

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Menurut penelitian Zhang, Xuanet. *all.* [7] yang bertujuan untuk mendapatkan data analisa dari ADS-B *in orbit* (*Space-based* ADS-B). Penelitiannya menggunakan 3 unit *Cubesats* (STU2C) yang digunakan sebagai satelit ADS-B yang telah diluncurkan di Cina menggunakan orbit LEO. Untuk ketinggian orbit dari satelit yaitu 481 km. Penelitian ini membandingkan analisa data pada *Space-based* ADS-B dengan data *Ground-based* ADS-B. Hasil yang didapatkan oleh peneliti, *Space-based* ADS-B jauh lebih unggul dibandingkan dengan *ground-based* ADS-B. Pengawasannya *Space-based* ADS-B dapat mencakup kawasan non-radar, atau wilayah yang sulit untuk memasang stasiun Bumi seperti lautan, wilayah kutub, dan kawasan non-radar yang terpencil [7].

Sedangkan pada penelitian D. Alan Gardiner BSc [9] yang mengembangkan teknologi *Space-based* ADS-B *Aerial Maritime* serta berfokus pada penerapan *Space-based* ADS-B menggunakan satelit Nano dengan menganalisis parameter perfomansi berdasarkan standar EUROCAE dan RTCA yang merupakan standar industri penerbangan untuk kawasan Eropa dan Amerika. Kesuksesan *Space-based* ADS-B menggunakan *large Satellite* mendorong peneliti untuk mengembangkan satelit dengan ukuran yang lebih kecil. Satelit yang dimaksud merupakan satelit Nano (GOM X-1, GOM X-2, GOM X-3, dan GOM X-4) yang telah beroperasi di angkasa selama 6 tahun [9].

Penelitian ini bertujuan untuk mengganti sistem pemantauan atau pengawasan pesawat menggunakan *space-based* ADS-B dengan satelit Nano sebagai penerus informasi ADS-B OUT. Peneliti menganalisis kemampuan dari satelit Nano pada orbit Ekuator dan orbit Polar. Orbit Ekuator memiliki cakupan untuk wilayah yang terletak di garis khatulistiwa pada +/-20 derajat dengan frekuensi ADS-B yang diperbarui maksimal 12 menit *low-density* ADS B terutama untuk FIR - *Flight Information Region* di kawasan oseanik dan cakupan maritim dengan

menggunakan 4 *Equatorial ground station*. Pada orbit polar menggunakan 6 pesawat orbital dengan cakupan global yang lengkap baik di lingkungan rendah, sedang, dan tinggi.

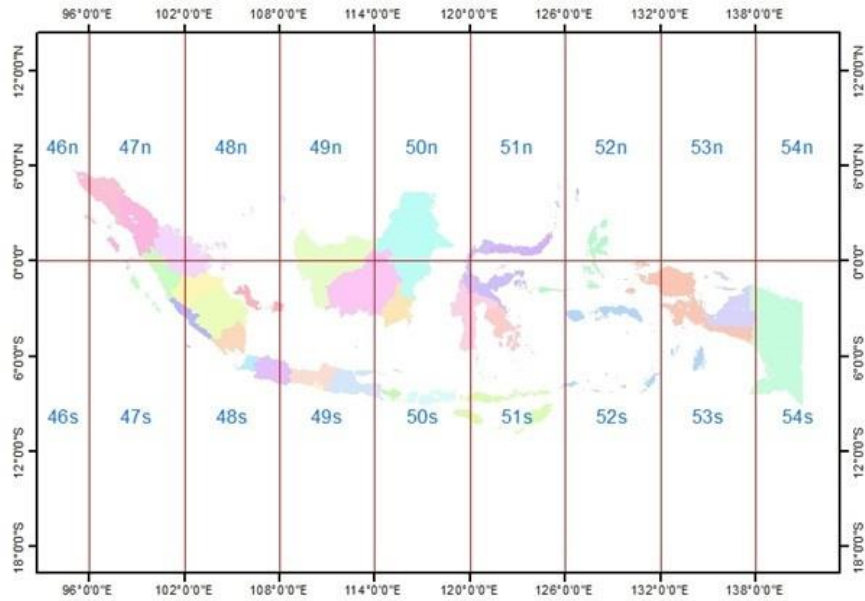
Frekuensi ADS-B yang diperbarui maksimal 8 detik dengan latensi sebesar 1,5 detik dan menggunakan 2 Polar *ground station*. [9].

Selain itu, penelitian yang dilakukan Ron Vincent dan Richard Van Der Pryn [1] menyatakan kemungkinannya pengawasan pesawat di area yang tidak tercakup oleh sistem *ground-based* ADS-B. Pada bulan September 2016, satelit Kanada mengembangkan *Nanospace eXperiment-7* (CanX-7) yang diluncurkan ke orbit sinkron matahari 690 km dengan muatan berupa ADS-B *receiver* atau penerima ADS-B. Fase pertama pengumpulan data ADS-B berlangsung di Atlantik Utara antara 4 dan 31 Oktober. Penilaian awal dari data menunjukkan bahwa rata-rata kekuatan sinyal ADS-B dekat dengan ambang deteksi penerima yang dihitung $-94,5 \pm 0,5$ dBm. Pola penerimaan ADS-B yang diterima tampaknya konsisten dengan model perambatan sinyal yang dikembangkan untuk misi CanX-7. Pekerjaan di masa depan termasuk perbandingan data rencana penerbangan untuk area operasi dan analisis pola antena *payload* [1].

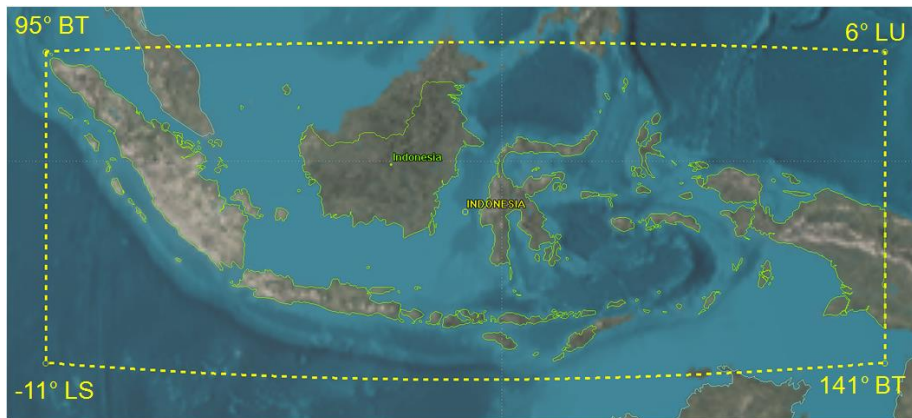
2.2 BATAS RUANG UDARA

2.2.1 Batas Ruang Udara Indonesia

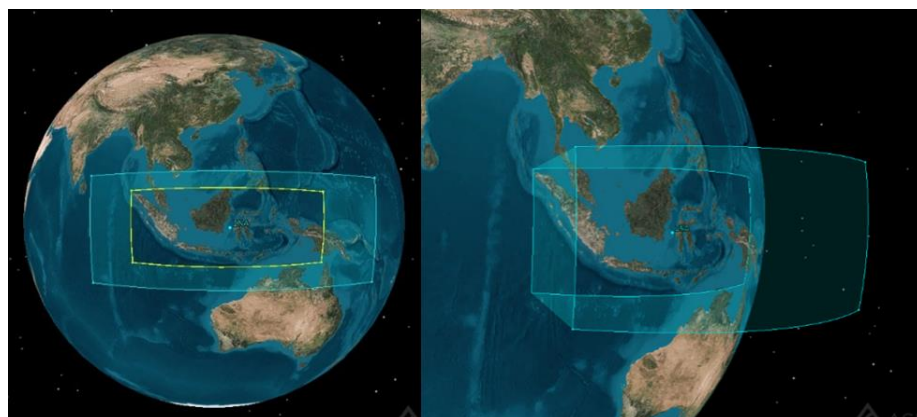
Indonesia merupakan negara ke-7 terbesar dari segi luas wilayah yaitu sebesar 5.193.250 km². Dengan wilayah yang besar, Indonesia perlu mengelola dan menjaga kedaulatan baik darat, laut maupun udara [10]. Indonesia secara fisik wilayah terletak di posisi 6° LU hingga -11° LS dan terletak di posisi 95° BT hingga 141° BT.



Gambar 2. 1 Zona UTM - Universal Transverse Mercator Indonesia [11].



Gambar 2. 2 Letak Geografis Indonesia



Gambar 2. 3 Luas wilayah Indonesia dan volume ruang udara hingga 300 Km dari muka laut (MSL)

Meskipun perbatasan laut dan udara tidak terlihat secara fisik, pengelolaan wilayah laut dan udara sangat penting terutama bagi aktivitas kemaritiman dan penerbangan yang melintasi wilayah Indonesia. Pesawat yang beroperasi di-wilayah udara Indonesia dengan tujuan apapun baik domestik maupun internasional walaupun hanya melintas wajib melapor pada *ATC - Air Traffic Control* terdekat [10].

Dalam menjaga keamanan dan keselamatan penerbangan pada wilayah dengan aktifitas udara yang cukup padat, dibutuhkan zona identifikasi penerbangan atau *FIR - Flight Information Region* [10].

FIR berguna untuk membantu pengendali udara dalam pengaturan posisi pesawat yang sedang terbang untuk menghindari tabrakan atau insiden lainnya. Namun beberapa wilayah FIR pada Kepulauan Riau, Tanjung pinang, Natuna, Serawak dan Semenanjung Malaka masih dikelola oleh Singapura [10].

