

SIMULASI DAN ANALISIS PENERIMAAN SINYAL *AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE-BROADCAST* DENGAN SATELIT ORBIT RENDAH

SIMULATION AND ANALYSIS OF AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE- BROADCAST SIGNAL RECEPTION OVER LOW EARTH ORBIT SATELLITE

Tazakka Viddien Caya¹, Budi Syihabuddin², Edwar³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹tazakka@student.telkomuniversity.ac.id, ²budisyihab@telkomuniversity.co.id,
³edwarm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) adalah teknologi pengawasan lalu lintas udara yang dapat mengirimkan informasi posisi, ketinggian, kecepatan, dan identitas pesawat. Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi komunikasi uplink sistem penerima ADS-B pada satelit orbit rendah menggunakan 2 jenis antena mikrostrip. Dari hasil simulasi didapatkan rata-rata BER 0,0073-0,0074 pada sistem dengan gain=1,22 dB dan $3,4741 \times 10^{-6}$ sampai $3,8964 \times 10^{-6}$ pada sistem dengan gain=5,05 dB. Hasil menunjukkan nilai rata-rata BER yang masih berada di atas rentang BER yang direkomendasikan (1×10^{-6}).

Kata kunci : ADS-B, System-Level Simulation, Low Earth Orbit, Satellite, Bit Error Rate

Abstract

Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) is an air traffic surveillance technology that provides information such as position, altitude, velocity, dan vehicle identity. In this research, a simulation of the ADS-B receiver system uplink communication on low orbit satellites will be made using 2 types of microstrip antennas. From the simulation results obtained an average BER of 0.0073-0.0074 in the system with a gain of 1.22 dB and 3.4741×10^{-6} to 3.8964×10^{-6} in the system with a gain of 5.05 dB. The results show that the average value of BER is still above the recommended BER value (1×10^{-6}).

Keywords: ADS-B, System-Level Simulation, Low Earth Orbit, Satellite, Bit Error Rate

1. Pendahuluan [10 pts/Bold]

Dalam upaya peningkatan keamanan lalu lintas udara, ADS-B sebagai salah satu teknologi pengamatan memiliki beberapa batasan. Teknologi ADS-B didasarkan pada penerimaan sinyal melalui stasiun bumi yang memiliki batasan area yang dapat dijangkau seperti di tengah lautan. Maka dari itu, diperlukan pengembangan untuk memperluas jangkauan penerima ADS-B. Salah satu solusi yang telah dilakukan adalah menempatkan sistem penerima ADS-B pada satelit orbit rendah.

Telah dilakukan berbagai penelitian dan pengembangan mengenai sistem penerima ADS-B pada satelit orbit rendah seperti pembuatan modul ADS-B untuk satelit nano[1], pengaplikasian antena mikrostrip[2][3], hingga konstelasi satelit[4].

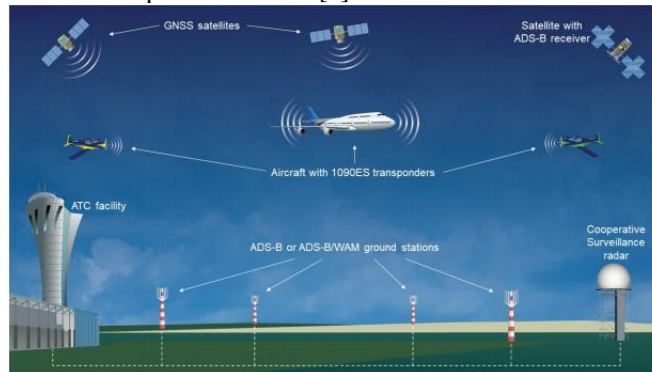
Untuk mendorong pengembangan teknologi ADS-B pada satelit orbit rendah, dibutuhkan model simulasi sistem penerima ADS-B yang dapat melihat performa sistem. Pada penelitian ini, telah dilakukan simulasi model sistem penerimaan sinyal ADS-B melalui satelit orbit rendah untuk melihat pengaruh posisi pesawat terhadap satelit, loss dan noise sistem komunikasi pada performa penerimaan sinyal ADS-B dengan satelit orbit rendah.

