

PERBANDINGAN *ISOTROPIC RECEIVE LEVEL* DAN *FREE SPACE LOSS* PADA SATELIT GEOSTASIONER BERDASARKAN VARIASI JARAK DAN RENTANG PITA FREKUENSI KOMUNIKASI SATELIT

F. Hasan¹, P. Kurniasari^{1*}, I. P. A. Saputra¹, A. H. Dalimunthe¹, dan M. Sari¹

¹Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Indralaya

*Corresponding author e-mail: puspakurniasari@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK: Perhitungan rugi-rugi jalur propagasi sinyal pada sistem komunikasi satelit sangat penting dalam menganalisis performa transmisi sinyal dari satelit ke stasiun bumi. Rugi jalur propagasi berdampak pada kuat sinyal terima di stasiun bumi. Penelitian ini membahas perbandingan *Isotropic Receive Level* dan *Free Space Loss* pada kerja satelit geostasioner dengan variasi jarak 36000 hingga 41000 km serta rentang pita frekuensi *L-band* hingga *Ka-band*. Metode penelitian menggunakan model propagasi *free space path loss* berbasis parameter jarak dan frekuensi dengan nilai *Effective Isotropic Radiated Power* sebesar +40 dBW. Hasil kalkulasi menunjukkan peningkatan jarak segmen bumi menyebabkan kenaikan *Free Space Loss* dari 197,39 dB menjadi 198,52 dB. Namun, peningkatan frekuensi memberi pengaruh signifikan terhadap redaman. Pada pita L di 1 GHz diperoleh *Free Space Loss* 183,57 dB dan *Isotropic Receive Level* -143,57 dBW sedangkan pada pita Ka di 26 GHz diperoleh *Free Space Loss* meningkat menjadi 211,87 dB dan *Isotropic Receive Level* menurun menjadi -171,87 dBW. Berdasarkan hasil tersebut, frekuensi memiliki pengaruh lebih besar terhadap penurunan daya sinyal dibanding jarak segmen bumi. Studi ini memberikan deskripsi kuantitatif sensitivitas jarak orbit dan frekuensi kerja terhadap kualitas sinyal sehingga dapat dijadikan acuan dalam perencanaan sistem komunikasi satelit.

Kata Kunci: Frekuensi, geostasioner, propagasi, satelit, sistem

ABSTRACT: The calculation of propagation path losses in satellite communication systems is essential for analyzing signal transmission performance from satellites to ground stations. Propagation loss affects the received signal at the ground station. This study compares the *Isotropic Receive Level* and *Free Space Loss* in geostationary satellite operation by considering variations in satellite distance from 36,000 to 41,000 km and frequency bands from *L-band* to *Ka-band*. The research applies a *free space loss* propagation model based on distance and frequency with an *Effective Isotropic Radiated Power* at +40 dBW. The results show that increasing the earth segment distance causes a small rise in *Free Space Loss* from 197.39 dB to 198.52 dB. However, frequency increase has a significant impact on attenuation. At the *L-band* 1 GHz, *Free Space Loss* is 183.57 dB and *Isotropic Receive Level* is -143.57 dBW while at the *Ka-band* 26 GHz, the *Free Space Loss* rises to 211.87 dB and *Isotropic Receive Level* decreases to -171.87 dBW. These results indicate that frequency has a greater influence on signal power reduction than distance. This study provides a quantitative description of the sensitivity of orbital distance and frequency to signal serving as a reference for satellite communication system design.

Keywords: Frequency, geostationer, propagation, satellite, systems

1 Pendahuluan

Komunikasi satelit telah menjadi teknologi penting yang memungkinkan pertukaran informasi tanpa batas geografis dalam era konektivitas global. Berawal dari konsep teoretis, kini satelit berperan dalam penyiaran, komunikasi darurat dan berbagai layanan penting lainnya. Pada dasarnya, komunikasi satelit merupakan transmisi

sinyal antara stasiun di bumi dan satelit yang mengorbit di luar angkasa dengan keunggulan mampu menjangkau jarak jauh tanpa infrastruktur fisik sehingga efektif untuk wilayah terpencil [1].

Penelitian ini menerapkan perhitungan *Isotropic Receive Level* dan propagasi *Free Space Loss* dengan memperhitungkan penggunaan frekuensi yang sama pada setiap peningkatan jarak ketinggian antara satelit terhadap

penerima di *ground station* dan penggunaan frekuensi yang bervariasi pada jarak ketinggian yang sama antara satelit terhadap penerima di *ground station* untuk estimasi daya terima sebagai relevansi hasil pada rancangan jaringan komunikasi satelit.

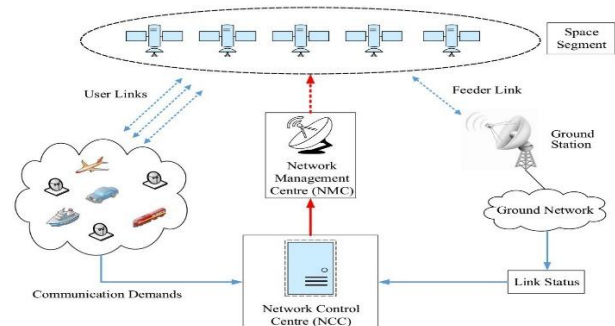
Orbit Geostasioner atau *Geostationary Orbit* atau disingkat GSO merupakan satu orbit yang dapat digunakan sebagai lintasan operasi satelit selain orbit bumi rendah atau *Low Earth Orbit* (LEO), orbit bumi menengah atau *Medium Earth Orbit* (MEO). GSO memiliki perbedaan dan karakteristik unik. Diantara ketiga orbit satelit, GSO memiliki perbedaan dan karakteristik unik. GSO terletak pada ketinggian 35871 kilometer atau 35871 km serta tepat di atas ekuator bumi. Keunikan ini membuat satelit yang berada di GSO tampak diam karena periode orbitnya sama dengan periode rotasi bumi. Kondisi tersebut memberikan keuntungan bagi penyedia layanan satelit termasuk penghematan biaya operasional serta peningkatan akurasi dalam proses *transferring data* dari satelit ke stasiun bumi atau *ground station* [2].

