

Analisis perbandingan komunikasi satelit Frekuensi C-Band Dan KA-Band Di Indonesia

Tanridio Silviati

Delfina Abdurrahman
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik UMI
Makassar, Indonesia
tanridio@yahoo.com

Salmiah

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik UMI
Makassar, Indonesia
mia_elektro@yahoo.co.id

Saidah Suyuti

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik UMI
Makassar, Indonesia
saidah@ymail.com

Abstract - This paper analyzes the comparison of data communications using GEO satellites between C-band and Ka-band frequencies in Indonesia which has a tropical rain climate. The data communication uses QPSK modulation on the path of four earth stations by paying attention to six variations of observation time. Parameters, C/N, Eb/No and link margins, are applied to indicate the communication performance. This study shows that C-band satellite communication can be implemented for all conditions, whereas in Ka-band the success of communication transfer cannot be accessed by all observation times.

Keywords: frequency, satellite, earth station, margin, availability, modulation.

I. PENDAHULUAN

Komunikasi di era milenial menuntut pertukaran informasi *real time* dengan kecepatan akses yang tinggi termasuk di Indonesia. Indonesia adalah negara tropis dengan tingkat curah hujan tinggi yang juga merupakan negara maritim membutuhkan satelit untuk pertukaran informasi secara cepat. Satelit komersil yang bekerja dipita frekuensi C-band sudah sejak awal melayani jalur komunikasi di Indonesia. Saat ini, banyak negara-negara asing berlomba-lomba meluncurkan satelit Ka-band. Sayangnya, curah hujan yang tinggi menjadi kendala penerapan satelit Ka-band tersebut sehingga diperlukan berbagai persyaratan dalam merancang komunikasi data menggunakan satelit Ka-band [1].

Pelayanan dan performansi komunikasi satelit sangat tergantung erat dengan faktor-faktor jumlah redaman-redaman yang muncul sepanjang jalur komunikasi (lintasan stasiun bumi-satelit-stasiun bumi), besar daya pancar dan penguatan antena, serta pemilihan teknik modulasi. Oleh karena itu paper ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan komunikasi satelit berfrekuensi C-band dan Ka-band di empat wilayah Indonesia dengan mengetahui nilai-nilai C/N, Eb/No, *margin* dan *availability* jalur komunikasi menggunakan modulasi [2].

Penelitian ini menempatkan satelit GEO berfrekuensi C-band dan Ka-band dengan satu stasiun bumi Hub (Jakarta) dan tiga stasiun bumi

lainnya (Medan, Surabaya dan Makassar) dengan menggunakan teknik modulasi digital QPSK.

Orbit satelit terletak di 108°BT dengan pita frekuensi C dan Ka. Satelit tersebut untuk frekuensi C mempunyai EIRP 55,6 dBW dan *figure of merit* 22,7 dBK, sedangkan frekuensi yang lainnya menggunakan EIRP 73,1 dBW dan G/T 19,7 dB/K. Sementara itu, stasiun-stasiun bumi yang ada masing-masing berspesifikasi sesuai tabel di bawah ini:

Tabel 1. EIRP dan G/T stasiun bumi

Stasiun Bumi	Frekuensi C-band		Frekuensi Ka-band	
	EIRP(dBW)	G/T (dB/K)	EIRP(dBW)	G/T (dB/K)
SB HUB	87,7	31	79,3	32,7
SB lainnya	82,4	27	59,8	16,4

Spesifikasi teknis satelit dan stasiun bumi merujuk pada satelit INTELSAT dan proyek WINDS. Jalur komunikasi C-band dan Ka-band secara berturut-turut bekerja pada frekuensi *uplink* 6 GHz dan 28 GHz serta frekuensi *downlink* 4 GHz dan 18GHz [3].

II. REDAMAN JALUR KOMUNIKASI

Redaman-redaman yang muncul pada lintasan komunikasi satelit terdiri atas *free space loss* (FSL), redaman hujan, redaman awan, redaman gas-gas atmosfer dan *scintillation* dilapisan troposfer[3].

a. Redaman Ruang Bebas (FSL)

Redaman ruang bebas merupakan redaman yang dipengaruhi oleh frekuensi kerja dan jarak antara stasiun bumi – satelit. Besar redaman FSL dinyatakan dengan menggunakan persamaan [4]

$$FSL = 92,4 + 20 \log f + 20 \log d$$

Frekuensi menyumbang redaman terbesar pada FSL ini. Komunikasi satelit yang menggunakan pita frekuensi Ka mengalami redaman lebih besar 13 dB dibandingkan frekuensi C-band [2].

