

SECONDARY SURVEILLANCE RADAR (SSR)

Yoseph Rasiman¹, Yunaini Ketty², Muchammad Muchaddats³,
Kurniawan³, Tia Dikatama Tsania.⁴

^{1,2}Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma;

^{3,4,5}National Air And Space Power Of Indonesia

¹rasiman@unsurya.ac.id; ^{2,3}Muchammadfurqon10@gmail.com;

⁴ikeo.santai@gmail.com.

Abstrak — Penelitian ini dilaksanakan bertujuan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi pesawat terbang secara elektronik dengan menampilkan (*display*) informasi elektronik seperti kode pesawat, ketinggian pesawat dan informasi lainnya. *Secondary Surveillance Radar* (SSR) yang merupakan sistem radar aktif dengan respon aktif, yang sering digunakan untuk monitoring dan pengendalian lalu lintas udara (ATC). SSR berfungsi untuk mendeteksi dan mengidentifikasi pesawat terbang secara elektronik dengan menampilkan (*display*) informasi elektronik seperti kode pesawat, ketinggian pesawat dan informasi lainnya. Secara garis besar bekerjanya SSR seperti halnya sistem komunikasi (elektronik) *point-to-point* antara Interrogator (yang berada di darat), dengan mengirimkan *Mode signal*, pada frekuensi 1030 MHz, dan Transponder (yang ada di pesawat udara) yang mengirimkan Code signal pada frekuensi 1090 MHz sebagai respon. (*Interrogator requires an airborne Transponder on the airplane which responds to the receipt of pulses from a ground-based antenna; This response signal (CODE) can contain much more information, e.g. an altitude, an identification code or also any technical problems on board such as a radio contact loss*)

Kata Kunci: *Display, Secondary Surveillance Radar (SSR), Primary Surveillance Radar (PSR), Kode Pesawat, Interrogator, Transponder, Sistem Komunikasi.*

Abstrak — *This research was conducted with the aim of detecting and identifying aircraft electronically by displaying electronic information such as aircraft code, aircraft altitude and other information. Secondary Surveillance Radar (SSR) which is an active radar system with active response, which is often used for monitoring and controlling air traffic (ATC). SSR functions to detect and identify aircraft electronically by displaying electronic information such as aircraft code, aircraft altitude and other information. In general, SSR works like a point-to-point (electronic) communication system between the Interrogator (on the ground), by sending a Mode signal, at a frequency of 1030 MHz, and the Transponder (on the aircraft) which sends a Code signal at a frequency of 1090 MHz as a response. (Interrogator requires an airborne Transponder on the airplane which responds to the receipt of pulses from a ground-based antenna; This response signal (CODE) can contain much more information, e.g. an altitude, an identification code or also any technical problems on board such as a radio contact loss, etc.)*

Keywords: *Display, Secondary Surveillance Radar (SSR), Primary Surveillance Radar (PSR), Aircraft Code, Interrogator, Transponder, Communication System.*

1. PENDAHULUAN

Setelah terjadi perang dunia II telah dikembangkan beberapa radar sebagai alat. Setelah terjadi perang dunia II telah dikembangkan beberapa radar sebagai alat pendeteksi secara otomatis diantaranya SSR merupakan sebuah peralatan untuk mendeteksi dan mengetahui posisi dan data target yang ada disekelilingnya secara aktif, dimana pesawat ikut aktif jika menerima pancaran sinyal RF radar sekunder. Perkembangan radar yang pesat di masa perang memiliki aplikasi yang jelas untuk kontrol lalu lintas udara (ATC) sebagai sarana untuk menyediakan pengawasan berkelanjutan terhadap pelaksanaan kegiatan penerbangan pada lalu lintas udara. Pengetahuan yang tepat tentang posisi pesawat akan memungkinkan pengurangan standar pemisahan prosedural normal, yang pada gilirannya menjanjikan peningkatan yang cukup besar dalam efisiensi sistem jalur udara. Jenis radar ini (disebut radar primer) dapat mendeteksi dan melaporkan posisi apa pun yang mencerminkan sinyal radio yang ditransmisikannya termasuk, tergantung pada desainnya, pesawat, burung, cuaca, dan fitur daratan. Untuk tujuan kontrol lalu lintas udara, ini merupakan keuntungan dan kerugian. Targetnya tidak harus bekerja sama, mereka hanya harus berada dalam jangkauannya dan dapat memantulkan gelombang radio, tetapi itu hanya menunjukkan posisi target, itu tidak mengidentifikasi mereka. Ketika radar primer adalah satu-satunya jenis radar yang tersedia, korelasi pengembalian radar individu dengan pesawat tertentu biasanya dicapai oleh pengontrol yang mengamati belokan terarah oleh pesawat. Radar primer masih digunakan oleh ATC sebagai sistem cadangan/pelengkap untuk radar sekunder, meskipun jangkauan dan informasinya lebih terbatas. Pancaran radar ini berupa pulsa-pulsa mode, pesawat yang di pasangi transponder, akan menerima pulsa-pulsa tersebut dan akan menjawab berupa pulsa-pulsa code ke sistem penerima radar. Stasiun Radar SSR yang berada di bawah (*Ground Station SSR*)

