

RANCANG BANGUN SISTEM RECEIVER ADS-B BERBASIS SDR DAN TEKNOLOGI MIKROSTRIP PADA FREKUENSI 1090 MHZ

1st Ghiffari Ar-Rasyid

Telecommunication Enginnering

Telkom University Surabaya

Surabaya, Indonesia

ghinfakestra@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Fannush Shofi Akbar, S.ST.

Telecommunication Engineering

Telkom University Surabaya

Surabaya, Indonesia

fannushakbar@telkomuniversity.ac.id

3rd Hendy Briantoro, S.ST., M.T.,Ph.D.

Telecommunication Engineering

Telkom University Surabaya

Surabaya, Indonesia

hendybr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Secara tradisional, radar telah menjadi tulang punggung pengawasan lalu lintas udara, namun biaya operasional tinggi dan keterbatasan cakupan mendorong pengembangan alternatif. Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) menawarkan pengawasan real-time berbasis radio, secara efisien melacak posisi, kecepatan, dan ketinggian pesawat. Penelitian ini merancang sistem penerima ADS-B menggunakan Software Defined Radio (SDR), khususnya RTL-SDR, pada platform embedded Linux. Kombinasi ini menyediakan solusi fleksibel, hemat biaya, dan mudah diintegrasikan untuk pengawasan udara, ideal di wilayah terpencil dengan infrastruktur radar terbatas. Sistem penerima memproses sinyal 1090 MHz menggunakan antena *directional*, power divider, dan filter untuk meningkatkan sensitivitas serta mengurangi interferensi. Data sinyal yang diterima dikonversi oleh RTL-SDR menjadi digital, lalu dianalisis oleh sistem embedded Linux yang menjalankan GNURadio. Hasil menunjukkan sistem berhasil mendeteksi dan mendekode sinyal ADS-B secara akurat. Uji coba antena *omnidirectional* mencapai 107.0 km, sementara antena *directional* memperlukan deteksi hingga 119.4 km. Sistem ini efektif memetakan aktivitas lalu lintas udara secara real-time dengan akurasi dan efisiensi tinggi, divalidasi dengan Flightradar24. Solusi pemantauan udara yang fleksibel dan hemat biaya ini berkontribusi signifikan terhadap keselamatan dan efisiensi penerbangan.

Kata kunci— ADS-B, RTL-SDR, GNURadio, Linux.

I. PENDAHULUAN

Radar (Radio Detection and Ranging) telah menjadi teknologi utama dalam mendukung navigasi udara sejak pertama kali dikembangkan. Sistem radar memungkinkan pengawasan lalu lintas udara dengan memanfaatkan gelombang radio untuk mendeteksi, mengidentifikasi, dan melacak objek di udara, seperti pesawat terbang[6]. Teknologi ini memberikan informasi penting mengenai posisi, kecepatan, dan arah pergerakan objek, sehingga menjadi dasar untuk menjaga keamanan dan efisiensi lalu lintas udara. Namun, meskipun radar sangat andal, biaya operasional yang tinggi dan keterbatasan cakupan sering kali menjadi tantangan, terutama di wilayah terpencil atau dengan tingkat lalu lintas udara yang rendah. Untuk mengatasi

keterbatasan ini, pengembangan teknologi alternatif menjadi hal yang penting. ADS-B adalah teknologi pengawasan udara modern yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi sistem pemantauan pesawat. Berbeda dengan radar konvensional, ADS-B bekerja dengan memanfaatkan transmisi sinyal radio dari pesawat yang secara otomatis mengirimkan data penting seperti posisi, ketinggian, kecepatan, dan identitas pesawat[1][9]. Data ini dapat diterima oleh penerima berbasis darat maupun pesawat lain, memberikan informasi yang lebih rinci dan real-time. Sistem ADS-B tidak hanya menawarkan keandalan yang lebih tinggi tetapi juga memungkinkan pengawasan di wilayah yang sebelumnya sulit dijangkau oleh radar tradisional[2]. SDR (Software Defined Radio) adalah teknologi yang memungkinkan penerimaan dan pengolahan sinyal radio secara fleksibel melalui perangkat lunak, tanpa memerlukan perangkat keras khusus untuk setiap jenis sinyal[4]. Hal ini menjadikannya sangat ideal untuk digunakan dalam penerima ADS-B, karena dapat memproses sinyal frekuensi 1090 MHz yang digunakan dalam transmisi ADS-B. Di sisi lain, penggunaan sistem operasi embedded Linux memberikan keuntungan dalam hal pengembangan perangkat yang lebih murah, kompak, dan efisien. Sistem berbasis Linux dapat menyediakan lingkungan yang stabil untuk menjalankan perangkat lunak SDR sekaligus mempermudah integrasi perangkat dengan sistem lain, seperti jaringan data dan aplikasi pengawasan. Kombinasi SDR dan embedded Linux menciptakan solusi penerima ADS-B yang andal dan hemat biaya[3].

II. KAJIAN TEORI

A. ADS-B

ADS-B adalah teknologi pengawasan lalu lintas udara modern. Tidak seperti radar konvensional yang pasif, ADS-B bekerja secara aktif dengan memanfaatkan sinyal radio yang dipancarkan secara otomatis oleh setiap pesawat yang dilengkapi transponder[7]. Sinyal ini berisi data penting seperti posisi, ketinggian, kecepatan, dan identitas pesawat. Data tersebut dipancarkan pada frekuensi 1090 MHz dan dapat diterima oleh stasiun darat atau pesawat lain[1][14].

B. Mode-S Protocol

Mode-S adalah protokol komunikasi yang digunakan dalam sistem pengawasan lalu lintas udara, beroperasi pada frekuensi 1090 MHz. Protokol ini menggunakan modulasi posisi pulsa (PPM), di mana simbol 1 dan 0 direpresentasikan oleh urutan pulsa yang berbeda. Sebuah pesan Modus S terdiri dari 56 atau 112 bit, dengan tambahan sinyal pembuka (preamble) 8 μ s untuk sinkronisasi. Total durasi satu transmisi adalah 64 μ s (56 bit) atau 120 μ s (112 bit). Jenis layanan Modus S, seperti ADS-B (Extended Squitter), ditentukan oleh field format downlink (DF) di awal setiap pesan. ADS-B secara khusus menggunakan DF 17 dan merupakan salah satu layanan tanpa interrogasi (squitter) yang memancarkan data secara otomatis[10].

