

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Dalam penelitian [9] peneliti mengembangkan *receiver* sinyal ADS-B menggunakan RTL-SDR dan Antena 1090 MHz. Tujuan utama dari penelitian ini adalah menciptakan sebuah sistem penerimaan sinyal ADS-B yang dapat beroperasi secara mandiri tanpa koneksi *internet*. Metode yang digunakan melibatkan RTL-SDR R820T2 dengan antena *omnidirectional* 1090 MHz dan *software* RTL1090 dan AdsbSCOPE. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *receiver* yang dirancang mampu menerima dan menerjemahkan sinyal ADS-B menjadi informasi berguna seperti identitas pesawat, posisi, ketinggian, kecepatan, dan arah, menunjukkan kemandirian sistem dalam operasionalnya. Fokus penelitian pada laporan ini dengan hasil penelitian yang sama, namun dengan beroperasi menggunakan jaringan *internet*.

Penelitian [10] meneliti tentang penerimaan sinyal ADS-B di Bandara Juanda Surabaya. Dalam penelitian ini penulis menggunakan perangkat RTL-SDR R820T2 dan aplikasi Virtual Radar Server serta RTL1090 untuk menerima dan memproses sinyal ADS-B dengan frekuensi 1090 MHz. Tujuan utamanya adalah untuk mengamati parameter daya yang diterima serta informasi detail penerbangan seperti 24 bit ICAO *aircraft address*, *Nationality Ident*, *Squawk*, *Altitude*, *Latitude*, *Longitude*, *Speed*, dan *Heading*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan konfigurasi tersebut sistem dapat berhasil menampilkan informasi yang dibutuhkan dengan jelas dan akurat dan memberikan alternatif yang efektif untuk pemantauan penerbangan di Bandara Juanda. Dengan tujuan yang sama, namun penulis pada laporan ini melakukan penelitian penerimaan sinyal ADS-B di Bandara Wirasaba.

Berdasarkan penelitian [11] membahas tentang pengembangan sistem untuk memantau lokasi pesawat menggunakan teknologi ADS-B. Penelitian ini menggunakan RTL-SDR R820T2 dan Raspberry Pi untuk menangkap dan memproses sinyal ADS-B yang dikirim oleh pesawat. Mereka juga memanfaatkan antena *omnidirectional* dan perangkat lunak seperti Dump1090 dan PiAware untuk mendekode sinyal ADS-B dan memantau lokasi pesawat secara *real-time*. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa dengan perangkat keras dan lunak yang terintegrasi, sistem dapat secara efektif memantau lokasi pesawat dan menghasilkan informasi yang akurat seperti identitas ICAO 24-bit pesawat, kecepatan, dan arah penerbangan. Berbeda dengan penelitian ini, penulis menggunakan antena *Printed Circuit Board* (PCB) dan tidak menggunakan Raspberry Pi.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Teknologi *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast*

Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) merupakan teknologi pemantauan yang mengandalkan informasi posisi dari satelit untuk melakukan penyiaran (*broadcast*) terus-menerus. Teknologi ini berbeda dari *Radio Detection and Ranging* (radar) konvensional yang memindai posisi pesawat. Pesawat yang dilengkapi dengan *transponder* ADS-B akan secara konstan mengirimkan data dari sistem manajemen penerbangan. Data yang dikirimkan meliputi tinggi, kecepatan, dan identitas pesawat, mirip dengan yang diberikan oleh radar sekunder. Keunggulan ADS-B termasuk kemampuannya untuk mengintegrasikan informasi tambahan seperti data cuaca dan lain-lain[12].

ADS-B adalah suatu teknologi dalam penerbangan yang memungkinkan pesawat terbang untuk secara otomatis mengirimkan informasi penting tentang dirinya sendiri kepada penerima darat dan pesawat lain.

1. *Automatic*

Berarti bahwa proses pengiriman informasi dilakukan secara otomatis tanpa intervensi manusia. Pesawat dapat secara mandiri menghasilkan dan mengirimkan data.