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu menganalisis level sinyal terima pada sistem satelit melalui perhitungan *Isotropic Receive Level* yang dipengaruhi *Free Space Loss* berdasarkan faktor variasi frekuensi dan faktor jarak ketinggian satelit terhadap penerima sehingga dapat menjadi rujukan dalam perancangan jaringan komunikasi satelit. Dalam sistem komunikasi berbasis satelit seperti *Very Small Aperture Terminal* (VSAT) diperlukan analisis menyeluruh terhadap unjuk kerja transmisi yang dikenal sebagai *Link Budget Analysis* yaitu proses perhitungan untuk memastikan efisiensi daya pancar, sensitivitas penerima, diameter antena serta pengaruh media propagasi baik pada lintasan ke atas atau *uplink* maupun lintasan ke bawah atau *downlink*. Analisis ini mencakup stasiun bumi pengirim, satelit serta stasiun bumi penerima dan bertujuan untuk menjamin kualitas layanan serta keandalan komunikasi [3]. Dalam perencanaan *link budget* dan desain sistem satelit, pemenuhan standar keselamatan diperlukan dengan cara memastikan bahwa komponen satelit yang dirancang untuk melengkapi dan memperluas layanan pada wilayah dan memiliki target kinerja teknis yang disesuaikan dengan keterbatasan anggaran daya serta karakteristik satelit. Oleh karena itu, analisis *link budget* wajib disusun secara akurat dan realistis agar layanan dapat beroperasi secara stabil di wilayah cakupan yang luas sekaligus menjaga keandalan komunikasi dan keselamatan infrastruktur maupun pengguna [4].

2 Teori Dasar

2.1 Sistem Satelit

Satelit komunikasi merupakan pesawat ruang angkasa yang ditempatkan pada orbit mengelilingi bumi dan dilengkapi dengan perangkat penerima serta pemancar gelombang mikro. Peralatan ini berfungsi untuk meneruskan sinyal dari satu titik ke titik lainnya di permukaan bumi dengan memanfaatkan frekuensi gelombang mikro. Secara garis besar, sistem komunikasi satelit terdiri atas dua komponen utama yaitu segmen angkasa atau *space segment* yang mencakup satelit itu sendiri dan segmen bumi atau *ground segment* yang meliputi terminal pengguna stasiun bumi. Ilustrasinya seperti ditunjukkan pada Gambar 1 [5].



Gambar 1. Ilustrasi sistem komunikasi satelit [5].

2.2 Pita Frekuensi Komunikasi Satelit

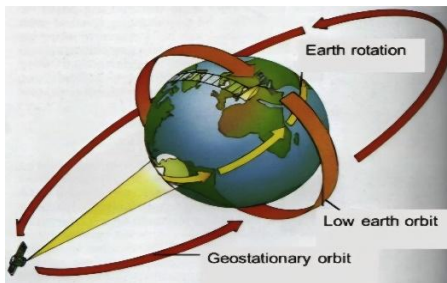
Sistem satelit dapat diklasifikasikan sebagai domestik, regional atau global dimana sistem domestik memberikan layanan terbatas pada wilayah satu negara, sistem regional mencakup dua negara atau lebih dan sistem global memiliki cakupan antar benua sementara setiap sistem tersebut memanfaatkan rentang pita frekuensi tertentu yang disesuaikan dengan kebutuhan operasional dan karakteristik layanan komunikasinya. Maka dari itu satelit memiliki rentang pita frekuensi [3] seperti yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rentang Pita Frekuensi Komunikasi Satelit [6].

Pita Frekuensi	Frekuensi (GHz)	Lebar Pita Total (GHz)
L	1-2	1
S	2-4	2
C	4-8	4
X	8-12	4
Ku	12-18	6
K	18-26	8
Ka	26-40	14

3 Orbital Satelit

Berdasarkan daerah orbit dan wilayah cakupan sinyalnya, satelit dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu *Low Earth Orbit* (LEO), *Medium Earth Orbit* (MEO), dan *Geosynchronous Earth Orbit* (GEO) seperti yang terlihat pada Gambar 2. Satelit LEO yang beroperasi pada ketinggian 500 hingga 1500 km dari permukaan bumi memiliki periode orbit 95 sampai 120 menit sehingga hanya dapat terlihat sekitar sepuluh menit dari suatu titik pengamat namun tetap mampu menyediakan layanan komunikasi suara melalui laju transmisi sekitar 2400 bit per detik karena teknik kompresi yang efisien sedangkan satelit MEO yang ditempatkan pada ketinggian sekitar 10000 km, bergerak dengan periode orbit sekitar enam jam, memerlukan sekitar selusin satelit untuk mencapai cakupan global, serta menawarkan kebutuhan pergantian sambungan atau *handover* yang lebih rendah akibat cakupan yang lebih luas dan dinamika orbit yang lebih lambat; sementara itu, satelit GEO yang berada pada ketinggian sekitar 36000 km menempati orbit geostasioner berbentuk circular sehingga tampak stasioner terhadap permukaan Bumi dan memungkinkan cakupan yang sangat luas hingga hanya tiga satelit diperlukan untuk menyediakan layanan komunikasi bagi hampir seluruh permukaan bumi [7] seperti yang terdapat pada Gambar 2