terdiri dari Transmitter (Tx), Receiver (Rx), Processing atau Extractor Video, Coder, dan Monitor/Plane Position Indicator. Transmitter yang bekerja pada frekuensi carrier 1030 MHz yang dimodulasi oleh sinyal Mode A dan Mode C. Pada dasarnya Transmitter ini seolah-olah berfungsi sebagai alat pengirim sinyal penanya, yang lazim disebut sebagai "interrogate signal". Bilamana "interrogate signal" ini dimodulasi dengan "mode A", berarti pemancar atau interogator mengirim pertanyaan tentang identifikasi pesawat (*aircraft identification*), dan bilamana interogator mengirim mode C berarti mengirim sinyal pertanyaan tentang ketinggian/*altitude* pesawat.

2. METODE PENELITIAN

Dalam melaksanakan penelitian tentang *Secondary Surveillance Radar* (SSR) ini menggunakan beberapa metode dan cara pada penelitian ini dengan meningkatkan kemampuan mendeteksi dan mengidentifikasi pesawat secara otomatis dalam penerbangan *flight level* atau tekanan ketinggian pada pesawat terbang. Dengan memanfaatkan stasiun darat SSR untuk memancarkan pulsa interogasi pada 1030 MHz (terus-menerus dalam Mode A, C dan selektif, dalam Mode S) saat antenanya berputar, atau dipindai secara elektronik, di luar angkasa. Transponder pesawat dalam jangkauan garis pandang mendengarkan sinyal interogasi SSR dan memancarkan balasan pada posisi 1090 MHz yang menyediakan informasi pesawat. Sehingga balasan yang dikirim bergantung pada mode interogasi. Pesawat yang akan ditampilkan sebagai ikon akan ditandai pada layar radar sebagai pengontrol pada posisi dan jarak yang diukur. Radar yang dilengkapi dengan transponder tidak hanya melacak pesawat, akan tetapi juga bekerja secara aktif dapat mencegah bencana dari tabrakan, kegagalan mesin, pada kegiatan dalam penerbangan. Sehingga transponder memiliki peran yang sangat penting dalam

keadaan darurat pada penerbangan baik sipil maupun militer.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Prinsip Kerja

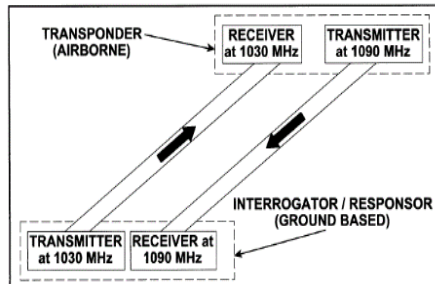
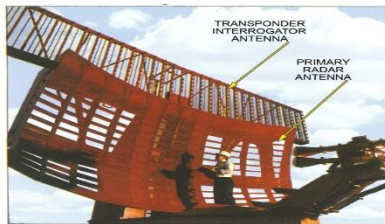


Figure 11.4. SSR operates in the UHF Band.

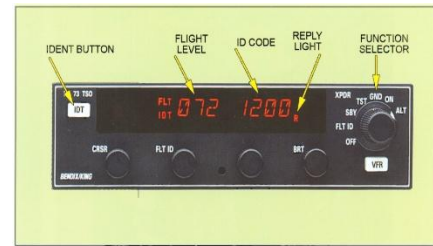
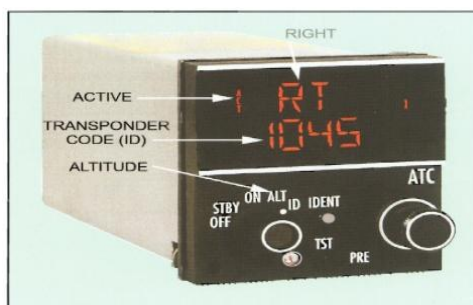
Contoh Blok Diagram sistem SSR

- The interrogator transmits 1030mhz signal.
- The transponder receives on 1030mhz and transmits back on 1090mhz to receiver interrogator.
- The transponder reply is more powerful than the reflected signal radar (psr) allowing for far greater range. (250nm).