2. Konsep Dasar

2.1 ADS-B

Teknologi ADS-B digunakan dalam pengamatan lalu lintas udara. Pesawat yang dilengkapi perangkat ADS-B akan mengirimkan pesan ADS-B setiap interval 0,5 sampai 1 detik secara kontinu dengan jarak jangkauan maksimum 200 NM (370 Km). Sistem komunikasi ADS-B terdiri dari satelit

navigasi (GNSS), pesawat terbang dan stasi penerima. Sistem Komunikasi ADS-B yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Di Indonesia, ADS-B bekerja pada frekuensi 1090 MHz menggunakan Mode S Transponder 1090ES [5].



Gambar 1. Sistem Komunikasi ADS-B [6].

2.2 Satelit Orbit Rendah

Satelit orbit rendah adalah satelit yang mengorbit pada orbit bumi rendah yang memiliki ketinggian tidak lebih dari 2000 Km. Satelit orbit rendah memiliki jangkauan yang kecil namun, karena jaraknya yang lebih dekat ke bumi, satelit orbit rendah memiliki banyak kegunaan tersendiri. Salah satunya adalah pengamatan bumi. Untuk menghitung jarak jangkauan satelit, digunakan persamaan (1) di bawah ini [7].

$$R_{coverage} = \sqrt{2 \times R_E^2 (1 - \cos \beta_0)} \quad (1)$$

Pada orbit bumi rendah, terdapat efek-efek yang dapat mempengaruhi komunikasi antara satelit dan stasiun penerima di bumi seperti Efek Faraday dan Doppler[8][9].

2.3 Link Budget

Salah satu parameter penting yang perlu diperhitungkan untuk membuat sistem komunikasi jarak jauh (terutama komunikasi satelit) agar data yang dikirim dapat tersampaikan ke tujuan dengan baik adalah link budget. Ditinjau dari nilai daya terima pada receiver, di mana nilainya harus diatas nilai minimum kemampuan receiver dalam menerima daya agar dapat meminimalisir nilai eror yang terjadi pada sistem [10].

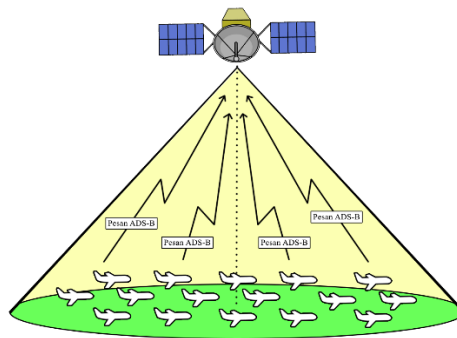
2.4 Bit Error Rate

Bit Error Rate (BER) merupakan nilai probabilitas eror sebuah sistem transmisi bit (bitstream). Probabilitas eror yang digunakan pada Tugas Akhir ini dihitung berdasarkan perbandingan antara nilai bit yang ditransmisikan dengan bit yang diterima.

3. Pembahasan

3.1. Desain Sistem

Pada tugas akhir ini, telah dilakukan pemodelan sistem penerima sinyal Automatic Surveillance Dependent-Broadcast (ADS-B) dari pesawat terbang dengan Satelit Orbit Rendah. Model yang dirancang terdiri dari tingkat link dan sistem. Garis besar model sistem penerima sinyal ADS-B yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Sistem.

Spesifikasi sistem yang digunakan ditentukan dengan merujuk pada aturan yang telah dikeluarkan oleh ITU dan FAA[11][12]. Jenis pesawat yang digunakan pada pemodelan ini adalah pesawat kelas A yang memiliki ketinggian antara 5-15 Km. Satelit yang digunakan pada pemodelan ini adalah satelit berukuran kecil yang mengorbit pada low earth orbit dengan ketinggian 400 Km. Spesifikasi lengkap sistem dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Spesifikasi Sistem Penerima ADS-B.