C. SDR (Software Defined Radio)

Software Defined Radio (SDR) adalah teknologi yang mengubah gelombang radio menggunakan perangkat lunak, bukan perangkat keras. Tujuannya adalah untuk menyesuaikan frekuensi, bandwidth, modulasi, dan *data rate* melalui konfigurasi software. Sistem SDR terdiri dari antena, ADC, dan DSP. RTL-SDR adalah jenis SDR yang memanfaatkan chip tuner TV (RTL2832U) untuk mengubah komputer menjadi penerima frekuensi radio canggih[4]. RTL-SDR memungkinkan pengguna menerima dan menganalisis berbagai sinyal, seperti sinyal ADS-B dari pesawat, dengan biaya rendah dan fleksibilitas tinggi[5].

D. Antenna

Antena adalah komponen penting dalam sistem komunikasi nirkabel, termasuk penerimaan sinyal ADS-B. Fungsinya adalah untuk mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik dan sebaliknya[3]. Pemilihan jenis antena akan sangat memengaruhi jangkauan dan kualitas sinyal. Antena dibagi menjadi dua jenis utama: omnidireksional dan direksional. Antena omnidireksional menerima sinyal dari segala arah (360 derajat) secara horizontal. Ini menjadikannya ideal untuk memantau semua pesawat di area sekitar tanpa perlu mengarahkan antena. Kelemahannya adalah *gain* (penguatan) yang lebih rendah dan lebih rentan terhadap *noise* dari berbagai arah karena energinya disebar. Berbeda dengan omnidireksional, antena direksional memfokuskan energi sinyal ke satu arah tertentu, sehingga memiliki *gain* yang jauh lebih tinggi. Hal ini memungkinkannya untuk menerima sinyal dari jarak yang lebih jauh dan mengurangi *noise*. Namun, antena ini harus diarahkan secara tepat ke sumber sinyal dan tidak efektif untuk memantau pesawat di luar area fokusnya. Penggunaan antena ini biasanya dikombinasikan dengan *bandpass filter* untuk meningkatkan kualitas sinyal secara keseluruhan[8][12].

E. GNURadio

GNU Radio adalah platform perangkat lunak sumber terbuka yang dirancang untuk membangun Sistem Radio yang Ditentukan Perangkat Lunak (SDR)[4]. Platform ini menyediakan blok-blok fungsional yang dapat diprogram untuk berbagai aspek pemrosesan sinyal seperti modulasi, demodulasi, dan filtrasi, yang memungkinkan pengembangan aplikasi frekuensi radio (RF) tanpa memerlukan perangkat keras yang mahal. GNU Radio juga mendukung integrasi dengan perangkat keras SDR eksternal, memfasilitasi

penangkapan dan transmisi sinyal RF dalam spektrum yang luas. Karena fleksibilitasnya, GNU Radio dimanfaatkan secara luas dalam penelitian, pengembangan, dan aplikasi praktis, mencakup komunikasi nirkabel, pemrosesan sinyal radar, dan pemantauan frekuensi. Dalam konteks ADS-B (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast), GNU Radio berperan penting dalam menganalisis dan memproses sinyal yang ditransmisikan pesawat, yang memungkinkan pengembangan sistem penerimaan ADS-B yang lebih efisien, analisis struktur sinyal, dan implementasi algoritma untuk meningkatkan kualitas deteksi serta akurasi pelacakan. Hal ini krusial untuk pemantauan lalu lintas udara[11].

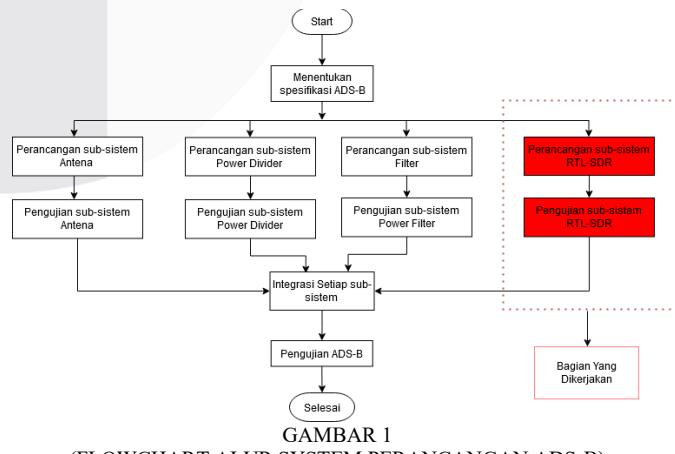
F. Embedded Linux System

Platform Embedded Linux adalah sistem Linux yang dioptimalkan untuk perangkat dengan sumber daya komputasi terbatas, seperti prosesor ARM, mikrokontroler, SoC, dan komputer papan tunggal[6]. Berbeda dengan sistem desktop atau server, platform ini dirancang untuk perangkat berdaya rendah. Fleksibilitasnya memungkinkan pengembang menyesuaikan sistem dengan kebutuhan aplikasi dan perangkat keras tertentu. Fitur kontrol komponen juga membantu mengurangi konsumsi sumber daya dan daya, menjadikannya ideal untuk aplikasi embedded system[3][15].

III. METODE

A. Diagram Alur Penelitian

Perancangan sistem penerima ADS-B melibatkan beberapa tahapan. Pertama, spesifikasi ADS-B ditentukan, fokus pada frekuensi 1090 MHz dan komponen utamanya. Selanjutnya, dilakukan perancangan sub-sistem, di mana tugas dibagi untuk antena, power divider, filter, dan RTL-SDR, dengan RTL-SDR menjadi fokus penulis. Tahap ketiga adalah pengujian sub-sistem RTL-SDR untuk memastikan kesesuaian dengan simulasi dan spesifikasi antena; jika tidak, optimasi akan dilakukan. Setelah semua sub-sistem lolos uji, mereka akan diintegrasikan secara berurutan: antena, power divider, filter, lalu RTL-SDR. Terakhir, sistem ADS-B keseluruhan diuji untuk memverifikasi fungsionalitasnya dalam menampilkan data pesawat secara real-time; jika ada masalah, analisis akan dilakukan.