Gambar 2. Wilayah orbital satelit [6]

3.1 Free Space Loss (FSL)

Redaman ruang bebas bergantung pada frekuensi serta faktor redaman akibat jarak. *Free Space Loss* (FSL) adalah faktor pelemahan sinyal radio yang terjadi selama gelombang merambat di ruang udara antara antena pengirim dan antena penerima. Pada ruang ini tidak boleh ada hambatan karena proses transmisinya bersifat *Line of Sight* (LOS). Faktor lain yang memengaruhi adalah jarak antara satelit dan stasiun bumi. Nilai FSL dapat dihitung menggunakan persamaan 1 [3].

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f \quad (1)$$

dimana :

FSL = *Free Space Loss* atau redaman ruang bebas (dB)

d = jarak antara satelit dan *ground station* (km)

f = frekuensi (GHz)

Apabila jarak antara satelit dan stasiun bumi dinyatakan dalam satuan mil laut yaitu *nautical miles* (*d*) dengan satuannya ialah nm dan frekuensi sinyal (*f*) dinyatakan dalam *megahertz* (MHz). *Nautical mile* adalah satuan pengukuran jarak yang digunakan dalam navigasi laut dan udara. Satuan ini didefinisikan sebagai jarak yang setara dengan satu menit busur pada garis lintang. Satu *nautical mile* setara dengan 1852 meter atau sekitar 1.15078 mil darat. Penggunaan *nautical mile* sangat penting dalam konteks navigasi karena berkaitan langsung dengan sistem koordinat geografis dimana satu derajat lintang dibagi menjadi 60 menit dan setiap menit tersebut mewakili satu *nautical mile* [8] sehingga redaman ruang bebas atau *Free Space Loss* (FSL) pada jarak *nautical mile* dapat dihitung menggunakan persamaan 2 [8].

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log d + 20 \log f \quad (2)$$

dimana :

FSL = *Free Space Loss* atau redaman ruang bebas (dB)

d = jarak satelit dan *ground station* untuk jarak *nautical mile* (nm)

f = frekuensi untuk jarak *nautical mile* (MHz)

3.2 Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)

Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) adalah penjumlahan antara daya pancar pada antena (P_{TX}) dengan *gain* antena dari pemancar (G_{TX}). Besar nilai EIRP dalam dBW dapat dilihat pada persamaan 3 [3].

$$EIRP = P_{TX} + G_{TX} - L_f \quad (3)$$

dimana :

EIRP = *Effective Isotropic Radiated Power* atau daya pancar maksimum (dBW)

P_{TX} = Daya pancar antena (dBW)

G_{TX} = Gain pancar antenna (dB)

L_f = Rugi rugi *feeder* (dB)

3.3 Isotropic Receive Level (IRL)

Isotropic Receive Level (IRL) merupakan tingkat nilai level daya *isotropic* yang diterima oleh stasiun penerima. Nilai IRL dalam satuan dBW ini adalah nilai level daya terima antenna stasiun penerima. Besar nilai IRL didapatkan dari penggunaan persamaan 4 [9].

$$IRL = EIRP + FSL \quad (4)$$

dimana :

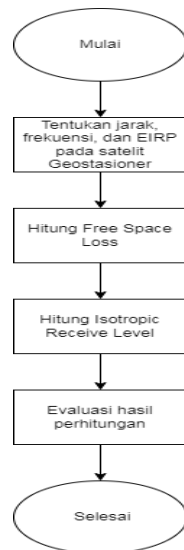
IRL = *Isotropic Receive Level* atau daya terima isotropis (dBW)

EIRP = *Effective Isotropic Radiated Power* atau daya pancar maksimum (dBW)

FSL = *Free Space Loss* atau redaman ruang bebas (dB)

4. Perhitungan *Free Space Loss* dan *Isotropic Receive Level*

Rangkaian langkah perhitungan *Free Space Loss* dan *Isotropic Receive Level* ditunjukkan secara sistematis pada *flowchart* yang disajikan pada Gambar 3. *Flowchart* pada Gambar 3 memberikan gambaran mengenai urutan proses perhitungan yang harus dilakukan



Gambar 3. *Flowchart* perhitungan *free space loss* dan *isotropic receive level*

4.1 Perhitungan *Free Space Loss*

Dalam penelitian ini, *Free Space Loss* (FSL) dihitung dengan menggunakan rentang antara 36000 hingga 41000 km dan diamati hasil perhitungannya melalui perbandingan hasil jika FSL dihitung menggunakan jarak *nautical miles*. Pendekatan ini merupakan langkah penting dalam analisis komunikasi satelit karena jarak antara stasiun pengirim dan stasiun penerima dalam orbit *Geostationer Earth Orbit* (GEO) adalah faktor kunci yang mempengaruhi kualitas dan kehandalan sinyal. Untuk perhitungan *free space loss* dengan pada frekuensi 4,913 GHz menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2