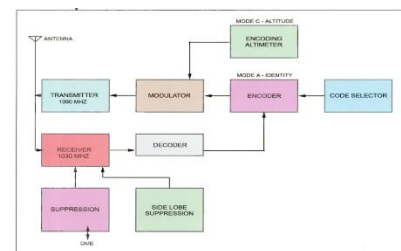
Gambar antenna Radar PSR dan antenna SSR

- The antenna shown has two parts: the lower part is the older system (PSR) that picked up aircraft skin reflections; the upper part (SSR) is the beacon interrogator.
- This example is an ASR (Airport Surveillance Radar) known as "approach control" or Tracon (terminal radar approach control).



Gambar Transponder control and display fitted in the cockpit

- *This example shows the transponder "squawking" code 1045.*
- *"Squawking" is when the pilot dials in a code.*
- *Pressing the ident button (code) causes that aircraft's "blip" on the air traffic controller's radar scope to "bloom".*
- *Mode A transmits ID information and Mode C adds altitude information.*



Gambar transponder block diagram

- *The receiver (transponder) picks up signal from the ground station (interrogator) at 1030 mhz and send to the decoder. The decoder measures the incoming pulses and identifies them; if they are recognized, they are sent to the encoder. The encoder creates the pulsed reply (code).*
- *The encoding altimeter converts barometric pressure to a signal for a mode C reply. The Code Selector is used to dial in the code assigned by ATC. The modulator amplifies pulses that form the replay and sends it to the transmitter to transmit on 1090 mhz. The side lobe suppressor filters out side lobe signals (which would cause false position information on the ATC radar scope). The Suppression Circuit prevents interference from DME, also a pulsed signal.*
- *The interrogator transmits pulses (mode). Every mode represents a*

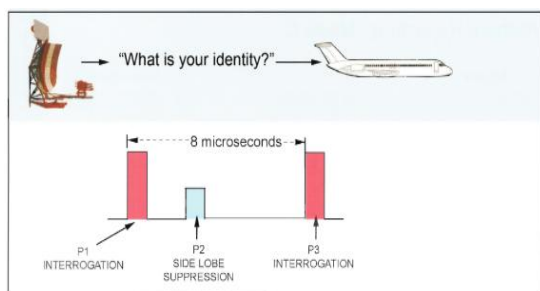
different question. For conventional SSR (not mode-S) the choice of questions is very simple. Such as the controller wants to know the identity of the aircraft (i.e. „Who are you?“).

Stasiun di darat (interrogator) memancarkan pulsa signal interogasi (Mode) pada frekuensi 1030 MHz (terus-menerus dalam Mode A, C dan selektif untuk Mode S) saat antenanya berputar, atau model antena dengan elektronik scanning. Transponder (di pesawat) yang berada dalam jangkauan radar 'mendengarkan' sinyal interogasi dan mengirim (memancarkan) sinyal respon (code) pada frekuensi 1090 MHz, yang berisi identitas dan informasi pesawat. Kombinasi signal respon (code) yang dikirim bergantung pada MODE interogasi. Pesawat terbang tanpa transponder masih dapat diamati oleh radar primer (PSR), tetapi tanpa data SSR. Biasanya ketersediaan transponder juga merupakan persyaratan pesawat untuk dinyatakan layak untuk terbang

3.2. Mode Interogasi

Ada beberapa Mode interogasi. Masing-masing ditunjukkan dan dibedakan oleh lebarnya periode signal pulsa pemancar (interrogator), yang dikenal sebagai pasangan pulsa P1 dan P3. Pulsa ketiga, P2 disisipkan diantaranya, yang berfungsi untuk menghilangkan “side lobes” yang akan dijelaskan tersendiri. Setiap mode menghasilkan respon yang berbeda dari transponder (yang ada di pesawat).

3.3. Mode A

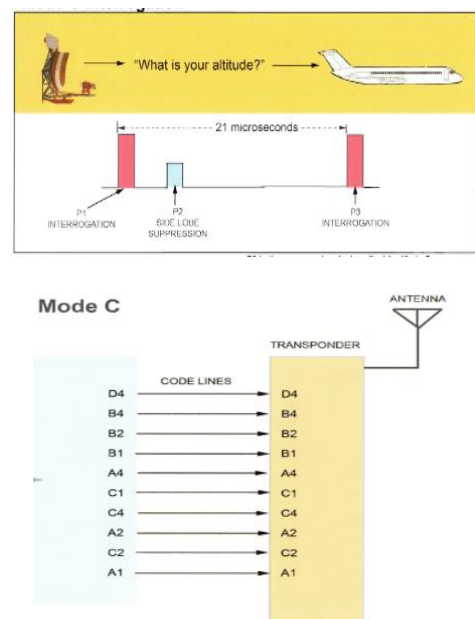


The Interrogator sends out an interrogation signal of two pulses at 8μs. The signal is