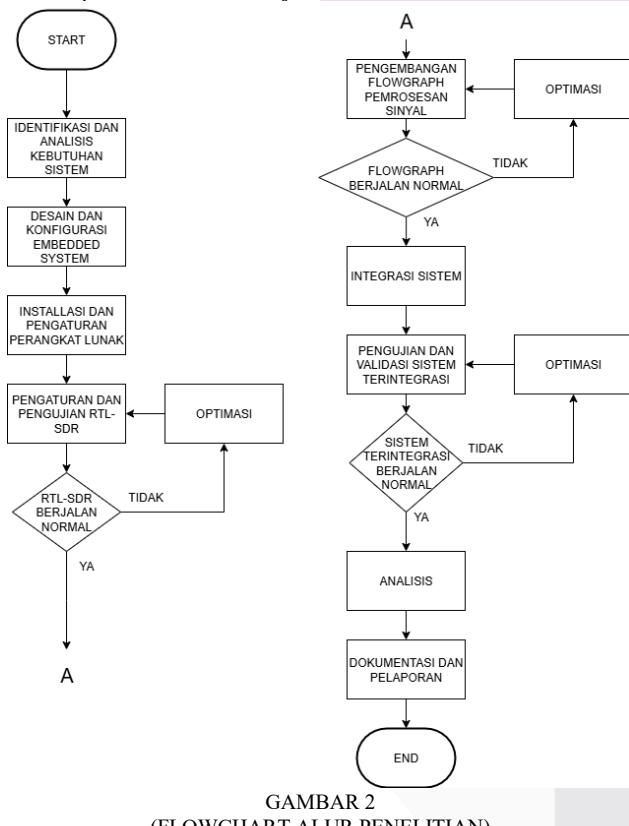


GAMBAR 1
(FLOWCHART ALUR SYSTEM PERANCANGAN ADS-B)

B. Diagram Alur Desain system receiver

Proses penelitian dimulai dengan identifikasi dan analisis kebutuhan sistem embedded serta spesifikasi teknis SDR. Selanjutnya, dilakukan desain dan konfigurasi sistem

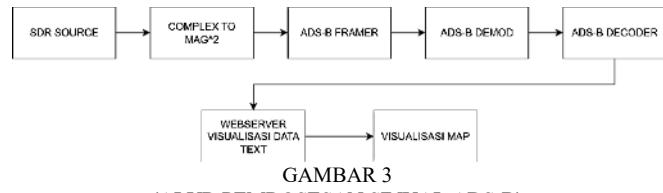
embedded, termasuk pemasangan OS dan tools yang diperlukan. Kemudian, instalasi dan pengaturan perangkat lunak seperti GNU Radio dilakukan pada sistem embedded. Pengaturan dan pengujian RTL-SDR adalah tahap krusial untuk memastikan dongle berfungsi normal; jika tidak, proses akan masuk ke tahap optimasi. Setelah itu, pengembangan flowgraph pemrosesan sinyal ADS-B menggunakan GNU Radio dilakukan, mencakup penyaringan, demodulasi, dan decoding. Jika flowgraph bermasalah, tahap optimasi akan kembali diakses. Setelah flowgraph dan komponen individual tervalidasi, semua diintegrasikan menjadi sistem lengkap, termasuk platform embedded dan perangkat keras eksternal seperti antena dan filter. Pengujian dan validasi sistem terintegrasi kemudian dilakukan di lingkungan nyata atau simulasi. Jika sistem tidak berfungsi normal, akan dilakukan analisis dan optimasi untuk mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah sebelum pengujian ulang. Terakhir, seluruh proses didokumentasikan dan dilaporkan secara menyeluruh.



C. Desain Perangkat Lunak Sistem Receiver

Desain flowgraph untuk pemrosesan sinyal ADS-B pada frekuensi 1090 MHz mengikuti tahapan berurutan. Dimulai dengan SDR Source yang menerima sinyal RF mentah dan menghasilkan aliran sampel digital kompleks. Kemudian, blok Complex to MAG² mengubah sinyal kompleks ini menjadi nilai float non-negatif yang merepresentasikan kuadrat magnitudnya, berguna untuk deteksi kekuatan sinyal. ADS-B Framer selanjutnya menerima aliran sinyal yang telah diproses awal, lalu mengidentifikasi dan menandai titik awal setiap paket data ADS-B yang valid, tanpa mengubah isinya. Sinyal yang sudah disaring dan ditandai ini masuk ke ADS-B Demodulation untuk mengubah gelombang radio menjadi deretan bit digital. Bit mentah ini kemudian diumpulkan ke ADS-B Decoder yang menguraikannya sesuai spesifikasi

pesan ADS-B untuk mengekstrak informasi bermakna seperti identifikasi dan posisi pesawat. Terakhir, Webserver Visualisasi Data Text bertugas berlangganan data dari flowgraph melalui ZeroMQ dan menampilkannya di halaman web menggunakan teknologi web, sekaligus mencatat data yang diterima. Data ini selanjutnya divisualisasikan secara interaktif pada Visualisasi Map di browser sebagai antarmuka akhir bagi pengguna.



D. Instalasi Konfigurasi Embedded System

Tahap ini menguraikan instalasi dan konfigurasi sistem operasi Linux pada embedded system untuk menjalankan perangkat lunak penerima ADS-B. Pemilihan dan Instalasi Sistem. Penelitian ini menggunakan Orange Pi 5 Pro dengan spesifikasi Rockchip RK3588S 8-core 2.4 GHz, LPDDR5 8GB RAM, serta dukungan Wi-Fi dan Ethernet.