4.1.1 Perhitungan *Free Space Loss* pada jarak satuan kilometer (km)

a. Jarak satelit dan *ground station* di 36000 km

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (36000) + 20 \log (4,913)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 91,12 + 13,82$$

$$FSL_{(dB)} = 197,39 \text{ dB}$$

b. Jarak satelit dan *ground station* di 37000 km

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (37000) + 20 \log (4,913)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 91,36 + 13,82$$

$$FSL_{(dB)} = 197,63 \text{ dB}$$

c. Jarak satelit dan *ground station* di 38000 km

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (38000) + 20 \log (4,913)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 91,59 + 13,82$$

$$FSL_{(dB)} = 197,86 \text{ dB}$$

d. Jarak satelit dan *ground station* di 39000 km

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (39000) + 20 \log (4,913)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 91,82 + 13,82$$

$$FSL_{(dB)} = 198,09 \text{ dB}$$

e. Jarak satelit dan *ground station* di 40000 km

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (40000) + 20 \log (4,913)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 92,04 + 13,82$$

$$FSL_{(dB)} = 198,31 \text{ dB}$$

f. Jarak satelit dan *ground station* di 41000 km

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (41000) + 20 \log (4,913)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 92,25 + 13,82$$

$$FSL_{(dB)} = 198,52 \text{ dB}$$

Tabel 2. Hasil perhitungan *Free Space Loss* pada jarak ketinggian geostasioner dengan frekuensi 4,913 GHz

No	Frekuensi (GHz)	Jarak (km)	FSL (dB)
1	4,913	36000	197,39
2	4,913	37000	197,63
3	4,913	38000	197,86
4	4,913	39000	198,09
5	4,913	40000	198,31
6	4,913	41000	198,52

4.1.2 Perhitungan *Free Space Loss* pada jarak satuan *nautical miles* (nm)

a. Jarak satelit dan *ground station* di 36000 km =19,439 nm

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log (19,439) + 20 \log (4913)$$

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 85,77 + 73,82$$

$$FSL_{(dB)} = 197,39 \text{ dB}$$

b. Jarak satelit dan *ground station* di 37000 km=19,979 nm

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log (19,979) + 20 \log (4913)$$

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 86,08 + 73,82$$

$$FSL_{(dB)} = 197,63 \text{ dB}$$

c. Jarak satelit dan *ground station* di 38000 km =20,519 nm

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log (20,519) + 20 \log (4913)$$

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 86,24 + 73,82$$

$$FSL_{(dB)} = 197,86 \text{ dB}$$

d. Jarak satelit dan *ground station* di 39000 km=21,059 nm

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log (21,059) + 20 \log (4913)$$

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 86,46 + 73,82$$

$$FSL_{(dB)} = 198,08 \text{ dB}$$

e. Jarak satelit dan *ground station* di 40000 km =21,598 nm

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log (21,598) + 20 \log (4913)$$

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 86,68 + 73,82$$

$$FSL_{(dB)} = 198,30 \text{ dB}$$

f. Jarak satelit dan *ground station* di 41000 km =22,138 nm

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 20 \log (22,138) + 20 \log (4913)$$

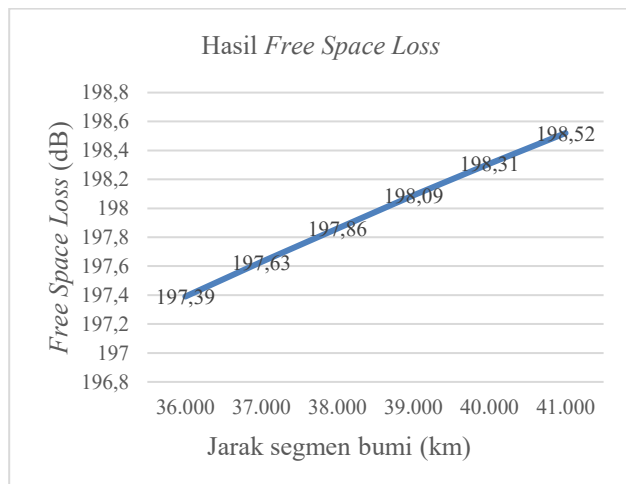
$$FSL_{(dB)} = 37,80 + 86,90 + 73,82$$

$$FSL_{(dB)} = 198,52 \text{ dB}$$

Tabel 3. Hasil perhitungan *Free Space Loss* pada jarak *nautical mile* dengan frekuensi 4913 MHz

No	Frekuensi (MHz)	Jarak (nm)	FSL (dB)
1	4913	19,439	197,39
2	4913	19,979	197,63
3	4913	20,519	197,86
4	4913	21,059	198,08
5	4913	21,598	198,30
6	4913	22,138	198,52