UPR - User Preferred Route merupakan rute yang dihasilkan oleh operator pesawat yang diajukan dalam *FPL - Filed Flight Plan* dengan merencanakan rute pesawat melakukan penerbangan dengan merencanakan rute paling efisien untuk penerbangan mereka, dengan mempertimbangkan kecepatan angin dan arah, turbulensi, suhu, jenis dan kinerja pesawat [12].

Sejak awal Januari 2018 Indonesia telah memberlakukan penggunaan perangkat ADS-B untuk semua pesawat yang terbang di-wilayah udara Indonesia. Pesawat yang berada di ketinggian FL290 keatas perlu dilengkapi ADS-B (Mode S Transponder dan posisi sumber GNSS) dan penerbangan di bawah level tersebut bersifat opsional [13].

2.2.2 Batas Ruang Kendali dan Pantauan Udara Indonesia

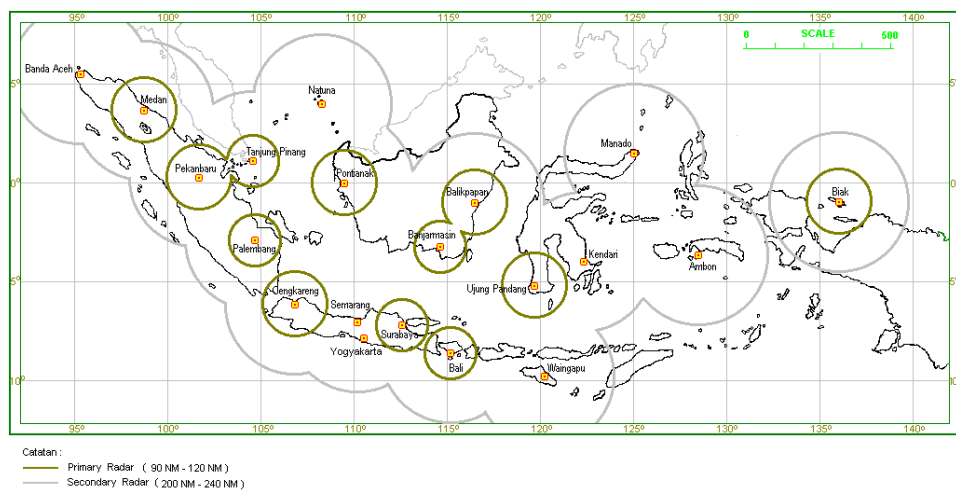
Batas ruang kendali dan pantauan udara Indonesia mengacu pada undang-undang tentang kedaulatan Indonesia diperlihatkan pada Gambar 2.4 [13]. Cakupan *PSR – Primary Radar* dan *SSR – Secondary Radar* diilustrasikan pada Gambar 2.4 menunjukkan lokasi dari stasiun radar primer ditempatkan di kota-kota besar yang menyediakan sumber daya listrik. Sedangkan stasiun radar sekunder selain di kota besar ditempatkan

di lokasi-lokasi tertentu untuk menjamin kontinuitas pantauan radar sekunder namun tetap terdapat sumber daya listrik. Pengoperasian stasiun radar primer untuk memantau transportasi pesawat sipil biasanya dibutuhkan manusia, sedangkan pengoperasian stasiun radar sekunder biasanya bisa di *remote* atau dikendalikan jarak jauh. Namun penggunaan PSR/SSR masih bisa dalam stasiun yang sama untuk tujuan pendeteksian, pengenalan dan pengaturan pesawat yang sedang terbang.



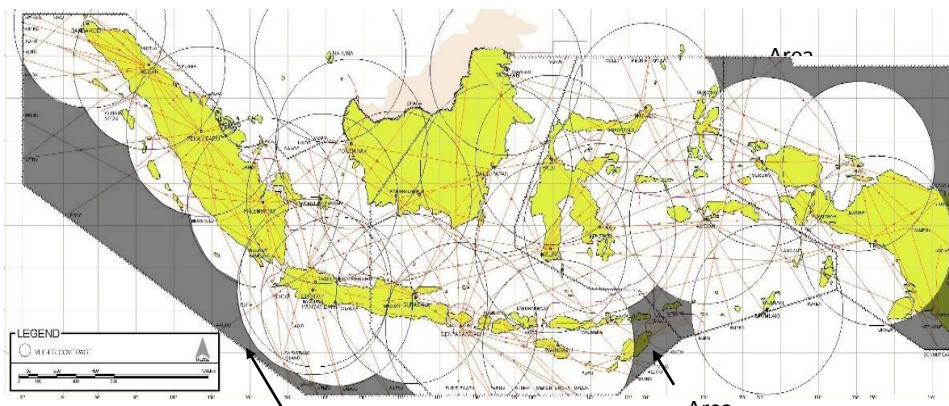
DIREKTORAT JENDERAL PERHUBUNGAN UDARA
DIREKTORAT FASILITAS ELEKTRONIKA DAN LISTRIK PENERBANGAN

INSTALASI PERALATAN ATC - RADAR DI INDONESIA



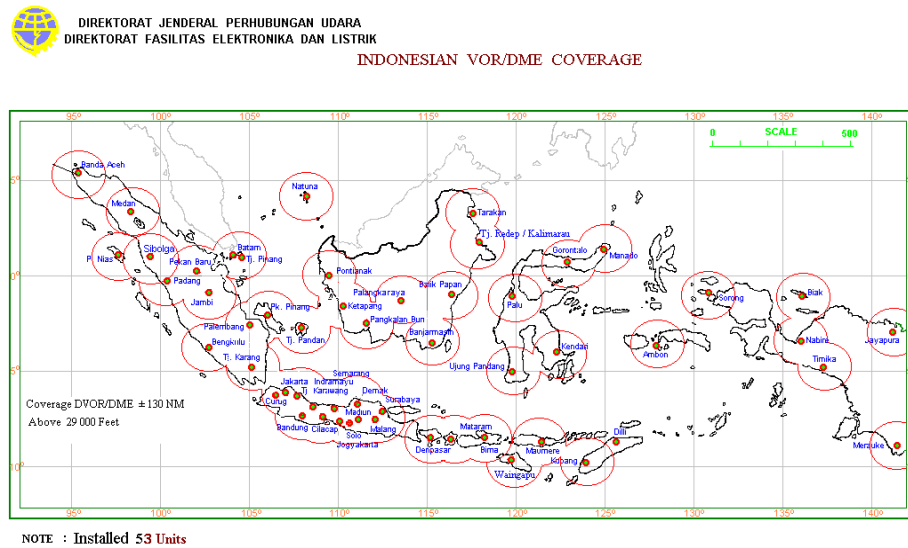
Gambar 2. 4 Cakupan radar primer dan sekunder di-wilayah Indonesia [14].

Selain itu cakupan komunikasi udara menggunakan frekuensi VHF diperlihatkan pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2. 5 Cakupan komunikasi frekuensi VHF untuk transportasi udara di-wilayah Indonesia [14].

Cakupan navigasi udara menggunakan navigasi VOR/DME diperlihatkan pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 Cakupan navigasi VOR/DEM untuk transportasi udara di-wilayah Indonesia [14].

2.2.3 Batas Ruang Udara Internasional

Untuk negara tetangga, Singapura mewajibkan penggunaan ADS-B pada saluran udara tertentu sejak 2013. Australia juga telah mengamankan ADS-B untuk semua wilayah udara level FL290 ke atas sejak awal 2017. Jadi terdapat wilayah udara yang terhubung dengan negara tetangga yaitu di-wilayah atau level penggunaan ADS-B diperlukan [13].

2.3 SATELIT

Satelit berasal dari kata latin “*satelles*” yang berarti pelayan atau orang yang mematuhi atau melayani orang lain, satelit bergerak secara konstan dan mengelilingi benda lain yang lebih besar atau benda yang mengelilingi benda lain yang lebih besar dan lintasannya disebut orbit. Secara umum satelit berfungsi sebagai *broadcaster* dan *converter* untuk sinyal. Satelit dikategorikan berdasarkan fungsinya ada *remote sensing*, *meteorological* dan *communication satellite*. Satelit dikendalikan oleh stasiun Bumi (*Ground Segment*) dan pengendalinya sendiri disebut

controller. Adapun cara kerja dari satelit komunikasi yaitu stasiun Bumi akan mengirimkan sinyal informasi menuju satelit (*Space Segment*) dengan menggunakan frekuensi *up-link* kemudian satelit sebagai *repeater* tunggal akan mengirimkan dan meneruskan informasi yang diterima ke arah tujuan menggunakan frekuensi *down-link* [15].

Indonesia yang merupakan negara kepulauan dengan luas lautan sekitar 3,35 juta km² mengakibatkan kualitas informasi yang diterima untuk memantau pesawat menurun karena cakupan radar yang terbatas atau tidak dapat mencakup wilayah lautan begitupun dengan *ground station* ADS-B. Karena itu dibutuhkan pengganti atau cadangan untuk memantau pesawat saat di udara. Salah satu alternatif dalam pengiriman data antar pesawat dan ATC adalah satelit yang difungsikan sebagai alat untuk menyiarkan kembali (*re-broadcast*) informasi yang dikirim [16].

Secara umum, satelit didefinisikan sebagai sebuah benda yang mengorbit atau berputar mengelilingi benda lain disebabkan adanya gaya gravitasi benda tersebut [17].