Parameter	Nilai/Keterangan
Ketinggian Pesawat	5-15 Km
Ketinggian Satelit	400 Km
Kecepatan Pesawat	900 km/h (0.25 Km/s)
Kecepatan Satelit	7,66 Km/s
Frekuensi	1090 MHz
Bandwidth	4,6 MHz
Data Rate	1 Mbps
Modulasi	<i>Pulse Position Modulation (PPM)</i>
Pointing	Nadir Pointing
Daya Transmit	125 W
Multiple Access	<i>Random Access</i>

Simulasi dibuat menjadi 2 tingkatan, simulasi link-level dan system-level.

3.2. Spesifikasi Antena

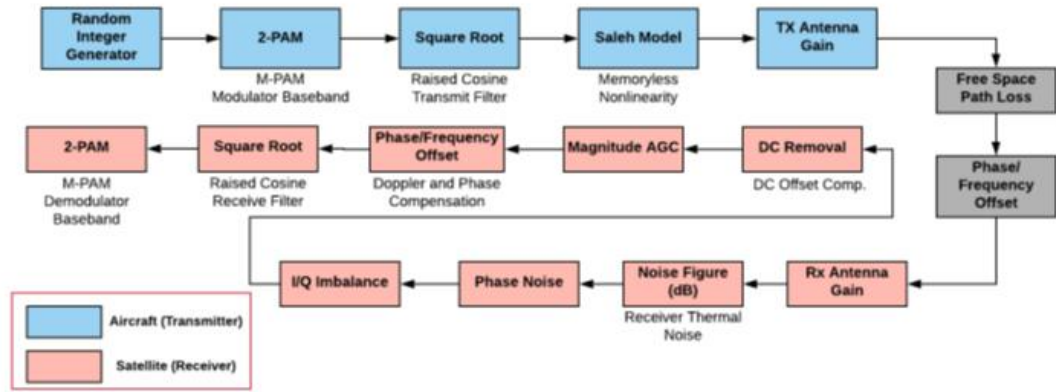
Pada penelitian ini digunakan 2 jenis antena yang berbeda. Antena yang digunakan pada simulasi ini adalah antena mikrostrip Patch segi empat dan antena mikrostrip lingkaran. Antena yang digunakan pada tugas akhir ini merupakan hasil dari riset sebelumnya mengenai antena mikrostrip sebagai penerima sinyal ADS-B pada satelit nano [2][3].

Tabel 2. Spesifikasi Antena.

Parameter	Nilai/Keterangan	Nilai/Keterangan
Nomor Antena	1	2
Frekuensi	1090 MHz	1090 MHz
Bandwith	40,3 MHz	12,3 MHz
Rentang Frekuensi	790 - 1390 MHz	1083,4 - 1095,7 MHz
Pola Radiasi	Unidireksional	Unidireksional
Axial Ratio	2,01 dB	1,43 dB
VSWR	1,81	1,176
Gain	1,23 dBi	5,744 dBi
HPBW Azimuth	99,8°	90,1°
HPBW Elevasi	90,6°	97,1°

3.2. Simulasi Link-Level

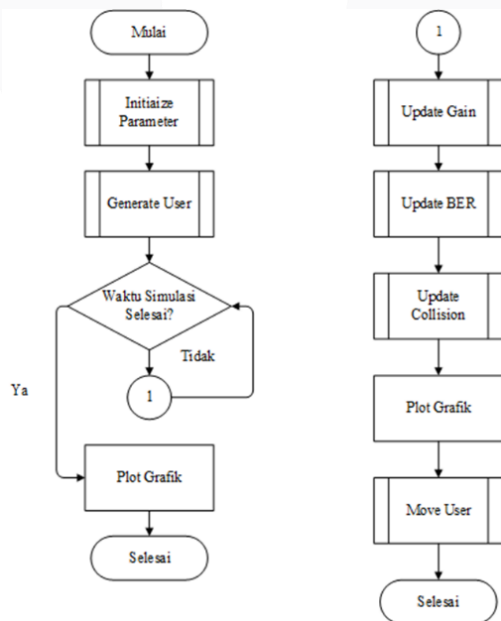
Desain model komunikasi link disesuaikan dengan blok sistem penerimaan sinyal ADS-B oleh satelit seperti dapat dilihat pada Gambar 3. Simulasi link-level bertujuan untuk menghitung nilai BER berdasarkan nilai Gain dan kisaran jarak antara pesawat dan satelit. Pada simulasi ini digunakan nilai gain dari -3 dB sampai 3,3 dB dengan interval 0,1 dB dan jarak antar pesawat dan satelit dari 385 Km sampai 566 Km.