2. *Dependent*

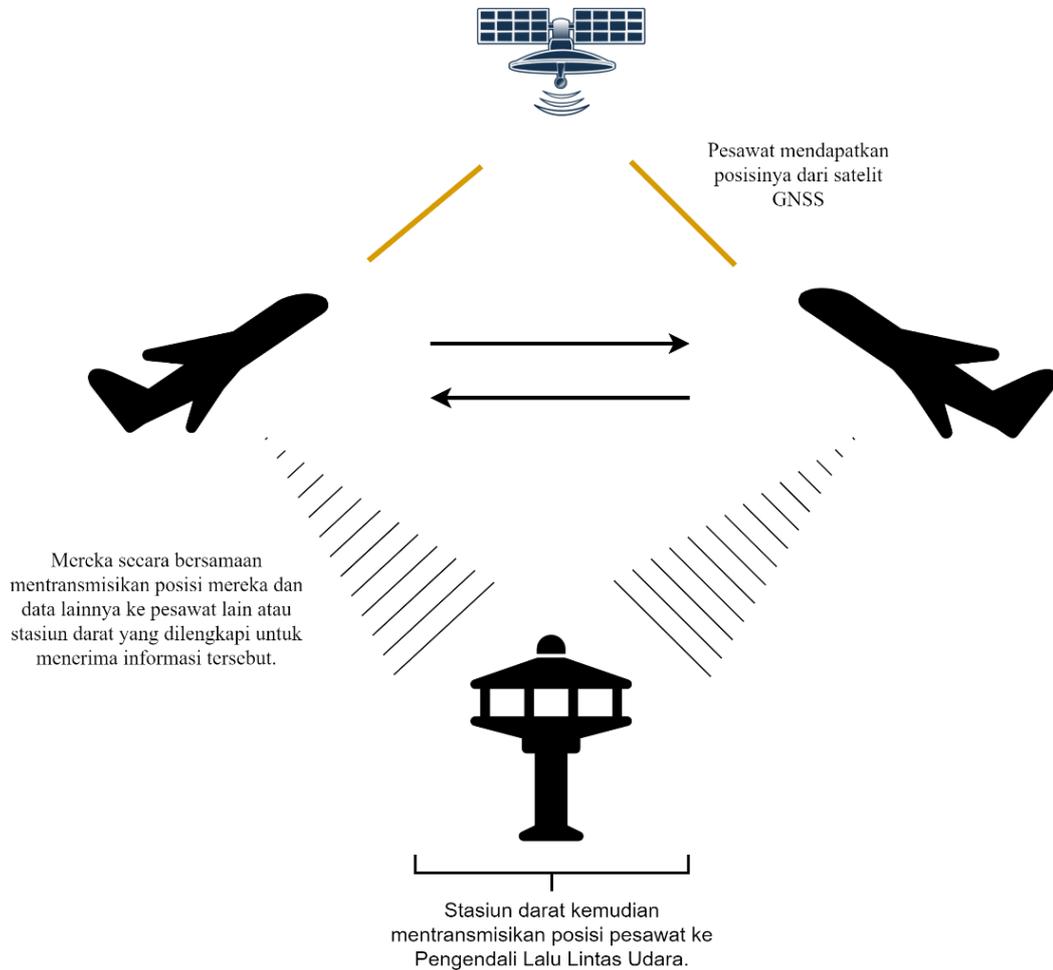
Menunjukkan bahwa sistem ini bergantung pada data atau informasi yang berasal dari peralatan atau sensor pesawat. Dengan kata lain, informasi yang dikirimkan bergantung pada parameter dan data yang telah dihasilkan oleh sistem pesawat itu sendiri.

3. *Surveillance*

Surveillance merujuk pada kemampuan sistem untuk mengawasi atau memantau area sekitarnya contohnya mencakup pengiriman data seperti posisi, kecepatan, ketinggian, dan identifikasi pesawat.

4. *Broadcast*

Menyiratkan bahwa informasi yang dikumpulkan oleh pesawat secara otomatis dikirimkan dan disiarkan ke penerima darat dan pesawat lain di sekitarnya. *Broadcast* memungkinkan pertukaran informasi *real-time* antara pesawat dan sistem pengawasan[13].