2.3.1 Orbit Satelit

Jalur atau lintasan yang dilalui oleh satelit untuk mengelilingi Bumi atau planet disebut orbit satelit. Orbit berdasarkan ketinggian satelitnya ada 3 jenis yaitu *LEO - Low Earth Orbit* dengan jarak 600-2.000 Km *AMSL - Above Mean Sea Level*. Satelit pada orbit ini merupakan jarak terdekat dengan permukaan Bumi dibandingkan orbit lainnya, dengan menganggap LEO hanya mengorbit permukaannya saja sehingga dengan menyederhanakan persamaan gerak bumi dapat menghitung periode orbit hanya dengan kerapatan rata-rata massa Bumi

MEO - Medium Earth Orbit dengan jarak 500-20.000 Km dari *AMSL - Above Mean Sea Level* dan yang terakhir *GEO - Geostationary Earth Orbit*) dengan jarak 35.786 Km dari *AMSL - Above Mean Sea Level*. Ketinggian orbit satelit menentukan luas permukaan Bumi yang dapat dicakup oleh satelit, semakin tinggi posisi satelit dari Bumi maka semakin luas cakupan wilayah atau *coverage* antenna pada permukaan Bumi [15].

Satelit yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan satelit ADS-B dengan menggunakan *LEO - Low Earth Orbit* untuk penempatannya dan *coverage* satelitnya [15].

Jumlah satelit ADS-B yang digunakan berdasarkan perhitungan dan simulasi menggunakan *Low Earth Orbit* karena jaraknya yang paling dekat dengan Bumi sehingga informasi yang di-*broadcast* akan bersifat *real time*. Waktu tampak tiap harinya 1.5 jam, maka satelit digunakan setiap waktu secara bergiliran apabila waktu tampak untuk satelit awal telah habis. Karena jarak *Low Earth Orbit* dekat dengan Bumi maka *delay* propagasi yang dihasilkan sangat kecil sehingga memungkinkan untuk memasang satelit berukuran kecil [16].

Letak astronomis Indonesia berada pada 6° LU-11° LS dan 95° BT-141° BT, yaitu pulau We pada titik 6° LU, pulau Rote pada titik 11° LS, ujung utara pulau Sumatra berada titik 95° BT dan pulau Merauke berada pada titik 141° BT dengan luas keseluruhan sekitar 1.905 juta km² [18].

Low Earth Orbit merupakan solusi untuk masalah *link budget*, dengan tetap memperhatikan biaya terminal, *Free space loss* dan *rice distribution*. Karena *delay*-nya kecil sehingga bersifat *real time* dan *smaller propagation loss* [19].

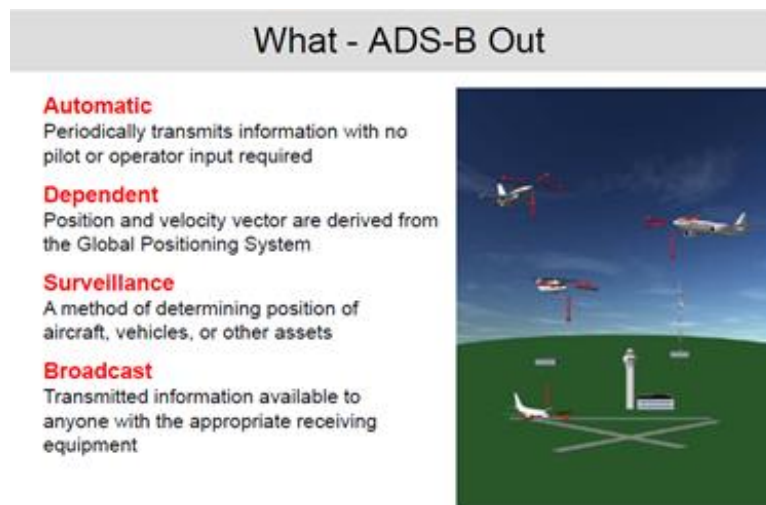
2.3.2 Frekuensi Komunikasi *Space Based* ADS-B

Perangkat ADS-B bekerja di frekuensi 1090 Mhz, dengan jenis frekuensi L-Band. Informasi lalu-lintas ADS-B tersedia di area darat (Benua) dan zona pesisir karena sinyal ADS-B memiliki jangkauan 300-370 Km. Untuk kekuatan sinyal yang ditransmisikan tergantung dari kategori pesawat itu sendiri yaitu 75 Watt-500 Watt [1].

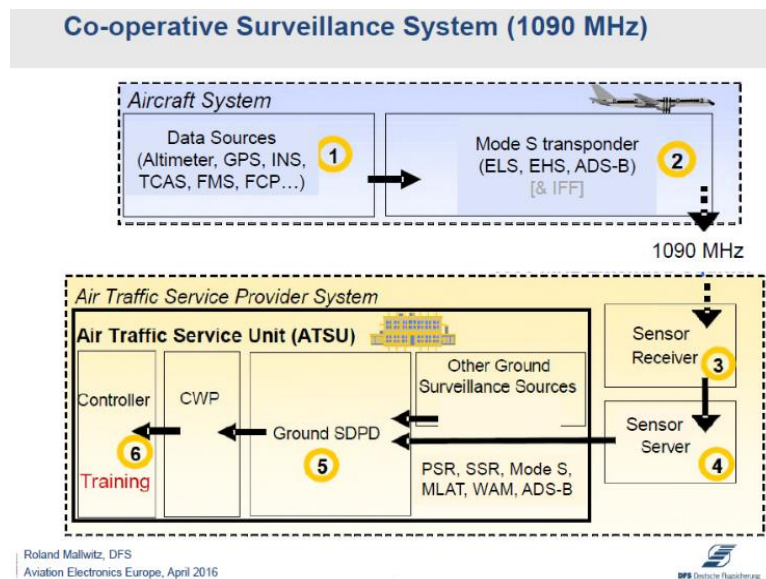
Frekuensi yang sama yang juga digunakan oleh pesawat membuat transponder menjawab atau menginterogasi dari sistem TCAS dan SSR. Dengan tiga sistem yang berbagi satu frekuensi, ada kekhawatiran bahwa di-wilayah udara dengan kepadatan lalu lintas yang sangat tinggi dan padat. TCAS berikutnya yang akan memanfaatkan informasi pengawasan ADS-B untuk mengurangi jumlah interogasi dan balasan selanjutnya [8].

2.4 TEKNOLOGI ADS-B

ADS-B merupakan sistem yang berfungsi untuk pengawasan kooperatif [8]. Hal ini dimungkinkan dengan tersedianya referensi sinyal GNSS/GPS sebagai penanda posisi dan waktu dalam wilayah yang sama. Bahkan tanpa kehadiran ATC, setiap pesawat terbang yang beroperasi dalam wilayah yang sama diperbolehkan menyiarkan (*broadcast*) posisi, kecepatan, arah gerak, ketinggian dan informasi lainnya masing-masing pesawat. Dengan demikian setiap pesawat terbang mengetahui dengan pasti *intent* masing-masing tujuan terbangnya [20]

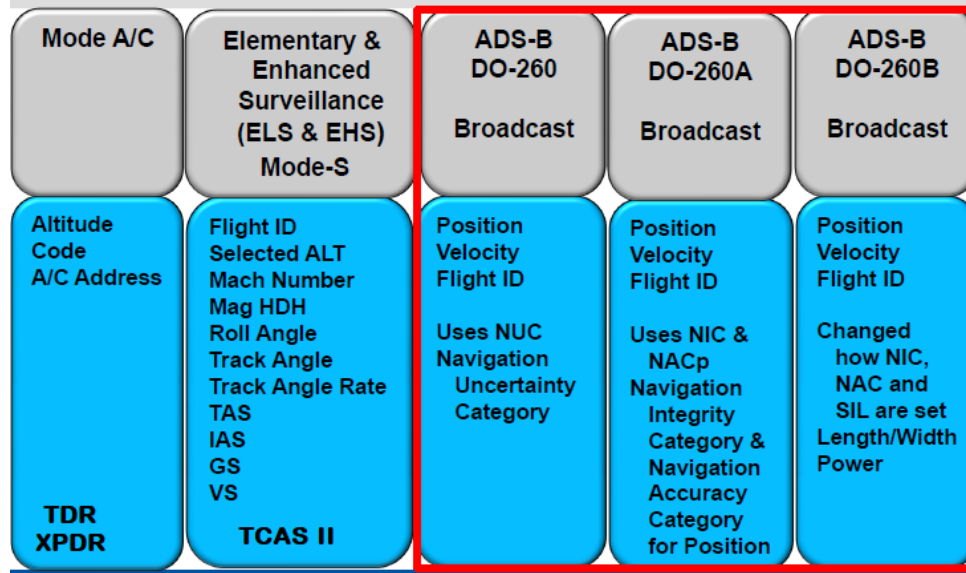


Gambar 2. 7 ADS-B Out [20]



Gambar 2. 8 Pengertian ADS-B [20]

ADS-B sendiri adalah pengembangan dari TCAS II / Mode S, TCAS II/Mode S merupakan pengembangan dari TDR Transponder. Gambar 2.9 menampilkan Informasi pesan yang di kirimkan ADS-B TX/RX [20].