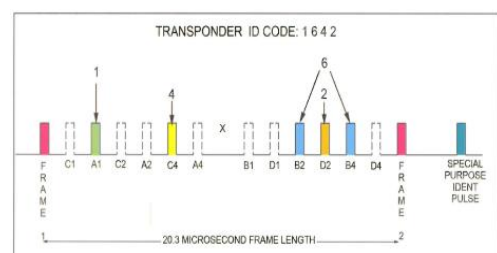
made up of 3 pulses: P1, P2, and P3. P1 and P3 tell the airplane this is a Mode A interrogation. P2 helps overcome the side lobe problem by being a lower strength than P1; if it is a higher strength, it would be a side lobe and the suppressor circuit would filter it out. Mode-A menghasilkan respons (code) dari transponder yang terdiri dari 12 pulsa, yang menunjukkan ID pesawat tersebut. Ke-12 pulsa tersebut berada di dalam “frame” pulsa, F1 dan F2 yang lebarnya sebesar 20,3 μs. Sedangkan pulsa X tidak digunakan.

3.4. Mode C

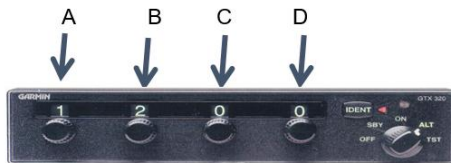
Mode-C menghasilkan respons (code) 11 pulsa (pulsa D1 tidak digunakan), yang menunjukkan ketinggian pesawat sebagaimana ditampilkan (display) pada altimeternya (umumnya dalam kelipatan 100 ft).



Transponder ID code, code yang dikirimkan berbentuk kode yang dikenal dengan *binary to octal code*



- Here is the pulses of a transponder code of 1642.
- There are only 4096 possible codes in this system.
- If an “ident” (squawk) is requested, the pilot presses the IDENT button which causes that particular aircraft's blip to “bloom” on ATC's radar scope.



Keterangan:

- A is the first digit
- B is the second digit
- C is the third digit
- D is the forth

Mode A Mode C Interrogation has a 21 μ s time delay. As the ground antenna makes one full sweep, it does a Mode A interrogation, then a Mode C interrogation on the next sweep.

3.5. Binary to octal

Every digit has three pulses that are on or off.

A1 A2 A4

B1 B2 B4

C1 C2 C4

D1 D2 D4

So first digit could be :

	A1	A2	A4	Decimal
	0	0	0	0
	0	0	1	1
	0	1	0	2
	0	1	1	3
	1	0	0	4
	1	0	1	5
	1	1	0	6

Mode B memberikan respons serupa dengan mode A dan pernah digunakan di Australia. Mode D belum pernah digunakan secara operasional. Mode S introduced to overcome the limitations of ATCRBS (Air Traffic Control Radar Beacon System). Mode S stands for selective addressing. An ATC controller can request a specific aircraft to respond which reduces system clutter. This is accomplished by an aircraft address which is comprised of 24 bits.

Mode S, memiliki karakteristik interogasi yang berbeda. Mode ini terdiri dari pulsa P1 dan P2 untuk memastikan bahwa transponder tidak membalas mode A dan mode C diikuti oleh pulsa termodulasi fase panjang.

- The Reply light illuminates for several seconds while the reply transmits and also when an interrogation is answered.
- Flight level shows the altitude, in thousands of feet; here 072 or 7200 feet is shown.
- ID code displays the code dialed in for squawking; this example shows 1200 which is used for VFR flights.
 - Function selector off—turns off transponder.
 - FLT ID for dialing in code assigned by ATC.
 - SBY standby mode.
 - TST lights up all the lighted displays.
 - GND disables replies, used when on the ground.
 - ON turns on transponder.
 - ALT used during flight to allow for replies.
 - The VFR button automatically sets code 1200 for VFR.