Gambar 2.1 Teknologi ADS-B

Jaringan ADS-B terdiri dari pesawat sebagai pengirim data, satelit GNSS sebagai pemberi data posisi, *ground stations* sebagai penerima sinyal, dan pengendali lalu lintas udara sebagai aplikasi yang menggunakan data tersebut, Pada Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa arsitektur ADS-B terdiri dari beberapa komponen dengan fungsi dan peran tertentu. Komponen tersebut diantaranya pesawat yang memiliki fungsi sebagai pengirim data yang memiliki *transponder* ADS-B, satelit GNSS berperan sebagai penyedia data posisi dan waktu yang akurat kepada pesawat yang kemudian digunakan oleh pesawat untuk menentukan lokasi *geospasial* mereka secara mandiri, *ground stations* berfungsi sebagai komponen penghubung yang menerima data ADS-B dari pesawat dan meneruskannya ke pengendali lalu lintas udara, dan pengendali lalu lintas udara yang merupakan aplikasi akhir yang menggunakan data dari ADS-B untuk memantau dan mengatur lalu lintas udara serta memastikan keselamatan dan efisiensi penerbangan.

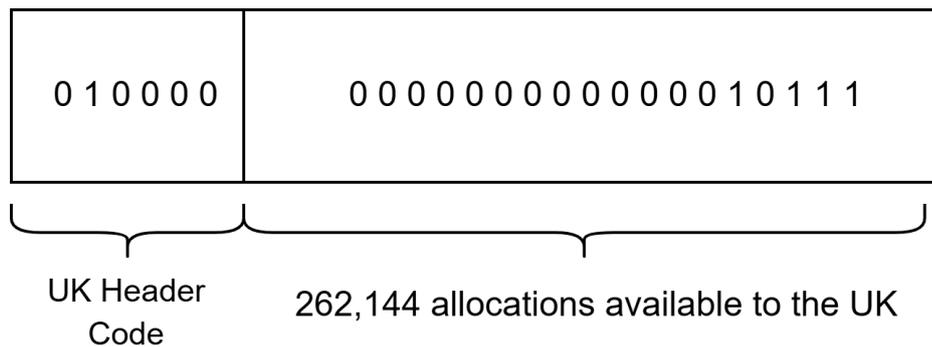
Penerapan sistem ADS-B di Indonesia telah diatur dalam Peraturan Menteri Perhubungan PM No 81 Tahun 2017 yang mengubah Peraturan Menteri Perhubungan PM No 94 Tahun 2015. Peraturan ini juga merujuk pada Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 91 (CASR part 91) dan Peraturan Pengoperasian Pesawat Udara (*General Operating and Flight Rules*). Dalam peraturan tersebut dijelaskan bahwa pesawat dengan kategori '*Transport Category Aircraft*' wajib dilengkapi dengan pemancar ADS-B mulai 23 April 2020, sesuai dengan publikasi AIP (*Aeronautical Information Publication*)[14].

2.2.2 Data Yang disiarkan Oleh ADS-B

Data yang disiarkan oleh ADS-B merupakan bagian penting dari informasi yang ditransmisikan oleh sistem ADS-B dari pesawat ke stasiun penerima di darat *Air Traffic Controller* (ATC) atau ke pesawat lain.

2.2.2.1 24-bit ICAO Aircraft Address

24-bit ICAO (*International Civil Aviation Organization*) Aircraft Address adalah kode unik yang diberikan kepada setiap pesawat yang mendaftar di bawah Konvensi Penerbangan Sipil Internasional. Kode ini digunakan untuk mengidentifikasi pesawat secara spesifik.



UK = United Kingdom (Inggris)

Gambar 2.2 Contoh ICAO Aircraft Address United Kingdom[15]

Pada Gambar 2.2 menunjukkan struktur dari alamat 24-bit ICAO yang digunakan untuk mengidentifikasi pesawat terbang. Struktur tersebut terbagi menjadi 2 bagian yaitu:

1. *UK Holder Code*

Pada bagian ini merupakan alamat yang menandakan bahwa alamat tersebut dialokasikan untuk pesawat yang terdaftar di Inggris atau *United Kingdom*. *UK Holder Code* merupakan deretan bit yang menandakan UK adalah 0100 (dalam bentuk 4 bit pertama dari alamat 24-bit).