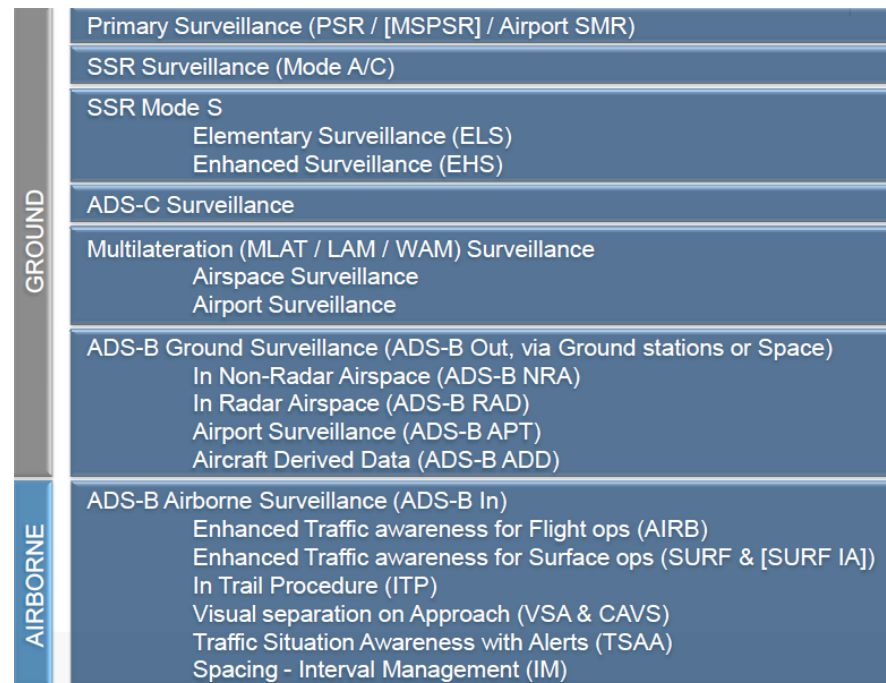
Gambar 2. 9 Informasi pesan yang wajib dikirimkan oleh ADS-B TX/RC [20].

Parameter	Source: Eurocontrol	SPI IR (CS-ACNS)	§91.227 (AC20-165)
ICAO 24 bit address		Mandatory	Mandatory
Aircraft identification		Mandatory	Mandatory
Mode A code (incl. disabling function)		Mandatory	Mandatory
Special position indication (SPI or IDENT)		Mandatory	Mandatory
Emergency status		Mandatory	Mandatory
ADS-B version number		Mandatory	Mandatory
ADS-B Emitter category		Mandatory	Mandatory
Airborne horizontal position (incl. NIC, NACp, SDA & SIL)		Mandatory	Mandatory
Barometric Pressure altitude		Mandatory	Mandatory
Geometric Altitude (HAE) (incl. GVA)		Mandatory	Mandatory
Horizontal Velocity (Hdg/Trk on ground) (incl. NACv)		Mandatory	Mandatory
Aircraft length and width		Mandatory	Mandatory
GNSS antenna offset		Mandatory	Recommended
Vertical rate (Baro, incl. Baro-inertial or GNSS)		If applicable from EHS	Recommended
Selected Altitude (MCP/FCU)		If applicable from EHS	Optional (tbd)
Barometric pressure setting		If applicable from EHS	-(tbd)
ACAS RA (TCAS II)		If TCAS II installed	If TCAS II installed
ACAS installed and operating RA capable mode (TCAS II)		-	If TCAS II installed
ADS-B In capability installed		-	If installed

Gambar 2. 10 Informasi pesan wajib yang dikirimkan oleh ADS-B [21].

2.4.1 Fungsi ADS-B Di Darat dan Di Udara

Fungsi ADS-B secara umum dibagi berdasarkan keberadaan pesawat terbang yaitu di darat atau udara. Pesawat terbang yang beroperasi di darat maka fungsi-fungsi ADS-B yang dijalankan menggunakan ADS-B *Ground* sedangkan pada saat akan terbang ataupun beroperasi di udara maka fungsi-fungsi yang dijalankan menggunakan ADS-B *airborne*. Gambar 2.11 dibawah memperlihatkan fungsi-fungsi ADS-B berdampingan dengan fungsi *PSR – Primary Surveillance Radar, SSR – Secondary Surveillance Radar* (TDR & Mode-S) dan teknologi *surveillance airport* lainnya.



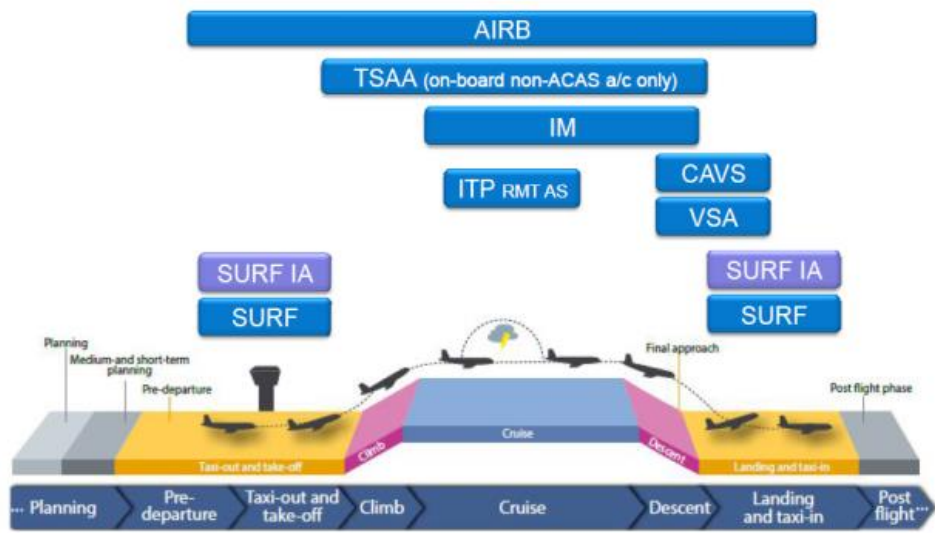
Gambar 2. 11 Penerapan fungsi-fungsi aplikasi ADS-B di darat, transisi dan di udara [21]

Ada 5 Fungsi ADS-B yang digunakan saat posisi pesawat berada di *ground* yaitu *Traffic Situation Awareness, Traffic Awareness and Alerting, Optimised flight profile in Remote Airspace, enhanced visual separation on approach* dan *spacing/Internal management*. Setiap fungsi di atas akan dilaksanakan oleh aplikasi atau perangkat yang berbeda seperti pada gambar 2.12 [22].

- **Traffic Situation Awareness**
 - **AIRB** – Traffic Situation Awareness for Flight operations
 - **SURF** – Traffic Situation Awareness for Surface operations
- **Traffic Awareness and Alerting**
 - **TSAA** – Traffic Situation Awareness with Alerts
 - ADS-B based conflict avoidance system for aircraft without ACAS II
 - At the “traffic advisory” level, i.e. no coordination or resolution advisories
 - **SURF IA** – Traffic Situation Awareness for Surface ops with Indications and Alerts
- **Optimised Flight Profiles in Remote Airspace**
 - **ITP** – In-Trail Procedures
- **Enhanced Visual Separation on Approach**
 - **VSA** – Enhanced Visual Separation on Approach
 - Support Visual contact and continued operation
 - **CAVS** – CDTI Assisted Visual Separation on Approach
 - After initial visual contact the Display may replace the visual contact
 - Two level of Range Alerts (Advisory and Caution)
- **Spacing / Interval Management (IM)**
 - **IM** – Interval Management (FIM – Flight Deck Interval Management)
 - Speed guidance to achieve precise interval spacing between aircraft

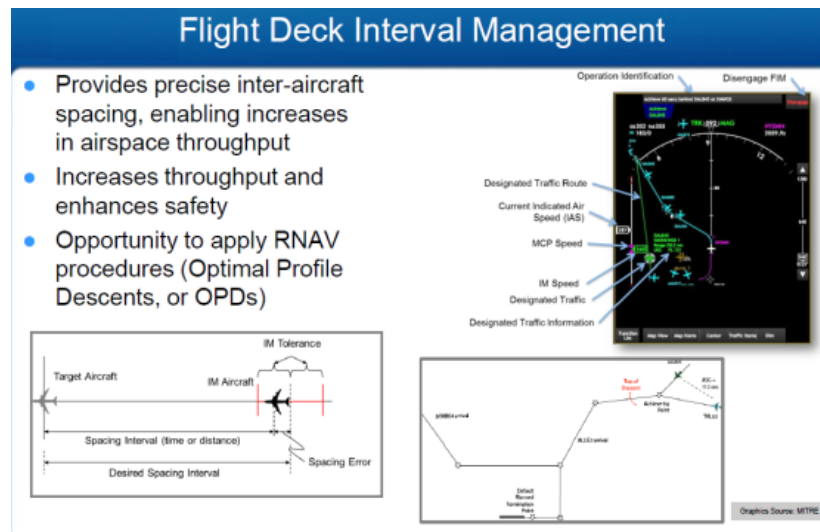
Gambar 2. 12 Penerapan fungsi aplikasi ADS-B di darat [22].

Fungsi ADS-B *Airborne* menggunakan aplikasi yang berbeda berdasarkan *level* ketinggian pesawat mulai dari *pre-departure* sampai *landing* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.13 berikut [23].



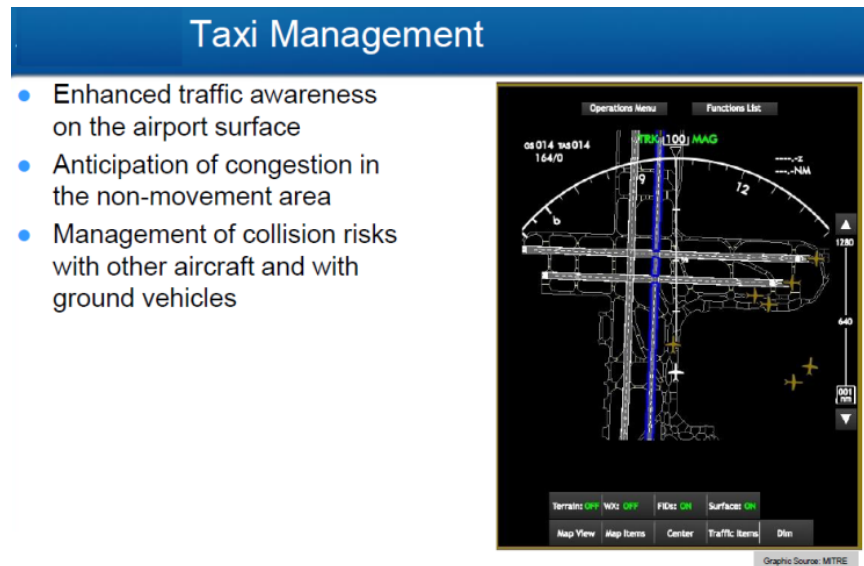
Gambar 2. 13 Penerapan fungsi aplikasi ADS-B di Udara [23].