Berdasarkan hasil perhitungan pada satuan kilometer pada Tabel 2. Nilai *Free Space Loss* (FSL) meningkat seiring bertambahnya jarak antara satelit dan stasiun bumi. Pada jarak 36000 km diperoleh FSL sebesar 197,39 dB kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai 198,52 dB pada jarak 41000 km. Kenaikan redaman ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak propagasi sinyal maka semakin besar pula kehilangan daya yang terjadi dan meskipun peningkatannya relatif kecil seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4. Saat perhitungan dilakukan dalam satuan *nautical miles* (nm) pada Tabel 3. Hasil yang diperoleh tetap sama karena satuan ini merupakan bentuk konversi dari jarak kilometer. Nilai FSL pada jarak 19.439 nm adalah 197,39 dB dan meningkat menjadi 198,52 dB pada jarak 22.138 nm. Berdasarkan perolehan hasil perhitungan maka dapat diketahui bahwa perubahan satuan tidak mempengaruhi hasil secara signifikan karena hanya berbeda dalam skala jarak. Secara keseluruhan, jarak dalam satuan km maupun satuan nm dimana semakin jauh jarak antara satelit dan stasiun penerima maka nilai FSL semakin besar. Selain itu, berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 2, setiap kenaikan jarak sebesar 1000 km menghasilkan kenaikan FSL sekitar 0,22 hingga 0,24 dB namun peningkatan tersebut tergolong kecil sehingga tidak terlalu berdampak signifikan terhadap kinerja sistem komunikasi satelit dibandingkan faktor redaman atmosfer dan hujan yang menyebabkan sinyal melemah sebagai redaman tambahan. Selain itu, pada kondisi non ideal lainnya yaitu *pointing loss* karena kesalahan arah antena sehingga kekuatan sinyal terima menurun dan penyesuaian kebutuhan *link margin* untuk kuat daya sinyal terima saat terjadi redaman ruang bebas.



Gambar 4. Perhitungan *Free Space Loss* pada jarak berbeda dengan frekuensi 4913 MHz

4.2 Perbandingan hitung nilai *Free Space Loss* berdasarkan rentang pita frekuensi komunikasi satelit

Dalam penelitian ini juga mengamati perbandingan nilai *Free Space Loss* (FSL) menggunakan jarak 36000 km pada orbit geostasioner dengan pita frekuensi L di 1 GHz, pita frekuensi S di 2 GHz, pita frekuensi C di 4 GHz, pita frekuensi X di 8 GHz, pita frekuensi Ku di 12 GHz, pita frekuensi K di 18 GHz, pita frekuensi Ka di 26 GHz dimana kalkulasi *Free Space Loss* menggunakan persamaan 1 yaitu

- a. Jarak satelit dan *ground station* di 36000 km dan frekuensi L pada 1 GHz

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (36000) + 20 \log (1)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 91,12 + 0$$

$$FSL_{(dB)} = 183,57 \text{ dB}$$

- b. Jarak satelit dan *ground station* di 36000 km dan frekuensi S pada 2 GHz

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (36000) + 20 \log (2)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 91,12 + 6,02$$

$$FSL_{(dB)} = 189,59 \text{ dB}$$

- c. Jarak satelit dan *ground station* di 36000 km dan frekuensi C pada 4 GHz

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (36000) + 20 \log (4)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 91,12 + 12,04$$

$$FSL_{(dB)} = 195,61 \text{ dB}$$

- d. Jarak satelit dan *ground station* di 36000 km dan frekuensi X pada 8 GHz

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (36000) + 20 \log (8)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 91,12 + 18,06$$

$$FSL_{(dB)} = 201,63 \text{ dB}$$

e. Jarak satelit dan *ground station* 36000 km dan frekuensi Ku pada 12 GHz

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (36000) + 20 \log (12)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 91,12 + 21,58$$

$$FSL_{(dB)} = 205,15 \text{ dB}$$

f. Jarak satelit dan *ground station* 36000 km dan frekuensi K pada 18 GHz

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (36000) + 20 \log (18)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 91,12 + 25,10$$

$$FSL_{(dB)} = 208,68 \text{ dB}$$

g. Jarak satelit dan *ground station* 36000 km dan frekuensi Ka pada 26 GHz

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 20 \log (36000) + 20 \log (26)$$

$$FSL_{(dB)} = 92,45 + 91,12 + 28,29$$

$$FSL_{(dB)} = 211,87 \text{ dB}$$

Tabel 4. Hasil perhitungan *Free Space Loss* (FSL) pada jarak ketinggian 36000 km dengan frekuensi L s.d Ka

No	Frekuensi (GHz)	Jarak (km)	FSL (dB)
1	1 (L)	36000	183,57
2	2 (S)	36000	189,59
3	4 (C)	36000	195,61
4	8 (X)	36000	201,63
5	12 (Ku)	36000	205,15
6	18 (K)	36000	208,68
7	26 (Ka)	36000	211,87

Hasil perhitungan perbandingan nilai *Free Space Loss* pada jarak yang sama sebesar 36000 km menggunakan frekuensi berbeda sesuai rentang pita frekuensi komunikasi satelit pada Tabel 4 maka dapat dilihat pada saat penggunaan pita frekuensi L di 1 GHz

diperoleh FSL sebesar 183,57 dB hingga pada pita frekuensi Ka 26 GHz diperoleh FSL sebesar 212,04 dB dan berdasarkan selisih data pada Tabel 4. Rata-rata kenaikan FSL adalah sekitar 4 hingga 6 dB disetiap kenaikan frekuensi 2 sampai 8 GHz. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi menghasilkan kenaikan redaman jauh lebih besar dibanding kenaikan akibat jarak seperti yang terlihat pada Gambar 5



Gambar 5. Perbandingan nilai *Free Space Loss* berdasarkan rentang pita frekuensi komunikasi satelit