2. *ICAO Aircraft Address 262,144*

ICAO Aircraft Address 262,144 merupakan alamat unik pesawat itu sendiri. Dalam contoh tersebut alamat yang ditampilkan adalah angka 23 yang dalam bentuk biner ditulis sebagai 0000 0000 0000 0001 0111.

Pada bagian Gambar tersebut yang menyebutkan "*262,144 allocations available to the UK*" menunjukkan bahwa berdasarkan *header code* yang diberikan. UK

mengalokasikan 262,144 alamat unik untuk pesawat yang terdaftar di sana. Jumlah ini dihasilkan dari 18 bit sisanya atau:

$$2^{18} = 262,1444 \quad (2.1)$$

Header Code memungkinkan setiap negara untuk memiliki sistem pengkodean sendiri yang tetap unik di seluruh dunia sesuai dengan pembagian blok alamat oleh ICAO.

2.2.2.2 *Nationality Identification*

Nationality Identification dalam penerbangan merupakan kode yang mengidentifikasi negara pendaftaran suatu pesawat. Kode ini biasanya terdiri dari satu atau dua huruf dan merupakan bagian dari *registrion mark* atau *tail number* pesawat. Setiap negara memiliki prefix atau kode awalan yang unik untuk kode registrasi pesawatnya yang ditetapkan oleh *International Civil Aviation Organization* (ICAO). Contohnya amerika menggunakan prefix “N” sebagai pesawat yang terdaftar di sana[16].



Gambar 2.3 Registration Mark[16]

Pada Gambar 2.3 menampilkan bagian dari pesawat dengan tulisan "PK-AXC". PK pada gambar tersebut merupakan *Nationality Identification* yang menunjukkan pesawat tersebut terdaftar di Indonesia. Pada negara-negara lainnya, *Nationality Identification* diikuti oleh tanda stirp (-) dan kemudian *Registration Mark* yang terdapat pada gambar 2.3 adalah AXC[17]. Pesawat dengan kode PK-AXC secara khusus dikenal sebagai salah satu pesawat milik maskapai AirAsia Indonesia[18].

2.2.2.3 Kode Squawk

Kode *squawk* merupakan sebuah kode numerik empat digit yang berkisar dari 0000 hingga 7777 yang digunakan dalam sistem *transponder* pesawat terbang untuk mengidentifikasi pesawat kepada pengendali lalu lintas udara (ATC). Kode ini merupakan bagian penting dari sistem pengawasan dan navigasi udara, membantu ATC dalam mengelola lalu lintas udara. Kode *squawk* yang ditetapkan pada *transponder* pesawat memberikan identifikasi unik yang memungkinkan unit kontrol lalu lintas udara untuk membedakan antara pesawat yang berbeda. Kode ini kompatibel dengan *transponder* mode A, mode C, dan mode S. Jenis data yang ditampilkan oleh transponder bervariasi tergantung pada jenis yang dipasang. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan garis besar cara kerja *transponder* yang berbeda[19]:

Tabel 2.1 Tipe Transponder[19]

| Tipe Transponder | Data Yang Disediakan |
|-------------------------|---|
| Mode A | Kode <i>Squawk</i> dan Identifikasi |
| Mode C | Kode <i>Squawk</i> , Identifikasi, dan Ketinggian Tekanan |
| Mode S | Kode <i>Squawk</i> , Identifikasi selektif oleh kontrol lalu lintas udara, ketinggian tekanan, data pengawasan yang disempurnakan (seperti data <i>azimuth</i>), <i>Automatic Dependent Surveillance Broadcasting</i> (ADSB), Penghindaran Tabrakan Lalu Lintas (TCAS) |

Berikut ini adalah kode-kode *squawk* yang dapat diartikan ketika menggunakan *transponder*:

Tabel 2.2 Arti dari kode *Squawk*[19].

| Kode <i>Squawk</i> | Arti Kode <i>Squawk</i> |
|--------------------|--|
| 1200 | Lalu lintas VFR (<i>Visual Flight Rules</i>) |
| 7000 | Pesawat VFR tanpa kode lain yang ditetapkan |
| 7500 | Pesawat Dibajak |
| 7600 | Pesawat dengan Kerusakan Radio |
| 7700 | Pesawat dalam Keadaan Darurat |

2.2.2.4 *Altitude*

Altitude merupakan ketinggian pesawat di atas permukaan laut dan biasanya diukur dalam kaki. Tinggi ini penting untuk memastikan keselamatan penerbangan, karena membantu pilot dalam menjaga jarak yang aman dari objek di bawahnya seperti gunung atau bangunan tinggi, serta dari pesawat lain yang mungkin berada di wilayah udara yang sama. Ketinggian atau *altitude* pesawat merupakan jarak vertikal pesawat yang diukur dari permukaan laut. Nilai ketinggian pesawat didapat dari mengkonversi nilai tekanan udara dengan menggunakan persamaan berikut ini[20]:

$$h = (P_u - P_h) \times 100 \text{ m} \quad (2.2)$$

Keterangan :

h = Ketinggian suatu tempat (meter)

P_u = Tekanan udara pada ketinggian h (cmHg)

P_h = Tekanan udara pada permukaan laut (76cmHg)

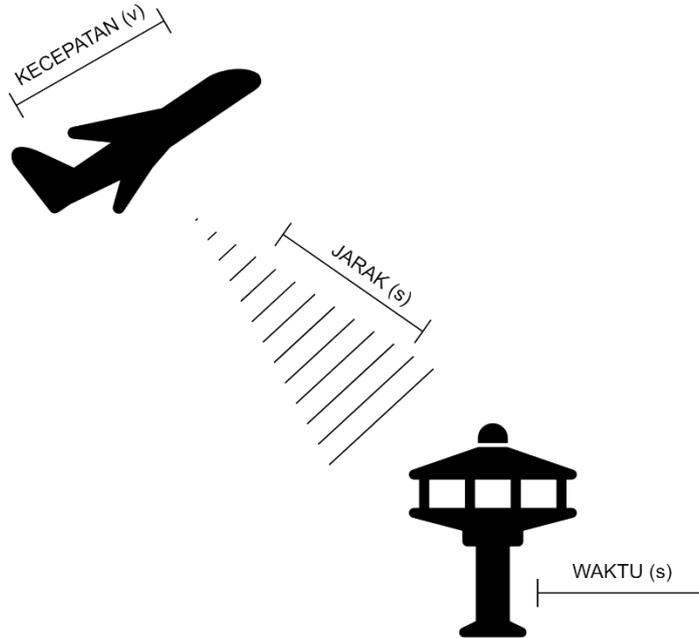
Dalam dunia penerbangan satuan yang digunakan untuk menunjukkan nilai dari ketinggian adalah *feet* (kaki). Untuk mengkonversi satuan menjadi *feet* perhatikan *table* berikut ini.

Tabel 2.3 Konversi ke satuan *feet*

| Dari | Ke |
|---------|-----------|
| 1 Meter | 3.28 feet |

2.2.2.5 Speed

Kecepatan atau *speed* merupakan kemampuan suatu benda berpindah dari satu titik ke titik yang lain dalam waktu tertentu. Kecepatan berhubungan dengan jarak dan waktu, yang secara matematis dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Kecepatan Pesawat

$$v = \frac{s}{t} \quad (2.3)$$

Keterangan :