Mode S dimaksudkan untuk beroperasi hanya dengan satu respon dari pesawat, yang dikenal sebagai monopulse. Untuk menghasilkan pancaran jumlah (SUM channel), sinyal didistribusikan secara horizontal melintasi antenna. Sistem umpan (Feeding system) ini dibagi menjadi dua bagian yang sama dan kedua bagian tersebut dijumlahkan lagi untuk menghasilkan pancaran jumlah awal (SUM). Namun, kedua bagian tersebut juga dikurangi untuk menghasilkan keluaran selisih (output different). Sinyal

yang tiba tepat normal, atau boresight, ke antena akan menghasilkan keluaran maksimum (maximum output) dalam pancaran jumlah (Sum Propagation) tetapi sinyal nol dalam pancaran selisih (Different propagation). Jauh dari boresight, sinyal dalam pancaran jumlah (SUM Propagation) akan lebih sedikit tetapi akan ada sinyal bukan nol dalam pancaran selisih (different propagation). Sudut datangnya sinyal dapat ditentukan dengan mengukur rasio sinyal antara pancaran jumlah dan selisih (sum and different). Ketidakjelasan tentang boresight dapat diatasi karena ada perubahan fase 180° dalam sinyal selisih di kedua sisi boresight. Pengukuran posisi dapat dilakukan pada satu pulsa, oleh karena itu disebut monopulse, tetapi akurasi dapat ditingkatkan dengan meratakan pengukuran yang dilakukan pada beberapa atau semua pulsa yang diterima dalam balasan (respon) dari pesawat. Penerima monopulse dikembangkan pada awal program UK Adsel dan desain ini masih digunakan secara luas sampai sekarang. Pulsa respon Mode S sengaja dirancang agar mirip dengan respon mode A dan C sehingga penerima yang sama dapat digunakan untuk memberikan akurasi posisi yang lebih baik untuk sistem SSR mode A dan C dengan keuntungan bahwa laju interogasi dapat dikurangi secara substansial sehingga dapat mengurangi gangguan yang disebabkan pada pengguna sistem lainnya.

3.6. Sistem Monopulse (MSSR),

Mode S, TCAS dan ADS-B adalah mode SSR modern yang serupa. Untuk mengidentifikasi pesawat lebih baik dan andal dikembangkanlah SSR lainnya, yaitu sistem Identification Friend or Foe (IFF), yang diciptakan dan dikembangkan sebagai sarana untuk mengidentifikasi pesawat kawan dari pesawat tak dikenal secara positif. Sistem ini, dalam penerbangan sipil dikenal dengan SSR, atau di AS sebagai sistem suar radar kendali lalu lintas udara (ATCRBS), bergantung pada peralatan transponder yang ada di dalam pesawat terbang. Baik

SSR (sipil) maupun IFF (militer) jauh lebih kompleks daripada ketika digunakan di masa perang dunia, tetapi tetap kompatibel satu sama lain, paling tidak memungkinkan pesawat militer beroperasi di wilayah udara sipil. SSR dapat memberikan informasi yang jauh lebih rinci, misalnya, ketinggian pesawat, serta memungkinkan pertukaran data langsung antara pesawat untuk menghindari tabrakan (collision). Sebagian besar sistem SSR mengandalkan transponder yang menyediakan mode C, untuk melaporkan ketinggian pesawat. Ketinggian tergantung pada pengaturan altimeter (altimeter setting) pilot, untuk mencegah adanya ketinggian palsu jika altimeter tidak disetel dengan benar. Sistem ATC menghitung ulang ketinggian yang dilaporkan berdasarkan referensi yang ada. Mengingat peran militer utamanya untuk mengidentifikasi teman dengan andal, IFF memiliki pesan yang lebih aman (terenkripsi) untuk mencegah "spoofing" oleh musuh, dan digunakan pada banyak jenis platform militer baik kendaraan di udara, laut, dan darat. MSSR menggantikan sebagian besar SSR yang ada pada tahun 1990-an dan akurasinya memungkinkan perbaikan resolusi jarak minimum pemisahan di ATC en-route dari 10 NM (19 km; 12 mil) menjadi 5 NM (9,3 km; 5,8 mil). MSSR menyelesaikan banyak masalah sistem SSR, karena perubahan hanya diperlukan pada sistem di darat. transponder (yang terpasang di pesawat) tidak terpengaruh. Deskripsi Mode S yang lebih rinci diberikan dalam publikasi *Eurocontrol Principles of Mode S and Interrogator Codes* dan ICAO circular 174-AN/110 *Secondary Surveillance Radar Mode S Advisory Circular*. 16 juta permutasi kode alamat pesawat 24-bit telah dialokasikan dalam blok ke masing-masing negara dan penugasannya diberikan dalam ICAO Annex 10, Volume III, Bab 9. Sinyal mode S terdiri dari dua pulsa selebar $0,8 \mu s$, yang diterjemahkan oleh transponder sebagai mode A & C tetapi berasal dari sidelobe antenna, dan oleh karena itu respon tidak diperlukan. Pulsa P6 panjang berikutnya dimodulasi