GAMBAR 4
(ORANGE PI 5 PRO)

Sebagai sistem operasinya, dipilih Armbian dan DietPi untuk kompatibilitas. Proses instalasi dilakukan dengan mem-flash image OS Linux ke microSD, lalu memasukkannya ke embedded system. Setelah perangkat tersambung ke monitor dan keyboard, sistem dihidupkan untuk mengikuti langkah-langkah instalasi awal. Pengujian Sistem Setelah instalasi, pengujian sistem dilakukan dengan menjalankan aplikasi penerima untuk memastikan data ADS-B diterima dan diproses dengan baik. Konfigurasi ini memastikan embedded system siap mendukung pengembangan penerima ADS-B.

E. Skenario Pengujian

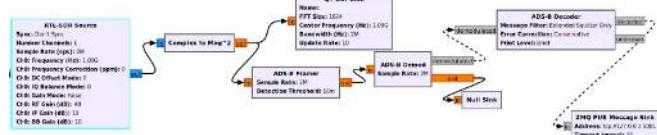
Lingkungan dan Prosedur Pengujian
Pengujian sistem penerima ADS-B berbasis SDR menggunakan RTL-SDR akan dilakukan di area dengan lalu lintas udara aktif. Prosedurnya meliputi pengujian perangkat lunak (verifikasi algoritma GNU Radio untuk deteksi dan dekode data ADS-B, serta akurasi data pesawat) dan pengujian kinerja sistem (membandingkan hasil flowgraph

GNU Radio dengan dump1090-fa, serta performa antena *omnidirectional* dan *directional*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan

Flowgraph GNU Radio yang dirancang adalah inti dari sistem penerima ADS-B ini. Fokusnya adalah pada kemampuan untuk secara langsung (live) menerima, mendemodulasi, dan mendekode sinyal ADS-B dari pesawat. Ini mencakup akuisisi sinyal pada frekuensi 1090 MHz, demodulasi sinyal termodulasi menjadi data digital, dan dekode paket data ADS-B menjadi informasi yang dapat dibaca seperti identifikasi, posisi, ketinggian, dan kecepatan pesawat. Hasil dekode ini kemudian divisualisasikan secara interaktif menggunakan script webserver eksternal yang terhubung dengan flowgraph, memungkinkan verifikasi fungsionalitas sistem secara langsung.



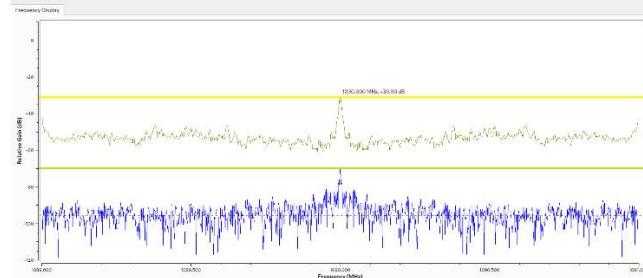
GAMBAR 5
(FLOWGRAPH SISTEM YANG DIRANCANG)

B. Hasil Live GNURadio Flowgraph

Pengujian *flowgraph* GNURadio dilakukan untuk memvalidasi kapabilitas penerimaan dan dekode pesan ADS-B *real-time* dari sinyal udara, menggunakan konfigurasi antena *omnidirectional* dan *directional*.

C. Pengujian Frekuensi Antenna *Omnidirectional*

Pengujian dengan antena *omnidirectional* menunjukkan keberhasilan deteksi sinyal ADS-B pada 1090.000 MHz, terlihat dari puncak spektrum frekuensi yang jelas.



GAMBAR 6
(HASIL SPEKTRUM FREKUENSI ANTENNA OMNIDIRECTIONAL)

D. Terminal Decoder Dengan Antenna *Omnidirectional*

Dekode pesan ADS-B terstruktur berhasil dilakukan, menampilkan *timestamp*, ICAO, *callsign*, posisi, kecepatan, dan ketinggian pesawat. Namun, teridentifikasi adanya *error* ('O' - *overflow*) pada beberapa parameter data, mengindikasikan *noise* signifikan akibat kurangnya filter pada antena *omnidirectional* yang menyebabkan data tidak lengkap dan *flowgraph* kelebihan beban.

Tampilan terminal yang menunjukkan data ADS-B yang didekod dan divisualisasikan. Terdapat pesan error 'Overflow' dan 'RuntimeWarning'.

GAMBAR 7
(HASIL TAMPILAN TERMINAL KETIKA GNURADIO DINYALAKAN)

E. Terminal Webserver Dengan Antenna *Omnidirectional*

Data yang didekode divisualisasikan menggunakan *webserver.py* dan direkam (*logging*) untuk analisis serta dipetakan di (*map.html*).

Tampilan terminal yang menunjukkan log server yang menampilkan data pesawat yang diterima dan divisualisasikan.

GAMBAR 8
(HASIL TAMPILAN WEBSERVER MENGGUNAKAN ANTENNA OMNIDIRECTIONAL)

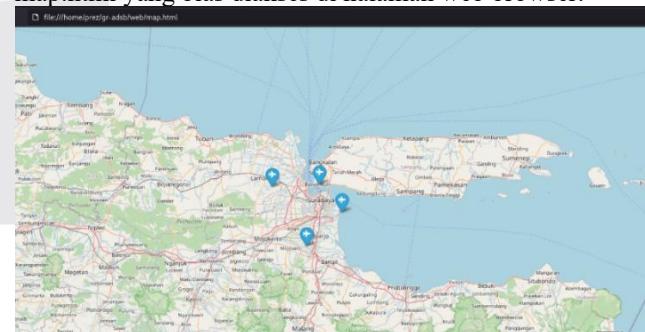
F. Visualisasi Data Dari Antenna *Omnidirectional*

Dengan mengakses alamat webserver data ADS-B yang diterima dapat ditampilkan melalui halaman web di browser menampilkan *timestamp*, ICAO, *callsign*, posisi, kecepatan, dan ketinggian pesawat data.