v = kecepatan

s = jarak perpindahan suatu benda

t = waktu tempuh

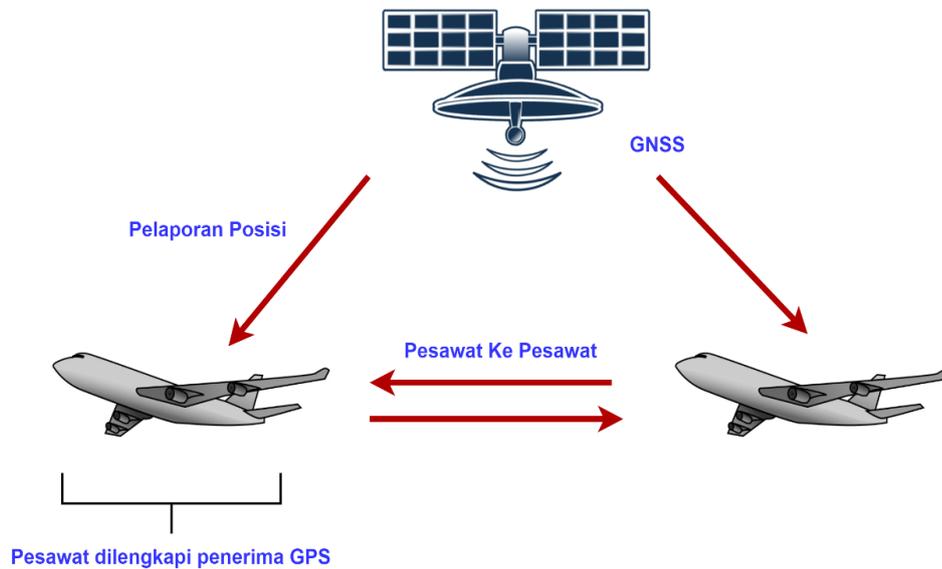
Kecepatan memiliki banyak satuan, seperti meter per *second* (m/s), kilometer per *hour* (km/h), *knot*, dan *mach*. Satuan dari kecepatan dalam Satuan Internasional (SI) adalah meter per *second* (m/s). Dalam dunia penerbangan satuan kecepatan yang digunakan adalah *knot*. *Knot* adalah pengukuran kecepatan dalam mil laut per jam. Untuk mengkonversi menjadi *knot* dapat memperhatikan table berikut[20].

Tabel 2.4 Tabel konversi satuan *Knot*

| Dari | Ke |
|--------|---------------|
| 1 m/s | 1,94384 knot |
| 1 km/h | 0,539957 knot |

2.2.2.6 *Latitude dan Longitude*

Latitude dan Longitude pada sistem ADS-B merupakan koordinat geografis yang menunjukkan posisi pesawat di permukaan bumi. Pesawat mendapatkan data lintang (*latitude*) dan bujur (*longitude*) yang dikirimkan melalui sistem ADS-B dari sistem navigasi satelit global, yang paling umum adalah *Global Positioning System (GPS)*[21].

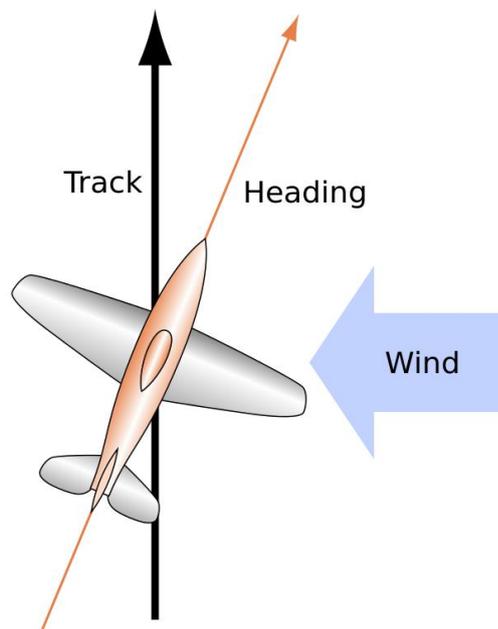


Gambar 2.5 Proses penerimaan informasi posisi pesawat

Pada Gambar 2.5 merupakan proses penerimaan informasi posisi pesawat yang digambarkan pada Gambar 2.4. Pesawat yang digambarkan dilengkapi dengan penerima GPS (*Global Positioning System*) yang memiliki kemampuan untuk menerima sinyal dari satelit-satelit yang termasuk dalam sistem GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Dengan menggunakan sinyal dari beberapa satelit secara simultan, sistem GPS pada pesawat dapat menghitung posisi pesawat dengan akurasi tinggi termasuk lintang dan bujur.

