan oleh output IFR 4000 yang tidak tanpa deviasi sama sekali.



Gambar 18. Deviasi DDM antara pengaturan IFR 4000 dan pembacaan penerima *Localizer*.



Gambar 19. Deviasi DDM antara pengaturan IFR 4000 dan pembacaan penerima *Glide Path*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa beberapa faktor yang mempengaruhi hasil dari perancangan penerima VOR dan ILS menggunakan RTL-SDR yaitu Jenis antenna yang digunakan dan Band Pass Filter. Hal ini dikarenakan antenna dipol yang umum digunakan untuk RTL-SDR memiliki pita yang cukup lebar. Sehingga, untuk keperluan pengecekan di darat peralatan bantu navigasi tidak cukup hanya menggunakan perangkat RTL-SDR dengan antenna pita lebar.

Referensi

- [1] ICAO, *Annex 10 Aeronautical Telecommunications*, Sixth., vol. I. ICAO, 2006.
- [2] S. Saito, K. Hosokawa, J. Sakai, and I. Tomizawa, "Anomalous Long-Distance Propagation of ILS LOC Signals by the Es Layer and Its Impact on Aviation Receivers," *Space Weather*, vol. 21, no. 11, Nov. 2023, doi: 10.1029/2023SW003577.
- [3] J. Xu, J. Ye, F. Liang, Y. Li, and H. Lin, "Simulation analysis and research on the influence of buildings on a glide path antenna," in *Proceedings - 2021 International Conference on Computer Technology and Media Convergence Design, CTMCD 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Apr. 2021, pp. 63–66. doi: 10.1109/CTMCD53128.2021.00022.
- [4] Q. Liang, X. Liu, Z. Na, W. Wang, J. Mu, and B. Zhang, "Lecture Notes in Electrical Engineering 516 Communications, Signal Processing, and Systems Proceedings of the 2018 CSPS Volume II: Signal Processing." [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/7818>
- [5] "AirNav: Kenaikan Jumlah Penerbangan Capai 24 Persen di Libur Natal." Accessed: Dec. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.borneonews.co.id/berita/324101-airnav-kenaikan-jumlah-penerbangan-capai-24-persen-di-libur-natal>
- [6] R. Yagoub, B. Benadda, M. Benaissa, A. Taleb-Ahmed, A. Lahouel, and F. Zane, "Low cost sdr receiver implementation using RTL-SDR dongle," *Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika)*, vol. 78, no. 8, pp. 691–705, 2019, doi: 10.1615/TELECOMRADENG.V78.I8.50.
- [7] D. P. Wright and E. A. Ball, "Highly Portable, Low-Cost SDR Instrument for RF Propagation Studies," *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 69, no. 8, pp. 5446–5457, Aug. 2020, doi: 10.1109/TIM.2019.2959422.
- [8] R. Yagoub, B. Benadda, M. Benaissa, A. Taleb-Ahmed, A. Lahouel, and F. Zane, "Low cost sdr receiver implementation using rtl-sdr dongle," *Telecommunications and Radio*

- Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika)*, vol. 78, no. 8, pp. 691–705, 2019, doi: 10.1615/TELECOMRADENG.V78.I8.50.
- [9] J. IL Park and H. S. Park, “A Study with the Design of the VOR Receiver,” *Journal of Advanced Information Technology And Convergence*, vol. 1, no. 2, pp. 39–46, Dec. 2011, doi: 10.14801/JAITC.2011.1.2.39.
- [10] C. Leosrisook, K. Pongpheaw, and K. Horapong, “An implementation of portable ILS Localizer signal receiver using SDR,” *14th International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT 2014*, pp. 131–135, Jan. 2015, doi: 10.1109/ISCIT.2014.7011885.
- [11] Mochamad Faisal Yoga, “Rancangan Aplikasi Receiver Menggunakan RTL_SDR R820T2 Sebagai Site Monitor Parameter Localizer di Perum LPPNPI Cabang Halim,” Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Tangerang, 2021.
- [12] I. Destyo Arnito, A. Setiyo Prabowo, T. Warsito, and Y. Suprpto, “Rancangan Prototipe Receiver Vor Berbasis RTL-SDR Sebagai Alat Bantu Ground Inspection,” *Jurnal Teknologi Penerbangan*, vol. 4, no. 2, pp. 89–94, 2020.
- [13] R. Djoni Slamet Harjono, I. G. A Ayu Mas Oka, H. Dymiati Badrul Islam, “Rancangan Receiver Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) Menggunakan RTL-SDR R820T2 Guna Meningkatkan Pelayanan Navigasi Penerbangan di Bandar Udara Internasional Lombok,” *Approach : Jurnal Teknologi Penerbangan*, vol. 2, no. 2, pp. 35–42, Oct. 2018, doi:10.46491/approach.v2i2.79
- [14] M. B. Perotoni and K. M. G. dos Santos, “SDR-Based Spectrum Analyzer Based In Open-Source GNU Radio,” *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, vol. 20, no. 3, pp. 542–555, Sep. 2021, doi: 10.1590/2179-10742021V20I31194.
- [15] A. Q. Nguyen, A. A. Kisomi, and R. Landry, “FFT-Based Automatic Frequency Control For Direct RF Sampling Architecture Applied To VHF Avionics,” *ICNS 2017 - ICNS: CNS/ATM Challenges for UAS Integration*, Aug. 2017, doi: 10.1109/ICNSURV.2017.8011974.