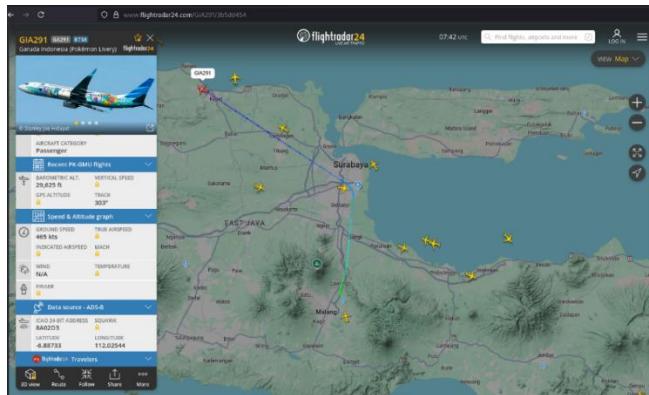
GAMBAR 9
(HASIL TAMPILAN ANTARMUKA WEB MENGGUNAKAN ANTENNA OMNIDIRECTIONAL)

Dari webserver data ADS-B dikelola dan diplot data koordinat lokasi pesawat pada map menggunakan file *map.html* yang bias diakses di halaman web browser.



GAMBAR 10
(HASIL VISUALISASI MAP.HTML MENGGUNAKAN ANTENNA OMNIDIRECTIONAL)

Data yang diterima di validasi dengan data pada website Flightradar24 mengonfirmasi akurasi data ICAO yang diterima.



GAMBAR 11

(TAMPILAN APLIKASI FLIGHTRADAR UNTUK VALIDASI)

G. Pengujian Frekuensi Antenna *Directional*

Pengujian dengan antena *directional* dan penambahan *bandpass filter* menunjukkan peningkatan kualitas sinyal secara signifikan. Meskipun *gain* puncak sedikit lebih rendah, penurunan drastis *noise floor* mengindikasikan peningkatan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), memungkinkan penerimaan sinyal yang lebih bersih dan akurat.

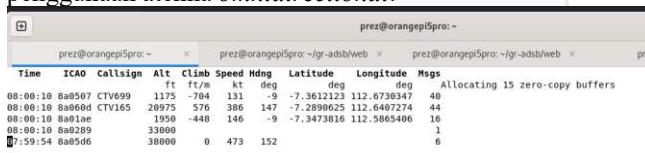


GAMBAR 12

(HASIL SPEKTRUM FREKUENSI MENGGUNAKAN ANTENNA DIRECTIONAL)

H. Terminal Decoder Dengan Antenna *Directional*

Hasil dekode pada terminal menunjukkan data ADS-B yang lengkap tanpa adanya *error* ('O' - *overflow*) seperti penggunaan antena *omnidirectional*.



GAMBAR 13

(HASIL TAMPILAN TERMINAL KETIKA GNURADIO DINYALAKAN)

I. Terminal Webserver Dengan Antenna *Directional*

Data yang didekoder divisualisasikan menggunakan *webserver* dan direkam (*logging*) untuk analisis serta dipetakan di (*map.html*).



GAMBAR 14

(HASIL TAMPILAN WEBSERVER MENGGUNAKAN ANTENNA DIRECTIONAL)

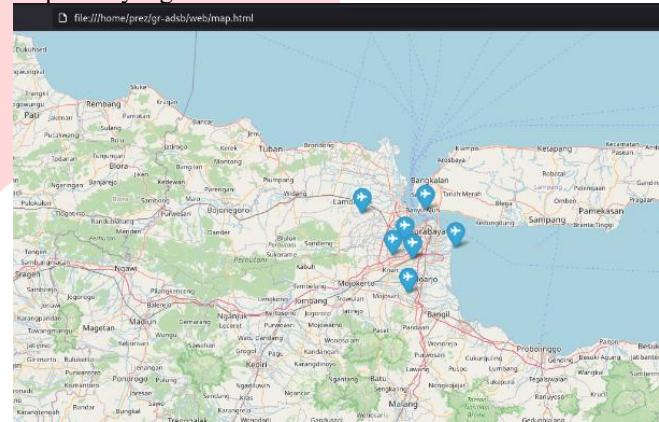
J. Visualisasi Data Dari Antenna *Directional*

Dengan mengakses alamat webserver data ADS-B yang diterima dapat ditampilkan melalui halaman web di browser menampilkan *timestamp*, ICAO, *callsign*, posisi, kecepatan, dan ketinggian pesawat.



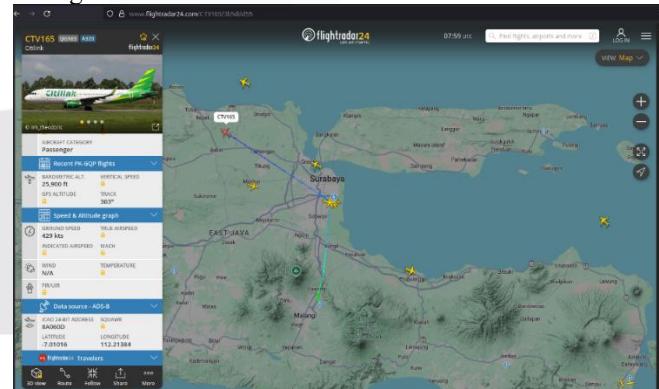
GAMBAR 15
(HASIL TAMPILAN ANTARMUKA WEB MENGGUNAKAN ANTENNA DIRECTIONAL)

Dari webserver data ADS-B dikelola dan diplot data koordinat lokasi pesawat pada map menggunakan file *map.html* yang biasa diakses di halaman web browser.



GAMBAR 16
(HASIL TAMPILAN SCRIPT PLOTTER MAP MENGGUNAKAN ANTENNA DIRECTIONAL)

Validasi dengan Flightradar24 kembali memperkuat akurasi data ICAO, menegaskan keandalan sistem dengan konfigurasi antena *directional*.