Gambar 3. Blok Diagram Simulasi Link-Level

3.2. Simulasi System-Level

Simulasi system-level bertujuan untuk memetakan performa penerimaan sistem berdasarkan pola radiasi antenna yang digunakan. Pada simulasi ini juga disimulasikan rasio paket yang sukses diterima oleh satelit dengan menggunakan protokol random access. Simulasi dilakukan dengan menempatkan pesawat dalam posisi acak pada area seluas daerah jangkauan pesawat, kemudian satelit bergerak menuju daerah yang diisi oleh pesawat. Simulasi dilakukan sampai satelit melewati area yang diisi oleh pesawat. Hasil yang didapat dari simulasi ini ditampilkan dalam 3 jenis grafik; posisi pesawat, nilai gain berdasarkan posisi pesawat, nilai BER berdasarkan posisi pesawat. Alur kerja sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Alur Simulasi System-Level.

3.3. Skenario Pengujian

Simulasi ini dilakukan dalam 8 skenario berbeda yang dibedakan berdasarkan jenis antena dan jumlah pesawat yang digunakan. Tujuan digunakan skenario yang berbeda adalah untuk membandingkan performa sistem yang didesain pada kondisi yang berbeda. Skenario yang digunakan pada simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Skenario Simulasi.

No.	Antena	Jumlah Pesawat
1	Antena 1	100
2		250
3		500
4		1000
5	Antena 2	100
6		250
7		500
8		1000

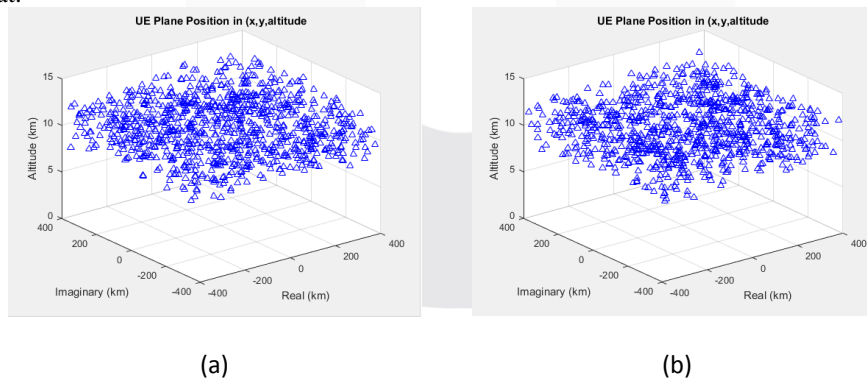
4. Simulasi dan Analisa

4.1. Simulasi Link-Level

Hasil dari simulasi adalah tabel basis data yang berisi nilai BER terhadap gain dan jarak antara pesawat dan satelit. Tabel ini kemudian digunakan untuk mencari nilai BER yang diterima oleh satelit dari tiap pesawat pada simulasi system-level.