Contoh tampilan pada monitor *cockpit* pesawat untuk ADS-B yang diperlihatkan pada gambar 2.14



Gambar 2. 14 Tampilan *display monitor* di *Cockpit* pesawat yang dilengkapi dengan ADS-B dengan fungsi ADS-B Airborne Surveillance untuk ITP - In Trail Procedure [23].

Berikut tampilan pada monitor *cockpit* pesawat untuk ADS-B diperlihatkan pada gambar 2.15 [23].



Gambar 2. 15 Tampilan *monitor* di *cockpit* pesawat yg dilengkapi dengan ADS-B dengan fungsi *Ground Based ADS-B Airport Surveillance* untuk *Taxi Management* [23].

Cockpit Display of Traffic Information (CDTI)

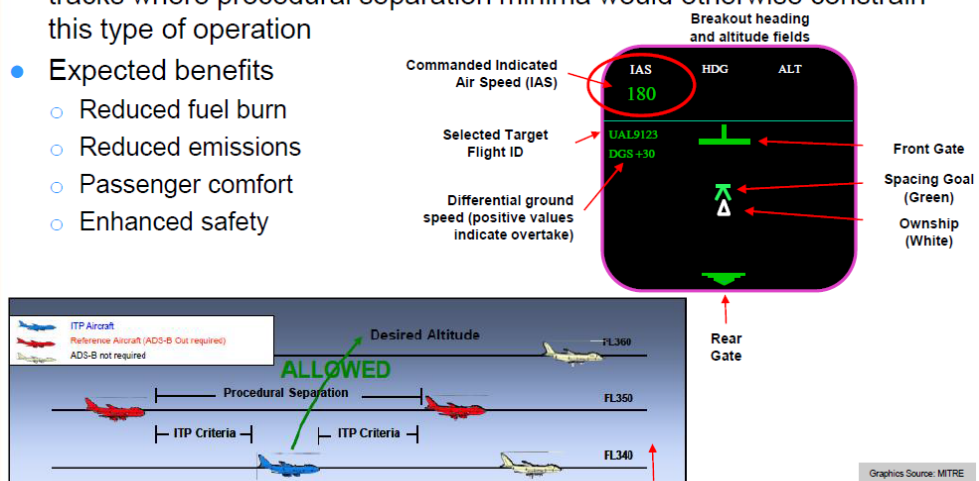
- Improved visual acquisition under VFR or MVFR conditions
- Situational awareness of runway occupancy
- VFR-like separation during IMC
- Enhanced VFR flight following
- Merging and spacing
- Self-separation or station keeping
- Enhanced visual approaches
- Closely spaced parallel approaches
- Reduced spacing on final approach
- Reduced aircraft separations



Gambar 2. 16 Tampilan *monitor* CDTI *cockpit* pesawat yang dilengkapi dengan ADS-B dengan fungsi *Ground Based ADS-B Airport Surveillance Situation Awareness* [23].

In Trail Procedures (ITP)

- Allows ITP-equipped aircraft to safely maneuver between flight levels / tracks where procedural separation minima would otherwise constrain this type of operation
- Expected benefits
 - Reduced fuel burn
 - Reduced emissions
 - Passenger comfort
 - Enhanced safety



Gambar 2. 17 Tampilan *monitor* ITP *cockpit* pesawat yang dilengkapi dengan ADS-B dengan fungsi *Ground Based ADS-B Airport Surveillance Situation Awareness* [23]

ADS-B merupakan singkatan dari *Automatic Dependent Air Surveillance Broadcast* disetiap katanya memiliki arti seperti *Automatic*, yang berarti mengirimkan informasi pengawasan “secara otomatis” tanpa *interrogation Dependent* atau tidak bergantung pada pesawat untuk melaporkan informasi pengawasan mereka dengan mengandalkan ketersediaan informasi posisi *onboard* yang sesuai (misalnya, penerima GNSS). *Surveillance* memberikan informasi pengawasan untuk pelacakan pesawat/kendaraan yang akurat kepada ATC dan pengguna lain. *Broadcast* menyiarkan posisi siaran pesawat/kendaraan dan data lainnya ke semua pesawat dan stasiun darat yang dilengkapi untuk menerima ADS-B secara bersamaan [8].

ADS-B IN merupakan aplikasi keselamatan pesawat terbang yang diaktifkan ADS-B untuk mengidentifikasi potensi konflik lalu lintas dan memberitahu pilot indikasi dan peringatan yang tepat seperti aplikasi *TSAA - Traffic Situational Awareness with Alerts* [8].

Perangkat ADS-B IN menerima informasi yang ditransmisikan pesawat lain dan ATC terdekat kemudian diproses oleh transponder untuk ditampilkan pada *display* pilot untuk mengetahui keberadaan pesawat di sekitarnya sehingga pilot dapat mengoperasikan pesawat secara efisien dan aman [8].

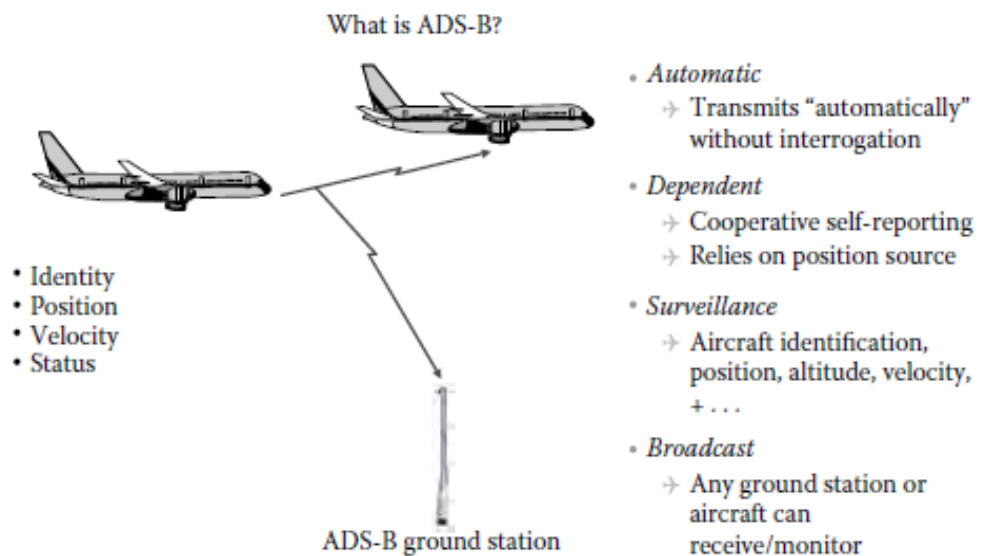


Gambar 2. 18 Pembagian Wilayah Udara Indonesia
(*FIR – Flight Information Region*) [24].

Awal Januari 2018, penerbangan di-wilayah Indonesia telah memberlakukan peraturan pada pesawat yang terbang di-wilayah udara pada *level* FL290 atau diatasnya perlu dilengkapi dengan perangkat ADS-B (Mode S Transponder dan posisi sumber GNSS). Untuk penerbangan dibawah level tersebut, bersifat opsional [12]. Wilayah udara Indonesia terbagi menjadi dua yaitu FIR-WIIF/Jakarta dan WAAF/Ujung Pandang seperti Gambar 2. 18 [24].

Amerika Serikat merupakan negara yang menetapkan penggunaan ADS-B sebagai bagian penting transportasi udara. *FAA - Federal Aviation Administration* berencana menjadikan sistem transportasi udara nasional menjadi berbasis ruang atau *Space Based ADS-B* yang disebut sebagai *NextGen* [25].

NextGen (Space Based ADS-B) dirancang untuk meningkatkan keselamatan, efisiensi, kapasitas, keamanan dan keramahan lingkungan dari sistem transportasi udara melalui prosedur operasional lanjutan dengan menggabungkan ADS-B dan sistem navigasi, komunikasi, untuk manajemen informasi yang lebih baik [8].



Gambar 2. 19 Sistem ADS-B berbasis *Ground Station* [8].

Pada 2014 ADS-B yang telah dipasang sebanyak 30 Unit dan ditambahkan 1 unit ADS-B lagi sehingga sampai saat ini hanya terdapat 31 unit ADS-B yang tersedia di Indonesia yang telah terintegrasi ke dalam

Air Traffic Management System di Jakarta *Automation Air Traffic Services* untuk *Flight Information Region* wilayah Jakarta dan Makassar *Air Traffic Services Center* (MATSC) (FIR Ujung Pandang) [6].

Keuntungan pesawat yang menggunakan perangkat ADS-B yaitu memungkinkan pilot mengetahui posisi dan kecepatan pesawat yang tepat baik posisi *horizontal* maupun kecepatan *horizontal* yang ditransmisikan selama fase operasi perjalanan yang di-*broadcast* oleh GNSS (satelit komunikasi) [25].