GAMBAR 17
(TAMPILAN APLIKASI FLIGHTRADAR UNTUK VALIDASI)

K. Analisis Perbandingan Antenna Pada Flowgraph

Hasil Perbandingan kedua konfigurasi antena menunjukkan bahwa antena *omnidirectional* efektif untuk deteksi sinyal dari berbagai arah namun rentan terhadap *noise* yang mengakibatkan *overflow* data. Sebaliknya, kombinasi antena *directional* dan *bandpass filter* secara signifikan meningkatkan SNR dan kualitas dekode data, menghasilkan informasi ADS-B yang lebih lengkap dan akurat, meskipun dengan jangkauan deteksi arah yang lebih terbatas.

L. Hasil Aplikasi dump1090-fa

Pengujian performa sistem penerima ADS-B dilakukan menggunakan perangkat lunak *dump1090-fa* untuk membandingkan jangkauan penerimaan data ADS-B antara antena *omnidirectional* dan *directional*. Untuk setiap skenario, data ADS-B dicatat selama satu jam untuk mengevaluasi jarak penerbangan terjauh yang terdeteksi.

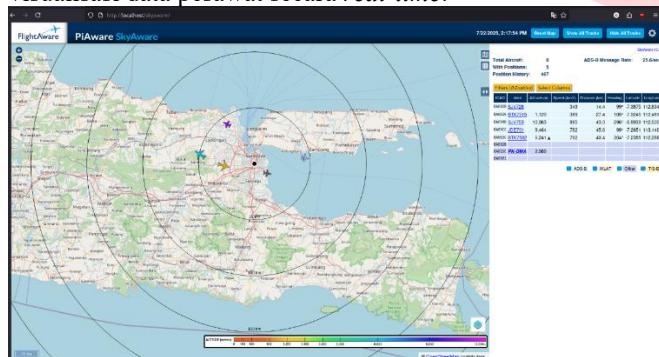
M. Pengujian Dump1090 Dengan Antenna *Omnidirectional*

Pengujian dengan antena *omnidirectional* bertujuan menilai performa dasar sistem dalam menangkap sinyal ADS-B dari berbagai arah. Sebelum pengumpulan data, layanan *dump1090-fa* diinisialisasi ulang untuk memastikan konfigurasi yang bersih.

```
prez@orangepi5pro:~$ sudo systemctl restart dump1090-fa.service
```

GAMBAR 18
(RESTART DUMP1090-FA.SERVICE UNTUK ANTENNA OMNIDIRECTIONAL)

Antarmuka web *dump1090-fa* kemudian diakses untuk visualisasi data pesawat secara *real-time*.



GAMBAR 19
(ANTARMUKA WEB DUMP1090-FA MENGGUNAKAN ANTENNA OMNIDIRECTIONAL)

N. Merekam Data Menggunakan Antenna Omnidirectional

Data ADS-B direkam menggunakan *script* Python khusus yang terhubung ke antarmuka *dump1090-fa*, mencatat *timestamp*, identifikasi pesawat, koordinat, ketinggian, dan parameter lainnya.

```
(adsb-project-env) prez@orangepi5pro:~/adsb-data-logger$ python3 adsb_logger.py
?? Starting ADS-B Logger with Time-Series Recording...
?? Connecting to localhost:30003
?? Receiver location: -7.5, 112.2
?? Units: Metric
?? Position recording interval: 10 seconds
? Started at: 2025-07-22 13:22:41.451275
Press Ctrl+C to stop and save data
```

GAMBAR 20
(PROSES LOGGER DECODER DUMP1090-FA MENGGUNAKAN ANTENNA OMNIDIRECTIONAL)

Setelah satu jam perekaman, analisis data menunjukkan bahwa penerbangan terjauh yang berhasil diterima mencapai 107.0 km.

```
=====
ADS-B RECEIVER STATISTICS - 2025-07-22 14:23:08
=====
Running time: 1:00:27.367230
Total messages processed: 10,381
Active flights tracked: 35
Total position records: 399
Units: Metric

?? UNIQUE COUNTS:
  Unique flights seen: 22
  Unique operators seen: 11

?? FLIGHT RECORDS:
  ?? Highest altitude: (4245CD) - 41050 m
  ?? Highest speed: (4245CD) - 932 km/h
  ?? Furthest flight: JDE701 (8A09CC) - 107.0 km
  ?? Closest flight: BTK6564 (8A0515) - 30.9 km

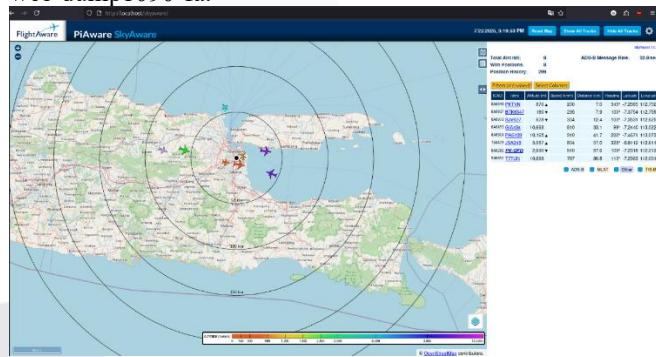
?? OPERATORS SEEN:
  AWO
  Batik Air
  CTV
  Garuda Indonesia
  HT
  JDE
  KLONG
  LKN
  Lion Air
  PAS
  Sriwijaya Air

?? RECENT FLIGHTS (with position history):
  BTK7515 (8A0636) - Last: 2025-07-22 14:23:08 - 38 positions
  SJV726 (8A08DB) - Last: 2025-07-22 14:23:08 - 18 positions
  BTK6564 (8A0515) - Last: 2025-07-22 14:23:08 - 7 positions
  SJV753 (8A094D) - Last: 2025-07-22 14:21:17 - 27 positions
  BTK7582 (8A063C) - Last: 2025-07-22 14:19:34 - 34 positions
  GIA252 (8A01DD) - Last: 2025-07-22 14:19:20 - 6 positions
  JDE701 (8A09CC) - Last: 2025-07-22 14:19:14 - 19 positions
  LNI107 (8A083B) - Last: 2025-07-22 14:13:44 - 27 positions
  HT2303 (8A098E) - Last: 2025-07-22 14:11:24 - 1 positions
  LNI261 (8A0837) - Last: 2025-07-22 14:08:16 - 19 positions
```

GAMBAR 21
(HASIL AKHIR LOGGER DECODER DUMP1090-FA MENGGUNAKAN ANTENNA OMNIDIRECTIONAL)

O. Pengujian Dump1090 Dengan Antenna *Directional*

Pengujian dengan antena *directional* untuk mengevaluasi peningkatan jangkauan deteksi. Proses inisialisasi *dump1090-fa* dan perekaman data menggunakan *script* Python sama dengan konfigurasi dan mengakses antarmuka web *dump1090-fa*.