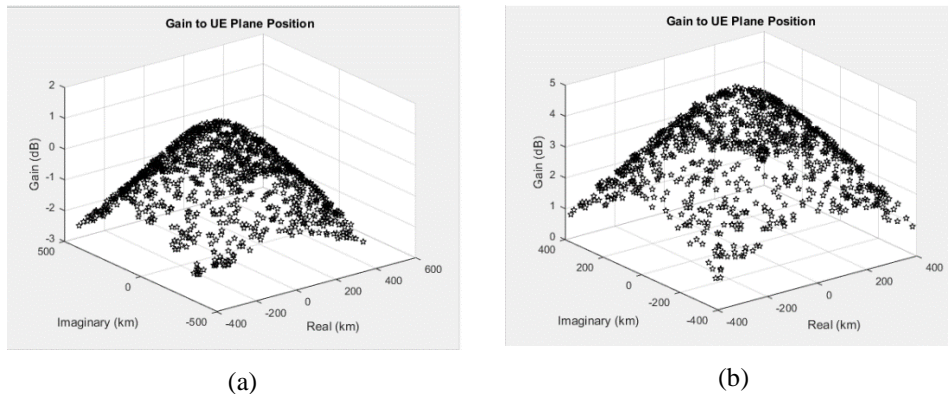
4.2. Simulasi System-Level

Hasil dari simulasi adalah animasi grafik posisi, gain, dan BER sistem penerima ADS-B yang berubah mengikuti pergerakan satelit dan pesawat serta nilai rata-rata BER dan non-collision rate yang terekam saat durasi simulasi. Grafik posisi menampilkan posisi setiap pesawat dalam radius jangkauan satelit. Satelit digambarkan dengan bentuk segitiga pada grafik 3-axis yang meliputi longitude, latitude, dan ketinggian pesawat. Di bawah ini adalah grafik posisi dengan jumlah 1000 pesawat.



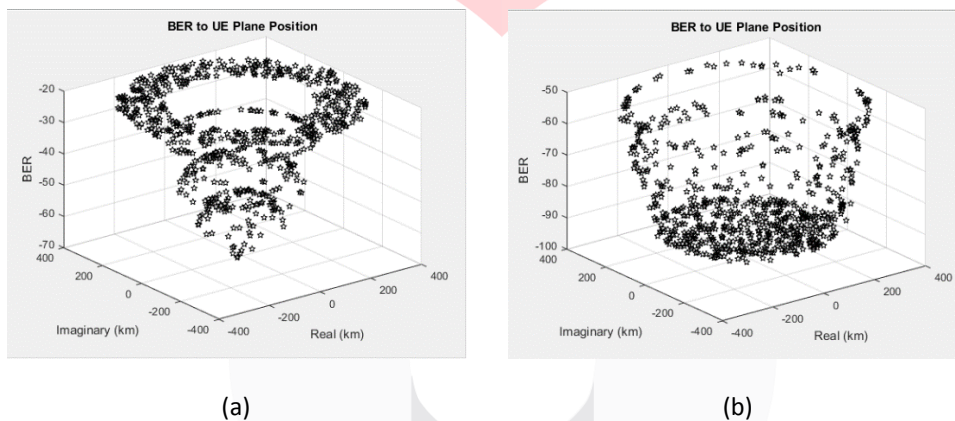
Gambar 5. Grafik Posisi 1000 Pesawat dengan (a) Antena 1 dan (b) Antena 2.

Tidak terlihat perbedaan pada grafik posisi kedua antena karena grafik posisi tidak dipengaruhi oleh karakteristik antena. Satelit dan pesawat bergerak setiap detik dengan kecepatan masing-masing sampai satelit telah melewati area yang ditentukan. Data posisi ini kemudian digunakan untuk menentukan nilai gain yang diterima oleh tiap pesawat. Grafik gain dengan jumlah 1000 pesawat dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Grafik Gain 1000 Pesawat dengan (a) Antena 1 dan (b) Antena 2.

Pada grafik gain Antena 1, nilai gain berada pada rentang -3 sampai 1,2 dB sedangkan pada grafik Antena 2, nilai gain berada pada rentang 0,9 sampai 5 dB. Pesawat yang berada pada posisi nadir satelit (0,0) memiliki nilai gain yang paling besar, sedangkan pesawat yang berada pada titik jangkauan terjauh satelit memiliki nilai gain yang paling rendah. Nilai gain ini kemudian digunakan untuk mensimulasikan nilai BER yang diterima oleh satelit. Grafik BER dengan jumlah 1000 pesawat dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Grafik BER 1000 Pesawat dengan (a) Antena 1 dan (b) Antena 2.