fase dengan pembalikan fase pertama, setelah $1,25 \mu s$, yang mensinkronkan detektor fase transponder. Pembalikan fase berikutnya menunjukkan bit data 1, tanpa pembalikan fase yang menunjukkan bit bernilai 0. Bentuk modulasi ini memberikan beberapa resistensi terhadap korupsi oleh adanya pulsa tumpang tindih akibat dari interogator darat lain. Interogasi mungkin pendek dengan $P6 = 16,125 \mu s$, yang terutama digunakan untuk memperoleh pembaruan posisi, atau panjang, $P6 = 30,25 \mu s$, jika 56 bit data tambahan disertakan. 24 bit terakhir berisi parity dan address pesawat. Saat menerima interogasi, pesawat akan mendekode data dan menghitung parity. Jika sisanya bukan address pesawat, maka interogasi tidak ditujukan untuk pesawat atau pesawat telah rusak. Dalam kedua kasus, pesawat tidak akan merespon. Jika stasiun darat mengharapkan respon dan tidak menerimanya, maka pesawat akan menginterogasi secara berulang. Respon transponder terdiri dari preambel empat pulsa yang diberi jarak sehingga tidak mungkin terbentuk secara keliru dari respon terhadap MODE A atau C yang tumpang tindih. Pulsa yang tersisa berisi data menggunakan Pulse Amplitude Modulation (PAM). Setiap interval $1 \mu s$ dibagi menjadi dua bagian. Jika pulsa $0,5 \mu s$ menempati separuh pertama dan tidak ada pulsa di separuh kedua, maka biner 1 diindikasikan. Jika sebaliknya, maka itu mewakili biner 0. Akibatnya, data ditransmisikan dua kali, yang kedua dalam bentuk terbalik. Format ini sangat tahan terhadap kesalahan karena respon yang tidak jelas dari pesawat lain. Untuk menghindari kesalahan, satu pulsa harus dibatalkan dan pulsa kedua dimasukkan ke separuh periode bit lainnya. Yang lebih mungkin adalah paruh ke dua tertukar dan bit yang di-dekode ditandai sebagai "keyakinan rendah". Respon juga memiliki parity dan address dalam 24 bit terakhir. Stasiun di darat melacak pesawat dan menggunakan posisi yang diprediksi untuk menunjukkan jarak dan arah pesawat sehingga dapat menginterogasi lagi untuk mendapatkan pembaruan posisinya. Jika

mengharapkan respon dan jika menerimanya, maka stasiun akan memeriksa sisa dari pemeriksa parity terhadap address pesawat yang diharapkan. Jika tidak sama, maka itu adalah pesawat yang salah dan interogasi ulang diperlukan, atau respon telah rusak oleh interferensi yang diacak oleh respon lain. Sistem parity memiliki kemampuan untuk mengoreksi kesalahan selama tidak melebihi $24 \mu s$, yang mencakup durasi respon mode A atau C, sumber interferensi yang paling diharapkan pada hari-hari awal mode S. Pulsa dalam respon memiliki pengukuran sudut monopulse individual yang tersedia, dan dalam beberapa implementasi juga pengukuran kekuatan sinyal, yang dapat menunjukkan bit yang tidak konsisten dengan sebagian besar bit lainnya, dengan demikian menunjukkan kemungkinan kesalahan atau kerusakan. Pengujian dilakukan dengan membalikkan status beberapa atau semua bit ini (0 diubah menjadi 1 atau sebaliknya) dan jika pemeriksaan parity berhasil, perubahan tersebut menjadi permanen dan respon diterima. Jika gagal, maka diperlukan pemeriksaan ulang. Mode S beroperasi berdasarkan prinsip bahwa interogasi diarahkan ke pesawat tertentu menggunakan address unik pesawat tersebut. Hal ini menghasilkan respon tunggal dengan jarak pesawat yang ditentukan oleh waktu yang dibutuhkan untuk menerima respon dan monopulse yang memberikan pengukuran posisi yang akurat. Untuk menginterogasi pesawat, addressnya harus diketahui. Untuk memenuhi persyaratan ini, interogator di darat juga menyiarkan (broadcast) interogasi All-Call, yang ada dalam dua bentuk. Dalam satu bentuk, mode A/C/S All-Call tampak seperti interogasi mode A atau C konvensional pada awalnya dan sebuah transponder akan memulai proses respon setelah menerima pulsa P3. Namun, transponder terhadap mode S akan membatalkan prosedur ini setelah mendeteksi pulsa P4, dan sebagai gantinya merespons dengan respon mode S singkat yang berisi address 24 bit-nya. Bentuk interogasi All-Call ini sekarang tidak banyak digunakan

karena akan terus memperoleh respon dari pesawat yang sudah dikenal dan menimbulkan interferensi yang tidak perlu. Bentuk alternatif All-Call menggunakan interogasi mode S singkat dengan blok data 16,125 μ s. Ini dapat mencakup indikasi interogator yang mengirimkan All-Call dengan permintaan bahwa jika pesawat telah merespon interogator ini maka jangan membalas lagi karena pesawat sudah dikenal dan respon tidak diperlukan.