2.2.2.7 *Heading*

Heading merupakan istilah yang digunakan dalam navigasi penerbangan untuk mendeskripsikan arah yang dihadapi atau dituju oleh pesawat terbang. *Heading* diukur dalam derajat ($^{\circ}$) dan biasanya direferensikan terhadap utara magnetik atau geografis. Pilot menggunakan informasi *heading* untuk memandu pesawat menuju tujuannya, terutama saat terbang dalam kondisi cuaca buruk atau saat melakukan navigasi.

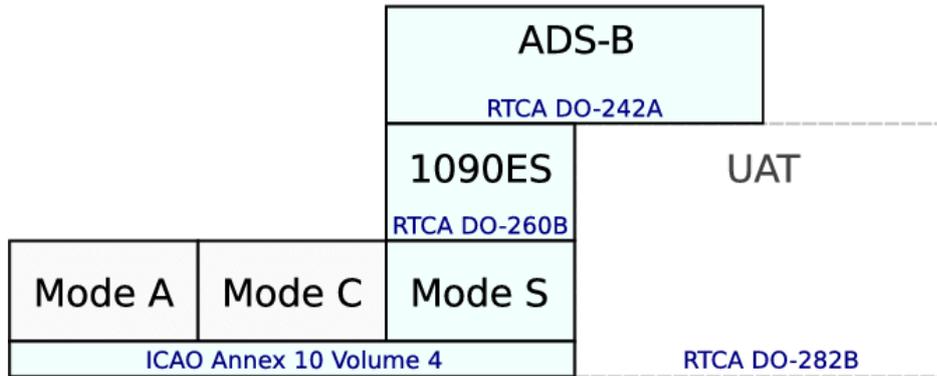


Gambar 2. 6 *Track* dan *Heading* dengan pengaruh angin[22]

Pada Gambar 2.6 merupakan representasi visual yang menggambarkan interaksi antara *track* dan *heading* pesawat dengan pengaruh dinamika angin. Saat pesawat berlayar di atmosfer terdapat angin yang berhembus dengan arah lintas menciptakan kondisi di mana terdapat deviasi antara arah yang dituju (*heading*) dan jalur yang sebenarnya ditempuh (*track*).

2.2.3 Frekuensi

Frekuensi merupakan jumlah getaran yang terjadi dalam satu detik. Frekuensi dilambangkan dengan f dan memiliki satuan *Hertz* (Hz).

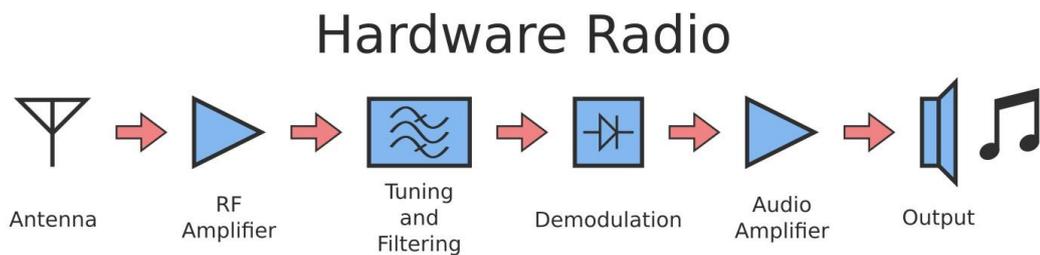


Gambar 2.7 Protokol ADS-B[23]

Gambar 2.7 di atas tersebut menunjukkan hubungan antara berbagai sistem *transponder* dan protokol dalam pengawasan penerbangan, termasuk ADS-B, Mode A, Mode C, Mode S, 1090ES, dan UAT (*Universal Access Transceiver*). ADS-B merupakan teknologi pengawasan yang memungkinkan pesawat menyiarkan data posisi dan informasi lainnya secara otomatis yang diatur oleh RTCA (*Radio Technical Commission for Aeronautics*) DO-242A. 1090ES bagian dari ADS-B yang menggunakan frekuensi 1090 MHz yang diatur oleh RTCA DO-260B, dan digunakan bersama Mode S *transponder* yang menyediakan data lebih detail yang diatur oleh ICAO Annex 10 Volume 4. Mode A dan Mode C *transponder* menyediakan kode identifikasi pesawat dan informasi ketinggian dan juga diatur oleh ICAO Annex 10 Volume 4.