4.3 Perhitungan nilai *Isotropic Receive Level* (IRL)

Seperti yang tertera pada persamaan 4 nilai *Isotropic Receive Level* diperoleh dari penjumlahan nilai *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP) dan *Free Space Loss* (FSL). Untuk EIRP sebesar +40 dBW maka perhitungannya IRL diperoleh

a. Jarak antara satelit dan *ground station* di 36000 km dan EIRP 40 dBW maka IRL

$$IRL = EIRP + FSL$$

$$IRL = 40 - 197,39 \text{ dB}$$

$$IRL = -157,39 \text{ dBW}$$

b. Jarak antara satelit dan *ground station* di 37000 km dan EIRP 40 dBW maka IRL

$$IRL = EIRP + FSL$$

$$IRL = 40 - 197,63 \text{ dB}$$

$$\text{IRL} = -157,63 \text{ dBW}$$

c. Jarak antara satelit dan *ground station* di 38000 km dan EIRP 40 dBW maka IRL

$$\text{IRL} = \text{EIRP} + \text{FSL}$$

$$\text{IRL} = 40 - 197,86 \text{ dB}$$

$$\text{IRL} = -157,86 \text{ dBW}$$

d. Jarak antara satelit dan *ground station* di 39000 km dan EIRP 40 dBW maka IRL

$$\text{IRL} = \text{EIRP} + \text{FSL}$$

$$\text{IRL} = 40 - 198,89 \text{ dB}$$

$$\text{IRL} = -158,09 \text{ dBW}$$

e. Jarak antara satelit dan *ground station* di 40000 km dan EIRP 40 dBW maka IRL

$$\text{IRL} = \text{EIRP} + \text{FSL}$$

$$\text{IRL} = 40 - 198,31 \text{ dB}$$

$$\text{IRL} = -158,31 \text{ dBW}$$

f. Jarak antara satelit dan *ground station* di 41000 km dan EIRP 40 dBW maka IRL

$$\text{IRL} = \text{EIRP} + \text{FSL}$$

$$\text{IRL} = 40 - 198,52 \text{ dB}$$

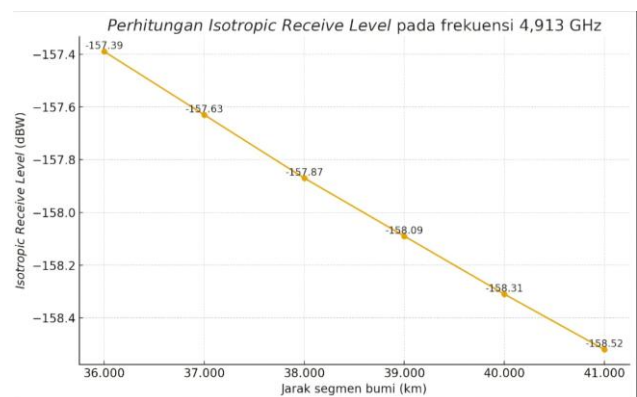
$$\text{IRL} = -158,52 \text{ dBW}$$

Tabel 5. Hasil perhitungan *Isotropic Receive Level* (IRL) pada jarak geostasioner dengan frekuensi 4,913 GHz

No	Frekuensi (GHz)	Jarak (km)	EIRP (dBW)	FSL (dB)	IRL (dBW)
1	4,913	36000	40	197,39	-157,39
2	4,913	37000	40	197,63	-157,63
3	4,913	38000	40	197,86	-157,86
4	4,913	39000	40	198,09	-158,09
5	4,913	40000	40	198,31	-158,31
6	4,913	41000	40	198,52	-158,52

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai *Free Space Loss* (FSL) meningkat seiring dengan bertambahnya jarak antara satelit dan stasiun bumi pada Tabel 5. Yang menyebabkan nilai *Isotropic Receive Level* (IRL) menjadi

semakin kecil. Pada jarak 36000 km, FSL bernilai 197,39 dB dengan IRL sebesar -157,39 dBW sedangkan pada jarak 41000 km FSL meningkat menjadi 198,52 dB dan IRL menurun menjadi -158,52 dBW seperti yang terlihat pada Gambar 6. Kenaikan FSL berbanding lurus dengan penurunan IRL karena daya pancar efektif EIRP dianggap tetap sebesar +40 dBW. Seperti yang terlihat pada Tabel 5. Rata-rata peningkatan FSL adalah sekitar -0,23 dB per 1000 km. Peningkatan FSL ini berdampak pada penurunan IRL dengan besaran yang sama yaitu sekitar -0,23 dB per 1000 km. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antara satelit dan penerima maka semakin besar redaman yang terjadi di ruang bebas sehingga daya sinyal yang diterima semakin lemah.



Gambar 6. Perhitungan nilai *Isotropic Receive Level* pada jarak berbeda dengan frekuensi 4,913 GHz