Data yang dilaporkan ke sistem udara yaitu ketinggian dan laju kecepatan pesawat, informasi ini ditransmisikan bersama dengan ID kendaraan pesawat sebanyak 24-bit secara berkala melalui tautan data yang disebut sebagai ADS-B OUT [26].

Informasi pesawat akan disiarkan secara berkala setiap 0.5 detik sehingga penerima sistem darat ADS-B seperti ATC (*Air Traffic Controller*) dan ADS-B dapat menggunakan informasi yang terpasang di pesawat lain [27].

Ground station ADS-B menerima *broadcast* informasi kemudian diteruskan ke ATC untuk pelacakan pesawat. Selanjutnya ATC akan memberikan perintah manajemen arus lalu lintas dan layanan ATC lainnya ke pesawat menggunakan informasi yang diterima [8].

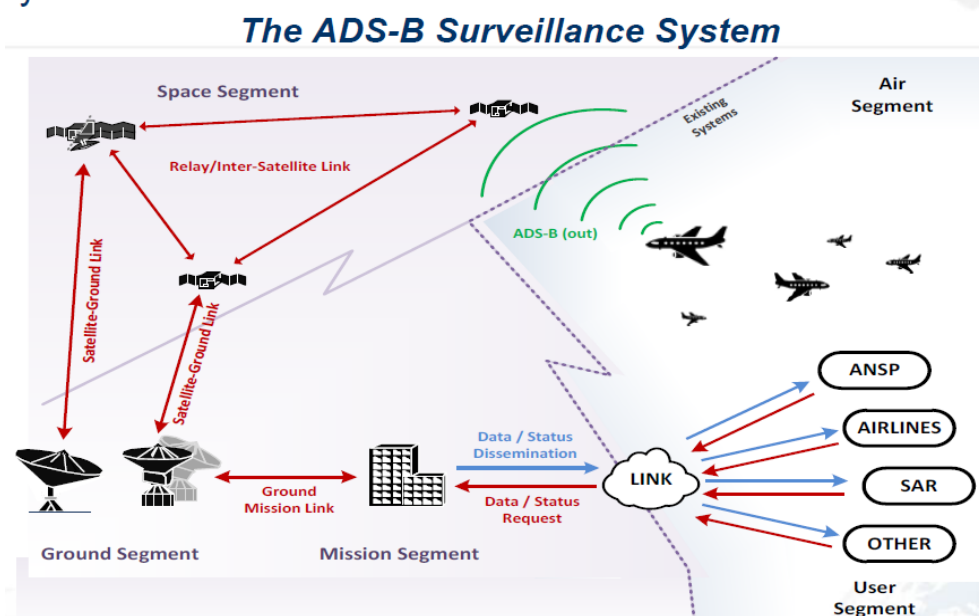
Saat ini, sebagian besar pesawat penumpang sipil dilengkapi dengan transponder ADS-B yang beroperasi pada 1090 MHz mentransmisikan informasi tentang ID pesawat, posisi dan status. *On-Board smart data base* dapat menemukan data yang direkam dengan berbagai cara salah satunya dengan melacak ID penerbangan atau memberikan ikhtisar regional [28].

2.4.2 Ruang Lingkup operasi ADS-B sebagai pengawas dan pemantau ruang udara *low density* dan *high density*

Pengaturan ruang udara baik *low density* maupun *high density* dengan sejumlah pesawat yang beroperasi dapat dibagi dengan memanfaatkan penggunaan ADS-B [23].

2.4.3 Kelebihan *Space-Based ADS-B*

Masalah utama *design drivers* untuk kawasan Asia Pasifik APAC – *Asia Pacific Accreditation Cooperation* terutama Indonesia sebagai negara kepulauan adalah komposisi luas geografis darat dan lautan yang terpecah-pecah hal ini menyebabkan letak *ATC – Air Traffic Control* tidak sepenuhnya bisa melayani kawasan lautan luas diantara dua pulau. Selain itu pertumbuhan transportasi udara secara signifikan di kawasan APAC jelas-jelas membutuhkan infrastruktur pendukung yang mampu menangani kapasitas jumlah pesawat domestik dan non-domestik yang besar. Solusi efektif untuk memantau kawasan tersebut adalah dengan kehadiran satelit ADS-B sebagai pengganti ATC di darat walaupun dengan fungsi-fungsi terbatas. Penyedia layanan lalu lintas udara membutuhkan sistem penerimaan informasi pengawasan pesawat yang akurat dan *real time* untuk mengendalikan pesawat di-wilayah yang sulit untuk memasang maupun memelihara *ground station* ADS-B. Seperti di-wilayah lautan, area terpencil dan daerah kutub [9]. Pengertian *real time* di sini diartikan *human perception real time* untuk menyiapkan, mengolah hingga menyelesaikan suatu proses (bukan *machine real-time*).



Gambar 2. 20 Arsitektur *Space-based ADS-B* [29].

Satelit merupakan salah satu teknologi yang diharapkan dapat dijadikan sebagai alternatif untuk menyiarkan informasi pengawasan pesawat dan mengirimkannya ke ATC [8].

Teknik yang digunakan untuk memanfaatkan satelit dalam mendapatkan informasi pengawasan ADS-B dari pesawat di luar wilayah jangkauan jaringan *ground based* ADS-B yaitu dengan memasang *receiver Mode-S (Transponder Mode-S)* ke pesawat. Selanjutnya *UAT – User Acceptance Testing* ADS-B diteruskan melalui satelit atau dapat memasang fungsi konverter pada badan pesawat yang menggunakan informasi ADS-B OUT kemudian mengkonversi informasi pengawasan dengan tepat untuk ditransmisi melalui satelit [8].

Untuk teknik yang pertama, satelit akan menerima dan mengkonsolidasikan sinyal ADS-B sebelum ditransmisi kembali menuju *Ground*. sedangkan teknik kedua, satelit berfungsi sebagai “pipa bengkok” untuk mentransmisikan kembali informasi yang diterima dari pesawat sedemikian rupa sehingga dapat diterima oleh *ground* [8].

Dengan kedua teknik ini, *ground station* akan menerima dan mengkonsolidasikan informasi pengawasan lalu lintas yang dikirimkan oleh satelit dan memberikan informasi kepada ATC dan pengguna lain yang membutuhkan.

Kelebihan dari *Space-Based* ADS-B antara lain [8]:

- a. *Space-Based* ADS-B dapat meningkatkan kapasitas wilayah udara di area yang tidak tercakup oleh radar atau *ground based* ADS-B dengan mengurangi pemisahan minimum. Saat kepadatan lalu lintas udara meningkat operator akan menambah kapasitas untuk menerbangkan profil optimalnya. Hal berpengaruh terhadap biaya karna dapat menghemat bahan bakar, pendapatan kargo tambahan, mengurangi emisi gas rumah kaca, penerbangan lebih lama, waktu penerbangan lebih pendek dan peningkatan prediktabilitas jadwal.
- b. *Space-Based* ADS-B memenuhi kebutuhan dengan interval pembaruan 8 detik terburuk di sebagian besar dunia itu akan

menjadi 1-2 detik, *Space-Based* ADS-B akan mengurangi area pencarian menjadi 4 kilometer persegi.

- c. Memungkinkan FAA untuk mengurangi investasi di masa depan, dalam infrastruktur tersebut di *margin* dengan mengandalkan *Space-Based* ADS-B. Misalnya, pengawasan satelit dapat mengurangi sumber daya yang menghabiskan FAA, mengamankan sewa untuk menjaga *earth station* ADS-B.
- d. Karena cakupannya global, *Space-Based* ADS-B akan memfasilitasi kewaspadaan situasional bersama, mempermudah ANSP bertukar informasi, berkolaborasi dalam manajemen aliran lalu lintas dan mengimplementasikan program peningkatan kemampuan wilayah udara.

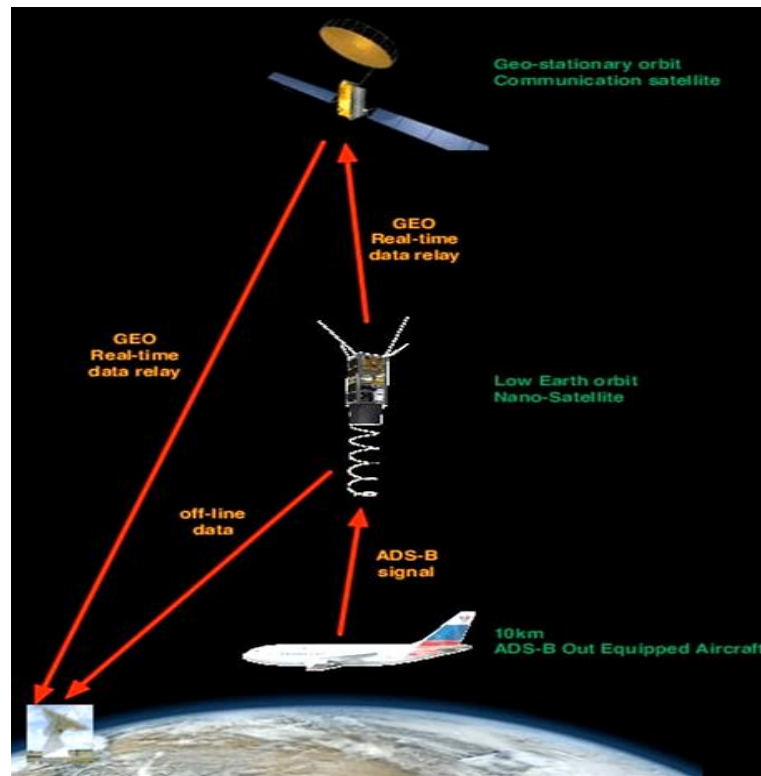
2.4.4 LEO - Low Earth Orbit

LEO merupakan orbit dengan ketinggian 600-2000 Km, maka LEO menunjukkan periode yang jauh lebih pendek yaitu 95 hingga 120 menit. Sistem LEO mencoba memastikan ketinggian yang tinggi di setiap tempat di Bumi untuk menyediakan tautan komunikasi berkualitas tinggi. Setiap satelit LEO hanya akan terlihat dari Bumi selama sekitar sepuluh menit. Dengan menggunakan skema kompresi lanjutan, kecepatan transmisi sekitar 2.400 bit/s sudah cukup untuk komunikasi suara. LEO bahkan menyediakan bandwidth ini untuk terminal seluler dengan antena *Omnidirectional* yang menggunakan daya pancar rendah dalam kisaran 1W. Penundaan untuk paket yang dikirimkan melalui LEO relatif rendah (kira-kira 10 ms). Penundaannya sebanding dengan koneksi kabel jarak jauh (sekitar 5–10 ms). Jejak LEO yang lebih kecil memungkinkan penggunaan kembali frekuensi yang lebih baik, serupa dengan konsep yang digunakan untuk jaringan seluler [30].