Dari grafik dapat dilihat perbandingan nilai BER yang diterima oleh satelit berdasarkan perangkat antenna yang digunakan. Pada Antena 1, BER yang terukur berada pada rentang 0,10987 sampai $6,06 \times 10^{-6}$. Nilai ini masih berada di atas BER maksimum yang disarankan oleh FAA, yaitu 1×10^{-6} . Sedangkan untuk Antena 2, nilai BER yang terukur berada pada rentang 0,01027 sampai 1×10^{-8} . Sebagian pesawat ada yang memenuhi nilai BER maksimum FAA, namun masih ada juga yang melebihi batas maksimum. Nilai BER yang terekam selama durasi tersebut kemudian dihitung rata-ratanya diakhir simulasi. Selain rata-rata BER, simulasi ini juga menghitung rata-rata paket yang sukses diterima oleh satelit dengan menggunakan protokol random acces dari ADS-B. Hasil simulasi untuk setiap jumlah pesawat dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Rata-Rata BER dan Non-Collision Rate

Jumlah Pesawat	Rata-rata BER		Rata-rata Non-Collision Rate	
	Antena 1	Antena 2	Antena 1	Antena 2
100	0,0073	$3,5483 \times 10^{-6}$	0,9734	0,9731
250	0,0073	$3,8964 \times 10^{-6}$	0,9341	0,9341
500	0,0074	$3,5693 \times 10^{-6}$	0,8728	0,8730
1000	0,0074	$3,4741 \times 10^{-6}$	0,7635	0,7633

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa rata-rata BER untuk sistem penerima ADS-B yang menggunakan Antena 2 dengan gain maksimum 5 dB berada sedikit diatas nilai BER rekomendasi yang ditetapkan oleh FAA (1×10^{-6} - 1×10^{-12}). Namun untuk sistem penerima ADS-B yang menggunakan Antena 1, nilai rata-rata BER-nya sangat besar yaitu 0,0073-0,0074. Nilai ini berada jauh di atas BER rekomendasi dari FAA. Sedangkan pada sistem yang menggunakan Antena 2, nilai rata-rata BER berada sedikit di atas rekomendasi FAA yaitu $3,4741 \times 10^{-6}$ - $3,8964 \times 10^{-6}$. Dari hasil ini pula, dapat dilihat bahwa bertambahnya pesawat dalam cakupan radius jangkauan satelit tidak berpengaruh terhadap rata-rata BER-nya.

Sedangkan untuk non-collision rate, nilai antara kedua antena tidak berbeda jauh. Hal ini terjadi karena simulasi non-collision rate didasarkan pada protocol random access ADS-B, sehingga hasil hanya dipengaruhi oleh jumlah pesawat dan jarak antara satelit dan pesawat sistem dengan 100 pesawat, memiliki non-collision rate sebesar 97,34% untuk Antena 1 dan 97,31% untuk Antena 2. Nilai ini masih berada diatas rekomendasi minimum availabilitas sistem penerima ADS-B yaitu 95%. Sedangkan untuk jumlah pesawat 250, 500, dan 1000 memiliki nilai non-collision rate yang berada di bawah rekomendasi FAA.

4.2. Analisa Hasil Simulasi

Dari kedua antena yang telah disimulasikan, Antena 2 memiliki performa yang jauh lebih baik dari Antena 1. nilai rata-rata BER yang terima oleh satelit adalah 0,0073-0,0074 berada jauh di atas BER maksimum yang direkomendasikan. Sedangkan pada Antena 2, nilai rata-rata BER yang diterima oleh satelit berada pada rentang $3,4741 \times 10^{-6}$ sampai $3,8964 \times 10^{-6}$ Hasil ini masih sedikit berada di atas rekomendasi minimum BER dari FAA yaitu 1×10^{-6} .

Berdasarkan hasil simulasi, posisi setiap pesawat mempengaruhi jumlah bit eror yang yang diterima oleh satelit. Pada simulasi ini, nilai eror dipengaruhi oleh besar gain antena dan pergeseran frekuensi berdasarkan sudut posisi antara pesawat dan satelit. Semakin jauh posisi pesawat terhadap titik nadir satelit, semakin kecil nilai gain antena penerimanya.

Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa, antenna mikrostrip dapat digunakan dalam sistem penerima ADS-B pada satelit orbit rendah. Dengan mempertimbangkan ukuran satelit dan antenna, antenna mikrostrip merupakan pilihan terbaik dalam penerapan sistem penerima ADS-B pada satelit orbit rendah. Hasil simulasi menunjukkan nilai rata-rata BER yang berada di atas BER yang direkomendasikan. Namun, dengan adanya optimasi pada antena dan penambahan Low Noise Amplifier pada desain sistem yang digunakan dapat menurunkan rata-rata BER kedalam rentang yang direkomendasikan

5. Kesimpulan

Pada penelitian antenna mikrostrip pojok terpotong untuk penerima sinyal ADS-B pada satelit nano dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem penerima ADS-B dengan antena mikrostrip yang memiliki gain antena 1,2 dB, memiliki rata-rata BER berada pada rentang 0,0073-0,0074. Sedangkan antena mikrostrip dengan gain 5 dB, memiliki rata-rata BER berada pada rentang $3,4741 \times 10^{-6}$ sampai $3,8964 \times 10^{-6}$.
2. Performa Antena 1 lebih baik dari Antena 2, namun kedua antena yang digunakan nilai rata-rata BER-nya masih berada di atas nilai BER yang direkomendasikan (1×10^{-6}).
3. Perlu dilakukan optimasi pada kedua antena untuk beroperasi pada sistem penerima ADS-B dengan baik.
4. Dengan protocol random access ADS-B, sistem dengan 100 pesawat memiliki rasio penerimaan sebesar 97,31%. Hasil ini masih berada dalam kisaran availability yang direkomendasikan (95%-99%). Sedangkan sistem dengan 250, 500, dan 1000 pesawat, rasio paket sukses berada dibawah rekomendasi dengan nilai masing-masing, 93,41%, 87,3%, dan 76,3%

Reference:

- [1] R. N. Pahlevy, A. D. Prasetyo, Edwar, "Nanosatellite ADS-B Receiver Prototype," in ICCEREC, Bandung, Indonesia, 2018.
- [2] E. Suteja, "ADS-B Microstrip Antenna Receiver Design for Cubesat with Slot", in ICOIACT 2019, Yogyakarta, Indonesia, 2019.

- [3] B. Satriyotomo, H. Wijanto, Edwar, "Antena Mikrostrip Segi Empat Pojok Terpotong Untuk Penerima Sinyal ADS-B Pada Satelit Nano," Fakultas Teknik Elektro, Telkom University, Bandung, 2020.
- [4] P. Noschese, S. Porfili and S. Di Girolamo, "ADS-B via Iridium NEXT satellites", Proc. TIWDC/ESAV, pp. 213-218, 2011.
- [5] Y. Nurhayati and Susanti, "The Implementasion of Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B in Indonesia)," J. Perhub. Udar. War. Ardhia, pp. 147–162, 2014.
- [6] International Civil Aviation Organization, "The Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Seminarr, Operationnal Concept," Mexico, 2015.
- [7] G.D. Gordon, W.L. Morgan, 'Principles of communication satellites'', John Wiley & sons, Inc. 1993.
- [8] B. Danibls' and J. Baubr', "THE IONOSPHERIC FARADAY EFFECT AND ITS APPLICATIONS," p. 14, 1959.
- [9] G. Maral, M. Bousquet and Z. Sun, Satellite communications systems, 5th ed. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2009, pp. 38-40.
- [10] C. A. Balanis, Antenna theory - analysis and design, 3rd ed. Tempe, AZ: John Wiley & Sons, 1982.
- [11] Radio Technical Commission for Aeronautics, "Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services - Broadcast (TIS-B)", RTCA/DO-260B, Washington, 2009.
- [12] Federal Aviation Administration, "Airspace," 2020. [Online]. Available: <https://www.faa.gov/nextgen/equipadsb/research/airspace/> [Accessed: 25 April 2020].