4.4 Perbandingan hitung nilai *Isotropic Receive Level* (IRL) berdasarkan rentang pita frekuensi komunikasi satelit

Dalam penelitian ini juga mengamati nilai *Isotropic Receive Level* (IRL) menggunakan jarak 36000 km pada orbit geostasioner dengan pita frekuensi L di 1 GHz, pita frekuensi S di 2 GHz, pita frekuensi C di 4 GHz, pita frekuensi X di 8 GHz, pita frekuensi Ku di 12 GHz, pita frekuensi K di 18 GHz, pita frekuensi Ka di 26 GHz yang selanjutnya dihitung menggunakan persamaan 4 dengan nilai EIRP sebesar +40 dBW

a. Jarak antara satelit dan *ground station* di 36000 km dengan frekuensi L 1 GHz dan EIRP 40 dBW maka IRL

$$\text{IRL} = \text{EIRP} + \text{FSL}$$

$$\text{IRL} = 40 - 183,57 \text{ dB}$$

$$\text{IRL} = -143,57 \text{ dBW}$$

b. Jarak antara satelit dan *ground station* di 36000 km dengan frekuensi S 2 GHz menggunakan EIRP 40 dBW maka IRL

$$\text{IRL} = \text{EIRP} + \text{FSL}$$

$$\text{IRL} = 40 - 189,59 \text{ dB}$$

$$\text{IRL} = -149,59 \text{ dBW}$$

c. Jarak antara satelit dan *ground station* di 36000 km dengan frekuensi C 4 GHz dan EIRP 40 dBW maka IRL

$$\text{IRL} = \text{EIRP} + \text{FSL}$$

$$\text{IRL} = 40 - 195,61 \text{ dB}$$

$$\text{IRL} = -155,61 \text{ dBW}$$

d. Jarak antara satelit dan *ground station* di 36000 km dengan frekuensi X 8 GHz dan EIRP 40 dBW maka IRL

$$\text{IRL} = \text{EIRP} + \text{FSL}$$

$$\text{IRL} = 40 - 201,63 \text{ dB}$$

$$\text{IRL} = -161,63 \text{ dBW}$$

e. Jarak antara satelit dan *ground station* di 36000 km dengan frekuensi Ku 12 GHz dan EIRP 40 dBW maka IRL

$$\text{IRL} = \text{EIRP} + \text{FSL}$$

$$\text{IRL} = 40 - 205,15 \text{ dB}$$

$$\text{IRL} = -165,15 \text{ dBW}$$

f. Jarak antara satelit dan *ground station* di 36000 km dengan frekuensi K 18 GHz dan EIRP 40 dBW maka IRL

$$\text{IRL} = \text{EIRP} + \text{FSL}$$

$$\text{IRL} = 40 - 208,68 \text{ dB}$$

$$\text{IRL} = -168,68 \text{ dBW}$$

g. Jarak antara satelit dan *ground station* di 36000 km dengan frekuensi Ka 26 GHz dan EIRP 40 dBW maka IRL

$$\text{IRL} = \text{EIRP} + \text{FSL}$$

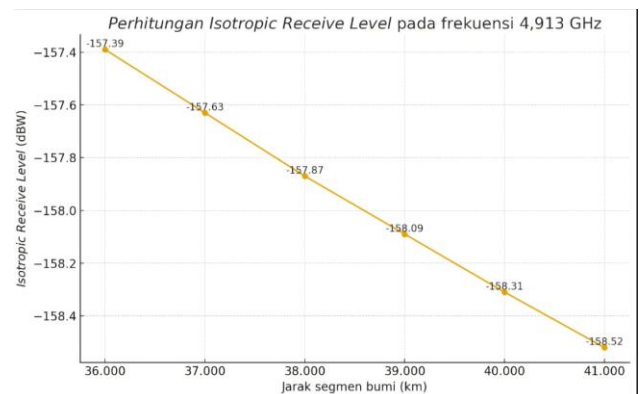
$$\text{IRL} = 40 - 211,87 \text{ dB}$$

$$\text{IRL} = -171,87 \text{ dBW}$$

Tabel 6. Hasil perhitungan *Isotropic Receive Level* pada jarak ketinggian 36000 km dengan frekuensi L s.d Ka

No	Frekuensi (GHz)	Jarak (km)	EIRP (dBW)	FSL (dB)	IRL (dBW)
1	1 (L)	36000	40	183,57	-143,57
2	2 (S)	36000	40	189,59	-149,59
3	4 (C)	36000	40	195,61	-155,61
4	8 (X)	36000	40	201,63	-161,63
5	12 (Ku)	36000	40	205,15	-165,15
6	18 (K)	36000	40	208,68	-168,68
7	26 (Ka)	36000	40	211,87	-171,87

Dari hasil perhitungan yang didapatkan terlihat bahwa pada Tabel 6 ketika semakin tinggi frekuensi dari pita L sebesar 1 GHz ke frekuensi pada pita Ka 26 GHz pada jarak yang sama di 36000 km maka nilai FSL meningkat sehingga nilai IRL menjadi semakin bernilai negatif. Secara garis besar, IRL mengalami penurunan dari 143,57 dBW pada 1 GHz menjadi -171,87 dBW pada 26 GHz seperti yang terdapat pada Gambar 7. Berdasarkan Tabel 6, kenaikan frekuensi menyebabkan kenaikan FSL dan penurunan IRL sebesar 4 hingga 6 dB, hal ini berarti daya yang sampai ke penerima jauh lebih kecil pada pita frekuensi tinggi dibandingkan pita rendah meskipun EIRP pemancar konstan sebesar +40 dBW maka dari itu pada frekuensi tinggi, penerima menerima sinyal lebih lemah dari sinyal yang ditransmisikan pemancar.