2.4.5 Teknologi *Space-Based* ADS-B

Space-based ADS-B merupakan sistem cadangan untuk membangun infrastruktur *Air Traffic Management* (ATM) terestrial yang bertujuan memperluas jangkauan teritorial di area yang tidak memungkinkan untuk pemasangan sistem *Ground-based* [8].

Saat pesawat berada di kawasan yang tidak bisa dijangkau oleh radar misalnya lautan atau pegunungan. Teknologi *Space-based* ADS-B ini meningkatkan keandalan dalam mengumpulkan data untuk pengawasan ATM saat ini, serta mengurangi masalah tabrakan data di area padat lalu lintas udara yang sangat penting untuk keselamatan penerbangan sipil [31].



Gambar 2. 21 Sistem ADS-B *Based-Space* [32].

Teknologi *Space-based* ADS-B ini diimplementasikan untuk menerima sinyal yang disiarkan secara teratur oleh setiap pesawat yang dilengkapi ADS-B yang berisi informasi tentang posisi, kecepatan, arah dan sebagainya. Data ini dapat tersedia untuk infrastruktur ATC yang sudah ada. Oleh karena itu, jaringan pengawasan berbasis satelit akan meningkatkan layanan lalu lintas udara khususnya di area padat lalu lintas, atau lokasi yang tidak memungkinkan untuk pemasangan radar, ADS-B terestrial dan area pinggiran cakupan VHF [6].

2.4.6 ADS-B menggunakan Satelit Nano

Pendekatan Nanosat akan menyediakan semua layanan dengan standar yang sama seperti implementasi menggunakan satelit besar yaitu dapat memenuhi semua persyaratan ICAO, RTCA dan EUROCAE. Kualitas layanan yang setara dengan satelit besar, *Nanosat* berpotensi menjadi teknologi yang lebih hemat biaya berdasarkan elektronik dan manufaktur Ponsel yang telah terbukti. Satelit Nano merupakan satelit yang sangat ringan dengan diameter 600 cm² dirancang hanya untuk teknologi ADS B/AIS. Posisi orbit yang berada di bawah 2000 Km memungkinkan satelit dapat diluncurkan pada satu waktu menggunakan metode *underwing* dengan *cost* rendah. Untuk mengikuti kebutuhan ANSP dan ICAO, *Nanosats* lebih murah hingga 50% untuk peluncuran dan pengoperasiannya [9].

Berdasarkan pendapat NASA mengenai Nanosat, “berdasarkan massa, Nanosat atau satelit Nano merupakan semua yang memiliki berat 1-10 kg”.

Jenis-jenis satelit berdasarkan massa:

- a. *Large satellites* : >1000 kg
- b. *Medium-sized satellites* : 500-1000 kg
- c. *Small satellites* :
 - *Minisatellites* : 100-500 kg
 - *Microsatellites* : 10-100 kg
 - *Nanosatellite* : 1-10 kg
 - *Picosatellites* : > 1 kg

2.4.7 Sistem *Space-Based* ADS-B pada Satelit Nano

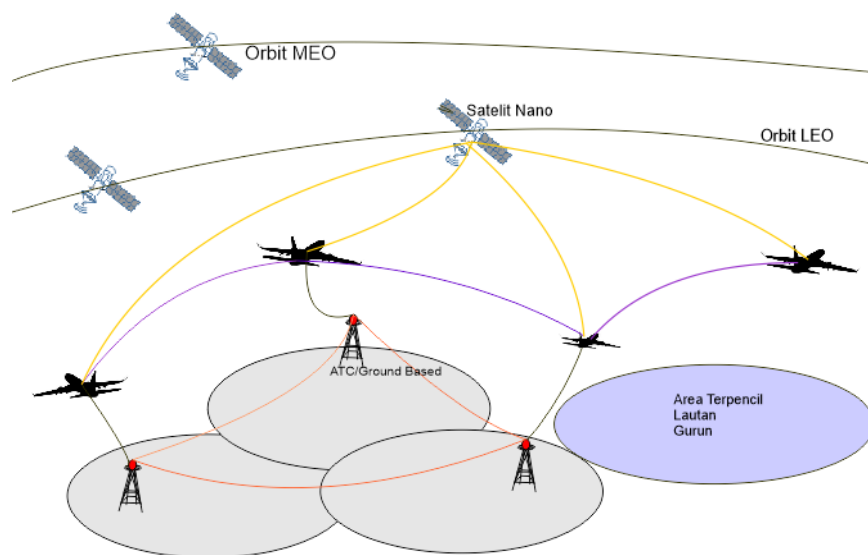
Rencananya satelit ADS-B yang akan diposisikan pada orbit LEO dan membutuhkan 2 dan 3 perangkat satelit *Nano* yang merupakan satelit utama untuk meng-*cover* seluruh wilayah Indonesia pada masing-masing pembagian wilayah. Satelit tersebut akan bekerja secara bergiliran karena seperti yang diketahui satelit yang berada di orbit ini hanya dapat beroperasi secara maksimal dalam beberapa jam saja.

Untuk mencakup wilayah Indonesia yang memiliki panjang dari barat-timur +/-5.110 km dan utara-selatan +/-1.887 km dengan luas 5.180.053 km² yang meliputi lautan dan daratan sehingga selama 24 jam dibutuhkan beberapa satelit tambahan.



Gambar 2. 22 Peta Indonesia beserta skema pemasangan satelit LEO

Proses pengiriman informasi menggunakan satelit Nano yang terletak di LEO bersifat *real time* karena *delay* yang kecil (60 - 80 ms) dan jaraknya yang tidak terlalu jauh dari permukaan Bumi. Informasi yang dikirim oleh pesawat menuju pesawat lain (ADS-B OUT) akan di-*broadcast* oleh satelit dan diteruskan menuju pesawat (ADS-B IN) serta ATC.



Gambar 2. 23 Sistem Satelit ADS-B Pada GEO dan MEO

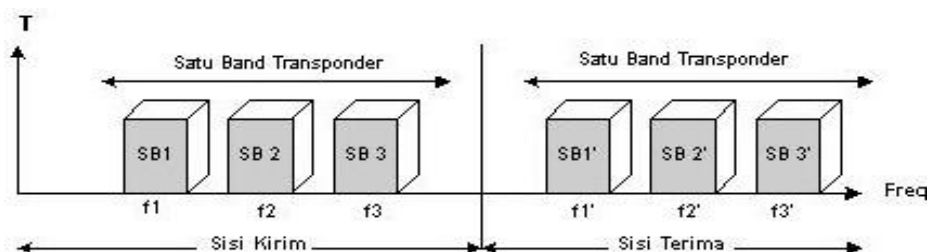
Antena atau sensor yang terpasang di satelit merupakan cakupan satelit pada permukaan Bumi atau area terestrial yang dirancang sedemikian rupa mengikuti bentuk wilayah yang diinginkan. Seluruh stasiun Bumi dapat menerima sinyal satelit jika berada dalam area *footprint*. Semakin kuat sinyal yang dipancarkan maka semakin baik hasil yang diterima terminal di Bumi. Sinyal kuat yang dipancarkan oleh satelit bisa saja menjadi sangat lemah ketika diterima di Bumi disebabkan oleh berbagai faktor. Pada frekuensi yang tinggi rugi lintasan akan naik sebesar kuadrat frekuensi dan kuadrat jarak. Faktor cuaca juga sangat berpengaruh seperti hujan yang dapat meredam sinyal dan menurunkan temperatur sehingga menyebabkan rugi-rugi yang diakibatkan oleh gerakan-gerakan molekul yang memperbesar *noise* [33].

2.4.8 Metode *Multiple Access*

Dikenal tiga metode yang biasa digunakan untuk transmisi *uplink* dan *downlink* yaitu *Frequency Division Multiple Access* (FDMA), *Time Division Multiple Access* (TDMA) dan *Code Division Multiple Access* (CDMA). Selain itu terdapat pula *Demand Assignment Multiple Access* (DAMA), namun *multiple access* ini jarang diaplikasikan [33].

1. *Frequency Division Multiple Access* (FDMA)

Pada sistem FDMA, setiap stasiun Bumi yang dilayani oleh satelit memiliki frekuensi pancar yang berbeda antara stasiun Bumi yang satu dengan stasiun Bumi lainnya. Pada Gambar 2.22 sebelumnya dapat dilihat bahwa setiap stasiun Bumi memancarkan dan menerima sinyal dengan frekuensi yang berbeda, yaitu F_1 , F_2 dan F_3 [33].