GAMBAR 22
(ANTARMUKA WEB DUMP1090-FA DIRECTIONAL)

P. Merekam Data Menggunakan Antenna *Directional*

Hasil *logging* data selama satu jam menunjukkan peningkatan signifikan dalam jangkauan deteksi (Gambar 4.25). Penerbangan terjauh yang berhasil diterima oleh sistem dengan antena *directional* mencapai 119.4 km, menunjukkan peningkatan 12.4 km dibandingkan dengan penggunaan antena *omnidirectional*. Hal ini mengindikasikan efektivitas antena *directional* dalam memperluas jangkauan penerimaan sinyal ADS-B pada arah tertentu.

```

=====
ADS-B RECEIVER STATISTICS - 2025-07-22 16:21:37
=====
Running time: 1:01:08.453149
Total messages processed: 69,170
Active flights tracked: 33
Total position records: 1,327
Units: Metric

?? UNIQUE COUNTS:
  Unique flights seen: 31
  Unique operators seen: 12

?? FLIGHT RECORDS:
  ?? Highest altitude: GIA6121 (8A0A6B) - 41000 ft
  ?? Highest speed: AW0807 (8A0A19) - 924 km/h
  ?? Furthest flight: LNT908 (8A096B) - 119.4 km
  ?? Closest flight: CTV688 (8A061D) - 21.2 km

?? OPERATORS SEEN:
  ⑥ AWA
  ⑥ Batik Air
  ⑥ CTV
  ⑥ Garuda Indonesia
  ⑥ JSA
  ⑥ Lion Air
  ⑥ PAS
  ⑥ PKPBM
  ⑥ PKTVN
  ⑥ Singapore Airlines
  ⑥ Sriwijaya Air
  ⑥ TTUW

?? RECENT FLIGHTS (with position history):
  ⑥ LNT908 (8A096B) - Last: 2025-07-22 16:21:37 - 17 positions
  ⑥ BTK7512 (8A063B) - Last: 2025-07-22 16:21:37 - 38 positions
  ⑥ CTV688 (8A061D) - Last: 2025-07-22 16:21:37 - 19 positions
  ⑥ LNT925 (8A1812) - Last: 2025-07-22 16:21:36 - 67 positions
  ⑥ CTV669 (8A03B3) - Last: 2025-07-22 16:19:58 - 70 positions
  ⑥ CTV195 (8A03B0) - Last: 2025-07-22 16:19:28 - 66 positions
  ⑥ AW0807 (8A0A19) - Last: 2025-07-22 16:17:21 - 63 positions
  ⑥ LNT099 (8A026A) - Last: 2025-07-22 16:12:19 - 74 positions
  ⑥ LNT042 (8A01AE) - Last: 2025-07-22 16:08:23 - 11 positions
  ⑥ GIA410 (8A044F) - Last: 2025-07-22 16:06:10 - 46 positions

```

GAMBAR 23

(HASIL AKHIR LOGGER DECODER DUMP1090-FA
MENGGUNAKAN ANTENNA DIRECTIONAL)

Q. Analisis Perbandingan Kinerja Aplikasi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa RTL-SDR mampu menerima sinyal ADS-B dengan baik, baik menggunakan software dump1090-fa maupun flowgraph GNU Radio yang dirancang khusus. Kedua platform berhasil mendekripsi dan mendekode pesan ADS-B dari pesawat sungguhan, divalidasi dengan data dari Flightradar24. Meskipun fungsional, keduanya memiliki perbedaan signifikan dalam penggunaan dan sumber daya komputasi. GNU Radio Flowgraph membutuhkan sumber daya komputasi lebih tinggi karena sifat modularnya yang memproses sinyal secara real-time melalui serangkaian blok, membutuhkan alokasi CPU dan memori lebih besar, terutama untuk visualisasi spektrum. Pengoperasian GNU Radio juga lebih rumit, memerlukan pemahaman mendalam tentang pemrosesan sinyal digital dan arsitektur GNU Radio. Visualisasi data ADS-B di peta juga membutuhkan skrip Python eksternal yang terhubung via ZeroMQ. Sebaliknya, dump1090-fa menawarkan pengoperasian yang lebih sederhana dan efisien. Sebagai aplikasi standalone yang dioptimalkan untuk penerimaan ADS-B, dump1090-fa memiliki overhead komputasi lebih rendah dan antarmuka yang lebih user-friendly, termasuk antarmuka web bawaan dengan fungsi plotting peta. Hal ini menjadikannya pilihan yang lebih mudah digunakan untuk implementasi yang cepat dan efisien. Secara keseluruhan, meskipun flowgraph GNU Radio berhasil membuktikan kemampuannya dalam mendemodulasi dan mendekode sinyal ADS-B dari level dasar pemrosesan sinyal, dump1090-fa menunjukkan efisiensi yang lebih baik dalam hal sumber daya dan kemudahan penggunaan untuk tujuan penerimaan dan visualisasi data ADS-B secara umum.

TABEL 1
(ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA APLIKASI)

Software	Kemampuan Menerima dan Mendekode Pesan ADS-B	Kemampuan Memplot posisi pesawat di peta
Dump1090-FA	Mampu Menerima dan Mendekode pesan ADS-B	Memiliki fungsi plotting posisi pesawat terintegrasi
Gnuradio Live Decode Flowgraph (sistem yang dirancang)	Mampu Menerima dan Mendekode pesan ADS-B	Membutuhkan kode <i>script</i> Python tambahan (webserver.py, plotter.py) untuk plotting posisi pesawat

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem embedded Software Defined Radio (SDR) berbasis Linux yang mampu mendekripsi dan mendekode sinyal Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) secara akurat. Validasi dilakukan dengan membandingkan data yang diterima dengan Flightradar24, menunjukkan konsistensi informasi posisi pesawat. Uji coba menunjukkan bahwa antena *omnidirectional* mencapai jangkauan deteksi sinyal hingga 107.0 km, sementara antena *directional* memperluas jangkauan deteksi hingga 119.4 km.