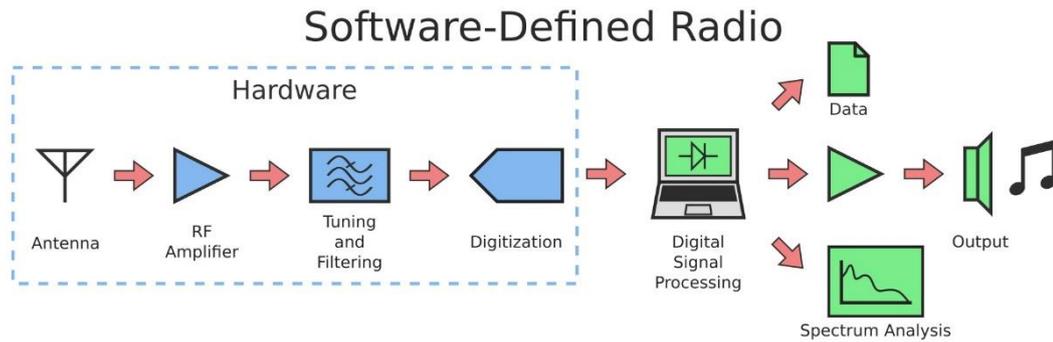
2.2.4 Software Defined Radio

Software Defined Radio (SDR) merupakan teknologi radio yang memungkinkan *hardware* untuk diadaptasi ke berbagai frekuensi. Dalam SDR komponen-komponen seperti *amplifier*, modulator, dan fungsi logika khusus yang biasanya terdapat pada *hardware* didefinisikan dan diimplementasikan melalui perangkat lunak. SDR adalah sistem komunikasi di mana komponen radio seperti antena, amplifier RF (*Radio Frequency*) serta digitalisasi gelombang radio diterapkan dalam perangkat keras. Fungsi-fungsi ini ketika digabungkan dengan pemrosesan sinyal digital di perangkat lunak, memungkinkan analisis spektrum dan *output* yang fleksibel seperti data dan *audio* yang menawarkan kemampuan lebih tinggi dan adaptasi yang luas. Berikut ini merupakan perbandingan blok diagram antara *Hardware Radio* dan SDR:



Gambar 2.8 Blok diagram *Hardware Radio*[24]

Pada Gambar 2.8 dapat dilihat rangkaian kerja dari radio *hardware*. Dalam gambar tersebut antena menangkap sinyal RF yang selanjutnya dikuatkan oleh RF *Amplifier*. Sinyal RF yang diperkuat kemudian diseleksi dan disaring melalui proses *tuning* dan *filtering*. Sinyal yang telah disaring ini lalu diubah menjadi sinyal *audio* melalui proses demodulasi. Sinyal *audio* tersebut diperkuat oleh *Audio Amplifier* sebelum akhirnya disalurkan keluar sebagai *output* suara yang dapat didengar.



Gambar 2.9 Blok diagram SDR[23]

Selanjutnya pada Gambar 2.9 dapat dilihat diagram alur kerja SDR. Mulai dari kiri antenna menangkap gelombang RF yang selanjutnya diperkuat oleh RF *Amplifier*. Proses *tuning* dan *filtering* kemudian digunakan untuk memilih dan menyaring sinyal yang diinginkan. Setelah itu, sinyal tersebut didigitalisasi, memungkinkan *Digital Signal Processing* untuk mengambil alih. Proses ini melibatkan spektrum dan konversi sinyal menjadi data atau *audio* yang berguna sebagai *output* yang bisa dipahami atau dimanfaatkan oleh peneliti.