Gambar 2. 24 FDMA dalam domain frekuensi terhadap Waktu [33].

2. *Time Division Multiple Access (TDMA)*

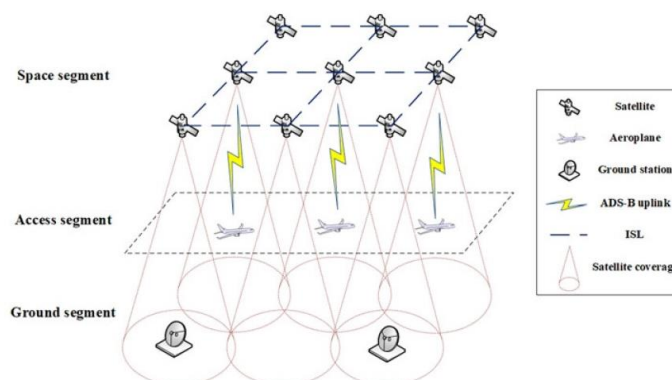
TDMA merupakan jenis akses jamak yang menerapkan pembagian waktu (*time sharing*) untuk pengaturan pengiriman sinyal-sinyal dari beberapa stasiun Bumi dalam menduduki transponder satelit. Cara kerja sistem TDMA yaitu stasiun Bumi memancarkan *burst-burst* yang berisi sinyal informasi yang telah dimodulasi pada celah waktu (*time slot*) tertentu secara bergiliran sehingga antar stasiun Bumi dibedakan atas celah waktu yang didudukinya. Namun walaupun *time slot*-nya berbeda semua stasiun Bumi tersebut memiliki frekuensi transmisi yang sama [33].

3. *Code Division Multiple Access (CDMA)*

Sinyal ditransmisikan memancar melalui sebagian atau semua dari *bandwidth transponder* yang dapat digunakan pada hubungan frekuensi-waktu dengan transformasi kode. Seperti halnya pada sistem TDMA, setiap stasiun Bumi memiliki frekuensi kerja yang sama secara bersamaan memancarkan sinyalnya dalam format kode-kode [33].

2.4.9 *Coverage Antena Satelit ADS-B*

Sistem *Space based ADS-B* mencakup seluruh wilayah dari kutub ke kutub dengan memberikan informasi tingkat posisi pesawat pada tingkat granular yang awalnya hanya ada di area terestrial atau berpenduduk padat, kemudian diperluas visibilitas itu ke seluruh dunia. Pemanfaatan sensor atau antena *circular* yang terpasang pada satelit Nano memungkinkan pesawat dapat diawasi di-wilayah yang tidak terpasang sistem pengawasan *ground based* [34].



Gambar 2. 25 Desain konstelasi satelit di *Low Earth Orbit* [14].

2.4.10 Model Trafik ADS-B Untuk Area Terpencil

ADS-B membantu ATC memahami pemisahan yang sebenarnya antara pesawat terbang dan memungkinkan pengontrol (ATC dan Pesawat) untuk menghindari ketidakefisienan perintah *vectoring* untuk mempertahankan jaminan pemisahan. Prosedur jejak membantu pesawat terbang untuk bergerak secara optimal di ketinggian operasional khususnya di daerah terpencil dan wilayah udara samudera. Prosedur jejak memudahkan pilot untuk meminta dan menerima perubahan menuju ketinggian jelajah yang lebih tinggi serta mengurangi dampak lingkungan karena berkurangnya penggunaan bahan bakar [27].

Fungsi ADS-B pada sebuah pesawat yaitu dapat menentukan posisinya sendiri dengan menggunakan sistem satelit navigasi global dan menyiarkannya secara berkala melalui frekuensi radio 1090-MHz *Extended Squitter* ke stasiun darat atau pesawat lain di dekatnya. Pendekatan ini meningkatkan akurasi lokalisasi pesawat dan memungkinkan persyaratan pemisahan yang lebih rendah dan meningkatkan kesadaran situasional untuk pilot dan pengendali. Pada saat yang sama itu seharusnya signifikan mengurangi biaya pengawasan lalu lintas udara dibandingkan dengan yang sebelumnya sistem radar pengawasan independen [27].

Terdapat beberapa jenis protokol penyiaran atau standar untuk implementasi ADS-B yaitu [35]:

a. jenis pesan secara teratur:

Pesan posisi dan kecepatan - Pesawat mengudara memisahkan pesan dengan posisi dan kecepatannya masing-masing rata-rata setiap 0,5 detik. Pesan selanjutnya dikirim setelah interval yang diambil secara acak antara 0,4 dan 0,6 detik.

b. Pesan C Identification (ID) - Pesawat menyiarkan sebuah pesan dengan Pengidentifikasi 24-bit Organisasi Penerbangan Sipil Internasionalnya sendiri setiap 5 detik. Transmisi yang tepat Interval diambil secara acak antara 4,8 dan 5,2 detik.

2.4.11 Jenis Radar

Radar Non-Kooperatif (Radar primer) merupakan radar yang mengidentifikasi dan melacak posisi pesawat secara independen, tanpa menggunakan *avionik on-board*, menggunakan pantulan sinyal radio dan tidak memerlukan kerja sama dari pesawat. Radar non-kooperatif termasuk *Long Range* (ARSR-4, CARSR), *Short Range* (ASR-8 / 9/11) dan *Surface* (ASDE-X / ASSC SMR) [36].

Cooperative Radars (Secondary radar) merupakan *Beacon Interrogators* yang mengidentifikasi dan melacak pesawat menggunakan interogasi dan siaran yang dipancarkan dari transponder pesawat di dalam pesawat. *Beacon Interrogators* termasuk BI-5, Mode S, BI-6, MSSR. Sistem pengawasan kooperatif lainnya termasuk *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast and Multilateration* (ASDE-X / ASSC, WAM) [36].

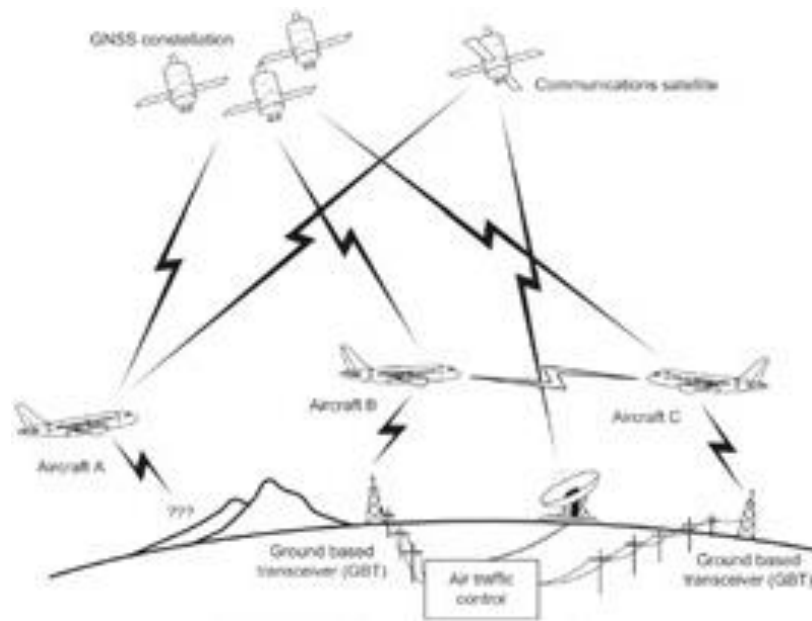
Radar Jarak Pendek adalah sistem pengawasan dengan jangkauan 60 mil laut (NM) yang digunakan untuk operasi terminal dan dalam perjalanan yang mencakup sistem non-kooperatif dan/atau kooperatif [36].

Radar Jarak Jauh adalah sistem pengawasan dengan jangkauan 200-250 NM yang digunakan untuk operasi terminal dan dalam perjalanan yang mencakup kemampuan non-kooperatif dan/atau kooperatif [36].

2.5 MANAJEMEN LALU LINTAS UDARA

Tujuan dari layanan lalu lintas udara adalah untuk [25]:

- a. Mencegah tabrakan antar pesawat.
- b. Mencegah tabrakan antara pesawat di area manuver dan gangguan di area tersebut.
- c. Mempercepat dan menjaga ketertiban arus lalu lintas udara.
- d. Memberikan saran dan informasi yang berguna untuk pelaksanaan penerbangan yang aman dan efisien.
- e. Memberi tahu organisasi dengan tepat mengenai pesawat yang membutuhkan bantuan pencarian dan penyelamatan, serta membantu organisasi seperti yang diperlukan.



Gambar 2. 26 Manajemen lalu lintas udara di area terpencil [8].

Untuk manajemen dan pengoperasian lalu lintas udara dengan sistem *Ground based ADS-B* pada area terpencil, pesawat yang telah melintasi kawasan terpencil akan mengirimkan informasi atau ADS-B OUT melalui satelit ADS-B ke pesawat di sekitarnya.

Pesawat yang memasuki area terpencil akan menerima informasi atau ADS-B IN dari *broadcast* satelit ADS-B. Karena keterbatasan ATC dalam mengawasi dan melayani pesawat diperlukan prosedur pemisahan.

Pada proses prosedur pemisahan ATC akan memberitahu pesawat untuk melakukan manuver sesuai dengan prosedur vertikal dan lateral untuk menghindari tabrakan selama penerbangan.

Fungsi transponder yang diharapkan untuk komunikasi antar pesawat yaitu:

1. Transmitter-Responder
2. Sifatnya tanya jawab (*interrogate-repply*)
3. Unik *address* vs *All address*
4. *Re-respond*