4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

4.1. Kesimpulan

- Dalam melaksanakan pengendalian lalu lintas udara/ATC bertanggung jawab atas pengelolaan pesawat di dalam ruang udara yang terkendali. Mereka dapat memberikan instruksi kepada pilot untuk memastikan pemisahan yang aman antara pesawat dan mengkoordinasikan pergerakan mereka untuk mencegah tabrakan. Layanan ATC disediakan oleh organisasi sipil dan militer, tergantung pada klasifikasi dan yurisdiksi ruang udara dan untuk memastikan bahwa pesawat yang melintasi batas internasional kompatibel dengan sistem ATC di semua negara yang mungkin dikunjungi.
- Manajemen dalam ruang udara sering melibatkan koordinasi antara negara-negara yang berbeda, terutama di wilayah dengan lalu lintas udara padat atau batas bersama. Perjanjian internasional, seperti perjanjian bilateral dan perjanjian di bawah organisasi seperti Organisasi Penerbangan Sipil Internasional (ICAO), membantu menyelaraskan regulasi ruang udara dan memfasilitasi perjalanan udara yang lancar melintasi batas. Secara keseluruhan, manajemen ruang udara adalah proses yang dinamis dan kolaboratif yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan bekerja sama untuk

memastikan keselamatan, efisiensi, dan keberlanjutan sistem penerbangan.

- Manajemen ruang udara yang modern sangat bergantung pada sistem ATM yang canggih, yang mencakup surveilans radar, sistem komunikasi, bantuan navigasi, dan alat otomatisasi. Sistem-sistem ini membantu pengendali lalu lintas udara memantau pergerakan pesawat, mengatur aliran lalu lintas, dan memberikan informasi penting kepada pilot. Memastikan persaingan antar produsen dengan menentukan ukuran, kebutuhan daya, antarmuka (*interface*), dan kinerja peralatan yang akan ditempatkan di ruang peralatan pesawat sehingga maskapai penerbangan yang berkepentingan dengan bentuk, kesesuaian, dan fungsi peralatan yang dibawa pesawat.

4.2. Rekomendasi

- Dengan menggunakan Radar SSR untuk menghitung jarak secara mendatar bukan secara lengkung sehingga hasil sudut azimuth beracuan pada true north atau utara kutub hal ini dikarenakan navigasi penerbangan berreferensi secara global dan ketinggian pesawat bukanlah absolute altitude, ketinggian yang diperoleh dengan menggunakan tekanan altimeter yang beracuan pada barometer dan dinyatakan dalam FL (flight level). Sehingga kecepatan pesawat dapat diukur dengan alat yang bernama pitot tube yang kemudian ditampilkan pada *Air Speed Indicator* (AIS) dan informasinya dipancarkan oleh pesawat ke *ground base* dan ditangkap melalui antenna Radar.
- Untuk penelitian selanjutnya agar dapat diteliti kemungkinan penggunaan jenis radar lain dengan spesifikasi yang lebih tinggi lagi sehingga dapat membandingkan metode penentuan posisi pesawat udara dengan menggunakan GPS dan radar apa saja yang menjadi kekurangan dan keunggulan masing-masing jenis radar

yang akan digunakan sebagai referensi dalam dunia penerbangan.