Gambar 7. Perbandingan hitung nilai *Isotropic Receive Level* berdasarkan rentang frekuensi komunikasi satelit

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis terhadap 19 pengujian perhitungan *Free Space Loss* dan 13 pengujian perhitungan

Isotropic Receive Level maka diperoleh jarak satelit terhadap *ground station* berada pada jangkauan 36000 km hingga 41000 km dengan rata-rata ketinggian 38500 km. Rentang ketinggian ini masing-masing digunakan untuk menghitung *free space loss*. Pada jarak 36000 hingga 41000 km, kenaikan nilai FSL yang diperoleh relatif kecil sehingga pengaruh jarak terhadap redaman ruang bebas tidak terlalu signifikan. Dari pengujian pada rentang frekuensi 1 GHz sampai dengan 26 GHz, *Free Space Loss* meningkat saat terjadi kenaikan frekuensi pada jarak tetap di 36000 km. Hasil jangkauan *Free Space Loss* yang diperoleh dari pengujian tersebut yaitu 183,57 dB hingga 211,87 dB dengan rata-rata *Free Space Loss* yang terjadi ialah sekitar 199,44 dB. Hal ini berarti bahwa semua kondisi propagasi sinyal menunjukkan adanya redaman ruang bebas pada rentang frekuensi 1 GHz hingga 26 GHz atau pada frekuensi L hingga Ka. Pada pengujian perhitungan *Free Space Loss* pada frekuensi 4,913 GHz menunjukkan peningkatan sekitar 0,21 dB hingga 0,24 dB pada rentang jarak ketinggian satelit dan *ground station* di 36000 km hingga 41000 km dimana jangkauan *Free Space Loss* diperoleh 197,39 dB hingga 198,52 dB. Rata – rata pengujian *Free Space Loss* pada frekuensi 4,913 GHz tersebut yaitu 197,97 dB. Hasil ini menunjukkan terjadi redaman ruang bebas pada setiap kondisi propagasi sinyal. Rata – rata redaman ruang bebas pada rentang frekuensi hingga 26 GHz yang dihasilkan lebih besar daripada rata-rata redaman ruang bebas pada frekuensi tetap 4,913 GHz. Untuk hasil *Isotropic Receive Level* (IRL) yang diperoleh dari perhitungan antara EIRP sebesar 40 dBW dan FSL menunjukkan jangkauan -157,39 dBW hingga -158,52 dBW dengan rata – rata IRL yaitu 157,97 dBW pada frekuensi tetap 4,913 GHz di jarak ketinggian satelit sebesar 36000 km hingga 41000 km. Hasil perhitungan *Isotropic Receive Level* pada rentang pita frekuensi 1 GHz hingga 26 GHz diperoleh jangkauan -143,57 dBW hingga -171,87 dBW dengan rata-rata IRL yaitu -159,43 dBW di jarak ketinggian satelit yang sama sebesar 36000 km meskipun nilai *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP) yang digunakan tetap yaitu 40 dBW. Secara keseluruhan hasil yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi frekuensi yang digunakan menyebabkan semakin besar redaman ruang bebas dan semakin kecil daya sinyal yang diterima atau nilai *Free Space Loss* (FSL) pada sistem komunikasi satelit geostasioner meningkat seiring dengan bertambahnya jarak dan frekuensi operasi. Oleh karena itu, pada komunikasi satelit berfrekuensi tinggi diperlukan peningkatan gain antena, daya pancar, atau penggunaan teknik modulasi dan pengkodean yang lebih efisien agar kualitas sinyal tetap terjaga.

Daftar Pustaka

- [1] B. Galeb, H. Saad, H. Bashar, K. Al-majdi, dan A. Al-Hilali, “Advancements in satellite communication systems: challenges and opportunities,” *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*, vol. 19, No. 5, pp. 25–45, May 2024.
- [2] R. A. Nugraha dan Y. M. Putro, “Perluakah Indonesia memperjuangkan kepentingan atas orbit geostasioner?,” vol. 2692, no. 2692, 2022.
- [3] T. D. Hakim dan R. Mardiana, “Optimalisasi bandwidth transponder 9V satelit merah putih dengan kalkulasi link budget,” *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, Vol. 8, No. 3, pp. 81–88, 2020.
- [4] M. Series, “Vision , requirements and evaluation guidelines for satellite radio interface (s) of IMT-2020,” 2022.
- [5] H. Al-Hraishawi, H. Chougrani, S. Kisseleff, E. Lagunas, dan S. Chatzinotas, “A survey on nongeostationary satellite systems : The communication perspective,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, Vol. 25, No. 1, pp. 101–132, 2023, doi: 10.1109/COMST.2022.3197695.
- [6] H. M. Elkady, H. H. Abdullah, dan S. M. Darwish, “Multiband circularly polarised cubesat antenna operating in S, C, X, Ku, K, and Ka bands,” *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, Vol. 18, No. 2, pp. 82-95, 2024, doi: 10.1049/mia2.12444.
- [7] S. Rani dan S. Malhotra, “Comparative study of LEO, MEO & GEO satellites,” *International Journal of Research (IJR)*, Vol. 1, issue 9, pp. 1181–1186, Oktober 2024.
- [8] N. H, Z. Narang, B. Pane, dan A. K. Radja, “Analisis sistem komunikasi antara stasiun tetap dan kapal laut yang bergerak menggunakan Automatic Identification System (AIS) berbasis kanal Very High Frequency (VHF),” Vol. 7, No. 2, pp. 8–15, 2025.
- [9] A. Fauzi dan M. Arrofiq, “Assesment kekuatan daya Received Signal Level (RSL) wireless 2.4 GHz di ruang meeting,” *Journal of Internet and Software Engineering (JISE)* Vol. 1, No. 1, pp. 10–17, Desember 2020.