Implementasi menggunakan GNURadio flowgraph memperlihatkan kemampuan dalam pemrosesan sinyal ADS-B dari tingkat dasar dan potential untuk dikembangkan, namun dengan tuntutan sumber daya komputasi dan kompleksitas operasional yang lebih tinggi. Sebaliknya, dump1090-fa terbukti lebih efisien dalam proses komputasi dan menawarkan kemudahan pengoperasian. Secara keseluruhan, sistem yang dirancang berhasil menyediakan solusi pemantauan lalu lintas udara yang fleksibel dan hemat biaya.

REFERENSI

- [1] Denny Dermawan, Paulus Setiawan, Wahyudin Wahyudin, Diah Suwarti Widyastuti, "Rancang Bangun Receiver Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) Menggunakan RTL-SDR R820T2 Flight Aware" Mercubuana., Vol. 14. No. 03, September 2023: 156-165, doi: 10.22441/jte.2023.v14i3.006.
- [2] Muhammad Zaky, Nina Hendrarini, Mochammad Fahru Rizal, "Implementasi Rtl-Sdr Untuk Pemantauan Lalu Lintas Pesawat Menggunakan Ads-B" Telkom Univ., Vol.9, No.6 Desember 2023 : 3031, [Online] Availabe : <https://repository.telkomuniversity.ac.id/pustaka/20>

- 0664/implementasi-rtl-sdr-untuk-pemantauan-lalu-lintas-pesawat-menggunakan-ads-b.html.
- [3] Songyin Tan, Hongping Pu, "Receiving ADS-B Signals on Embedded Linux using RTL-SDR: A Practical Guide" Sichuan University of Science & Engineering 5 November 2023, doi: <https://doi.org/10.54097/fcis.v5i3.14059>.
- [4] R. R. Susianto, N. Rachmaningrum, and H. Briantoro, "Perancangan Transmitter dan Receiver Automatic Identification System (AIS) pada Software Defined Radio (SDR)", santika, vol. 4, pp. 355–360, Sep. 2024. [Online] Available : <https://santika.upnjatim.ac.id/submissions/index.php/santika/article/view/499>.
- [5] Leila Nahiri, Habib Idmouida, Badr Oumimoun, Adnane Addaim, Khalid Minaoui, Zouhair Guennoun, "Development of a Terrestrial-Based ADS-B Receiver Using a Novel Software Defined Radio Platform" EasyChair 23 Januari 2023, Available: <https://easychair.org/publications/preprint/KNbx>.
- [6] Abdul Azzam Ajhari, Juliadi Satyo Pramudito, Jonatan Reky Tasyam, "Rancangan Aplikasi Ads-B Pada Uav Dan Drone Komersil Dengan Raspberry Pi 3b" Seminar Nasional Riset Dan Inovasi Teknologi 14 Januari 2021, Available: https://proceeding.unindra.ac.id/index.php/semnrasr_istek/article/view/4787.
- [7] Dewanto, Y., Tamba, J. M., Haryati, M., & Yulianti, B. (n.d.). "Perancangan sistem implementasi ADS-B pada kendaraan roda empat." Jurnal Sistem Informasi Universitas Suryadarma, 3 Januari 2023, Available: <https://journal.universitassuryadarma.ac.id/index.php/jsi/article/view/1005>.
- [8] Anwar, S., Usman, Saputra, E., Harahap, N., & Mattew, J. J. "Analisa perbaikan pada ground station (GS) receiver automatic dependent surveillance broadcast (ADS-B) Mata di Jakarta Air Traffic Service Center (JATSC)" Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran, 20 Juni 2024, Available: <https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp/article/download/29944/20304>.
- [9] Fahmi, R. R., & Amir, E. "Peninjauan ulang penggunaan ADS-B terhadap pelayanan lalu lintas penerbangan di Perum LPPNPI Cabang Medan." Jurnal PPI Curug 18 September 2023 Available: <https://journal.ppicurug.ac.id/index.php/aboj/article/view/815>.
- [10] Sun, J." The 1090 megahertz riddle: A guide to decoding mode S and ADS-B signals (2nd ed.)." TU Delft OPEN Publishing, 10 Mei 2021 Available : <https://research.tudelft.nl/en/publications/the-1090-megahertz-riddle-a-guide-to-decoding-mode-s-and-ads-b-si>.
- [11] Eichstaedt, F. "Implementation and characterization of a GNUradio multi-channel ADS-B receiver for space-based SDR application", Master's thesis, Universität Bremen. 10 December 2021 Available : <https://elib.dlr.de/186399/>.
- [12] Stroman, S." Automatic dependent surveillance broadcast (ADS-B) security mitigation through multilateration" UNF Digital Commons December 2021 Available : <https://digitalcommons.unf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2170&context=etd>.
- [13] Reiza Pratama and Nurul Fadilah, "Implementation of ADS-B receiver using software define radio (SDR)," AIP conference proceedings, vol. 2366, pp. 060017–060017, Jan. 2021 doi: <https://doi.org/10.1063/5.0063232>.
- [14] J. Budrowait, F. Eichstaedt and T. Delovski, "Aircraft Surveillance From Space: The Future of Air Traffic Control?: Space-Based ADS-B, Status, Challenges and Opportunities," IEEE Microwave Magazine, vol. 25, no. 12, pp. 68–76, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.1109/MMM.2024.3443754>
- [15] Zeghum Abbas Abbasi, Subhana Chana, Ahsan Ali, Irfan Ali, and Shahabuddin, "Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (Ads-B) Receiver Using Raspberry Pi," Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering, vol. 10, no. 12, pp. 1–5, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.35248/2168-9792.22.11.284>.