5. REFERENCES

- [1]^ Air Traffic Control Radar. Argos Press. Diarsipkan dari versi asli pada 2009-09-18. Diakses pada 2009-06-20.
- [2]^ Buku Pegangan Penerbangan Instrumen. Departemen Transportasi AS, FAA. 2008. Hlm. 3–7.
- [3]^ ICAO (2008). ICAO Doc 9871, Ketentuan Teknis untuk Mode S dan Extended Squitter (edisi ke-1). Organisasi Penerbangan Sipil Internasional. ISBN Telp:978-92-9231-117-9.
- [4]^ ICAO (2012). ICAO Doc 9871, Ketentuan Teknis untuk Mode S dan *Extended Squitter* (edisi ke-2). Organisasi Penerbangan Sipil Internasional. ISBN Telp 978-92-9249-042-3.
- [5]^ FAA (2004). Rencana Investasi Modal Sistem Penerbangan. Perusahaan Penerbitan DIANE. ISBN Telepon 978-0-7881-3348-0.
- [6]^ Ilman, Paul E. (1998). Buku pegangan komunikasi radio pilot (Edisi Kelima, Sampul Lembut). McGraw-Hill. hlm. 111. ISBN Nomor telepon 0-07031 832-8.
- [7]^Lompat ke:^{a b c d e} Lampiran 10 ICAO, Volume IV.
- [8]^Lompat ke:^{a b} Prinsip Operasi Mode S dan Kode Interogator.
- [9]^Lompat ke:^{a b c d e f g h i j k l m n o} Surat Edaran ICAO 174-AN/110 Mode Radar Pengawasan Sekunder Surat Edaran Penasehat.
- [10]^Lompat ke:^{a b} Stevens, MC Efek multipath dan interferensi dalam sistem radar pengawasan sekunder, Proc. Inst. Electr. Eng., Bagian F, 128(1), 43–53, 1981.
- [11]^Lompat ke:^{a b} Ulliyatt, C. Sensor untuk lingkungan ATC dengan referensi khusus ke SSR, Electron. Civil Aviat., 3, C1–C3, 1969.
- [12]^Lompat ke:^{a b} Bowes RC, Drouilhet PR, Weiss HG dan Stevens MC, ADSEL/DABS–Radar Pengawasan Sekunder Alamat Selektif, Prosiding Konferensi AGARD No. 188. Simposium ke-20 Panel Panduan dan Kontrol diadakan di Cambridge, Massachusetts, AS, 20–23 Mei 1975.
- [13]^Lompat ke:^{a b} Stevens, MC Radar sekunder presisi, Proc. Inst. Electr. Eng., 118(12), 1729–1735, 1971.
- [14]^Lompat ke:^{a b} Kisah Mode S: Teknologi Tautan Data Kontrol Lalu Lintas Udara: Mode S Saat Ini, Chang E., Hu R., Lai D., Li R., Scott Q., Tyan T., Desember 2000.
- [15]^Lompat ke:^{a b} "ICAO Annex 10 Volume III: Bab 9. Sistem Pengalamanan Pesawat Udara"(PDF). ICAO Annex 10. ICAO. Diarsipkan dari versi asli(PDF) pada 2008-11-22. Diakses pada 2017-06-02.
- [16]^Lompat ke:^{a b c} Orlando VA; Drouilhet PR (Agustus 1986). "Sistem Suar ATC-42 Mode S: Deskripsi Fungsional (Rev D)"(PDF). Laboratorium Lincoln. Diarsipkan dari versi asli(PDF) pada 2 Oktober 2012. Diakses pada 29 Maret 2014.
- [17]^Lompat ke:^{a b} Stevens, MC Pengawasan di Era Mode S, Simposium CAA/IEE tentang ATC, London. Maret 1990.
- [18]^Lompat ke:^{a b} Gertz JL (Januari 1977). "ATC-65 The ATCRBS Mode of DABS"(PDF). Laboratorium Lincoln (MIT). Diarsipkan dari versi asli (PDF)

pada tanggal 5 Maret 2016.
Diakses tanggal 29 Maret 2014.

- [19]^ Manual Layanan Khusus Mode S, Panel Kelompok Kerja B Sistem Pengawasan dan Resolusi Konflik, September 2001.
- [20]^ Pengangkutan transponder Mode SSR S untuk Penerbangan IFR yang Beroperasi sebagai Lalu Lintas Umum, www.caa.co.uk/docs/810/
- [21]^ Stevens, MC, Radar Pengawasan Sekunder–Sekarang dan Masa Depan, Simposium Avionik SERT, Swansea, Juli 1974.
- [22] SSR, Stevens MC Artech House, ISBN 0-89006-292-7.
- [23]^ Sistem Pengawasan Layanan Lalu Lintas Udara, Termasuk Penjelasan Radar Primer dan Sekunder. www.airwaysmuseum.com . Diperoleh pada 2009-06-20 .
- [24]^ "SSR dalam Sistem ATC: Penjelasan tentang keuntungan dan implikasi bagi pengendali dari pengenalan fasilitas SSR". Teknik Pesawat Udara dan Teknologi Dirgantara. Diperoleh pada 2009-06-20.
- [25]^ Ulliyatt, C. Radar sekunder di era pelacakan otomatis, IEE Conf. Pub., 28, 140, 1967.