Redaman FSL komunikasi satelit C-band dan Ka-band untuk komunikasi keempat stasiun bumi ke satelit terlihat seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Redaman ruang bebas

Stasiun Bumi	Jalur	FSL (dB)	
		C-Band	Ka-Band
Jakarta	Uplink	199,0440	212,4241
	Downlink	195,5222	208,5864
Surabaya	Uplink	199,0533	212,4335
	Downlink	195,5315	208,5958
Medan	Uplink	199,0608	212,4409
	Downlink	195,5390	208,6032
Makassar	Uplink	199,0758	212,4559
	Downlink	195,5540	208,6182

b. Redaman Hujan

Redaman hujan juga menjadi perhatian dalam komunikasi satelit ini karena terjadi pelemahan sinyal yang signifikan. Para peneliti terdahulu telah melakukan banyak kajian tentang redaman hujan yang memberikan beberapa metode untuk memprediksinya [5] [6]. Rekomendasi ITU-R P.618-12 dijadikan landasan perhitungan redaman hujan pada penelitian ini. Redaman-redaman hujan untuk kedua komunikasi satelit berbeda frekuensi dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4 berikut ini.

Tabel 3. Redaman hujan komunikasi satelit C-band

Stasiun Bumi	Jalur	Redaman Hujan Frekuensi C-Band (dB)					
		0.01%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
Jakarta	Uplink	0,8247	0,0898	0,0743	0,0624	0,0529	0,0452
	Downlink	0,1532	0,0124	0,0101	0,0084	0,0071	0,0060
Surabaya	Uplink	0,9156	0,1003	0,0833	0,0702	0,0597	0,0511
	Downlink	0,1556	0,0125	0,0102	0,0085	0,0072	0,0061
Medan	Uplink	1,0691	0,1242	0,1027	0,0861	0,0728	0,0620
	Downlink	0,1830	0,0156	0,0127	0,0105	0,0088	0,0074
Makassar	Uplink	0,9277	0,1034	0,0857	0,0720	0,0610	0,0521
	Downlink	0,1581	0,0129	0,0105	0,0088	0,0073	0,0062

Tabel 4. Redaman hujan komunikasi satelit Ka-band

Stasiun Bumi	Jalur	Redaman Hujan Frekuensi Ka-Band (dB)					
		0.01%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
Jakarta	Uplink	23,0157	4,5013	3,8313	3,2914	2,8466	2,4744
	Downlink	11,7990	2,0515	1,7366	1,4850	1,2792	1,1080
Surabaya	Uplink	26,3392	5,2137	4,4510	3,8357	3,3280	2,9022
	Downlink	13,3387	2,3423	1,9885	1,7055	1,4737	1,2806
Medan	Uplink	30,0741	6,2852	5,3446	4,5836	3,9550	3,4283
	Downlink	15,2157	2,8205	2,3850	2,0358	1,7494	1,5110
Makassar	Uplink	26,7552	5,3913	4,5919	3,9465	3,4140	2,9677
	Downlink	13,4995	2,4116	2,0425	1,7471	1,5052	1,3037

c. Redaman Lainnya

Redaman-redaman lainnya berupa redaman yang timbul karena faktor pekatnya awan, gas-gas yang ada dilapisan atmosfer dan *scintillation* yang terdapat di troposfer. Redaman awan diperoleh dengan mengikuti rekomendasi ITU-R P. 860-6. Sementara itu, besaran redaman atmosfer sebagian besar timbul karena redaman gas oksigen dan uap air yang diperoleh dengan mengikuti rekomendasi-rekomendasi ITU-R P. 835-5 dan ITU-R P. 676-7. Gabungan rekomendasi-rekomendasi ITU-R P. 835-

5, ITU-R 453 dan ITU R P. 618-12 menjadi rujukan untuk mengetahui redaman *scintillation*. Redaman-redaman ini dapat dilihat pada kedua tabel berikut ini.

Tabel 5 Gabungan redaman awan, atmosfer dan *scintillation* untuk komunikasi satelit C-band

Stasiun Bumi	Jalur	Redaman Lainnya Frekuensi C-Band (dB)					
		0.01%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
Jakarta	Uplink	0,1228	0,0777	0,0760	0,0745	0,0733	0,0722
	Downlink	0,1037	0,0594	0,0577	0,0563	0,0551	0,0540
Surabaya	Uplink	0,3394	0,1838	0,1779	0,1730	0,1687	0,1650
	Downlink	0,2521	0,1321	0,1275	0,1237	0,1204	0,1175
Medan	Uplink	0,3413	0,1847	0,1787	0,1737	0,1695	0,1657
	Downlink	0,2536	0,1327	0,1281	0,1242	0,1209	0,1180
Makassar	Uplink	0,3464	0,1876	0,1815	0,1765	0,1722	0,1683
	Downlink	0,2574	0,1348	0,1301	0,1262	0,1229	0,1200

Tabel 6 Gabungan redaman awan, atmosfer dan *scintillation* untuk komunikasi satelit Ka-band

Stasiun Bumi	Jalur	Redaman Lainnya Frekuensi Ka-Band (dB)					
		0.01%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
Jakarta	Uplink	0,2328	0,1315	0,1277	0,1244	0,1217	0,1193
	Downlink	0,2135	0,1131	0,1093	0,1061	0,1033	0,1009
Surabaya	Uplink	0,8013	0,4100	0,3951	0,3827	0,3720	0,3626
	Downlink	0,5909	0,2979	0,2868	0,2775	0,2695	0,2625
Medan	Uplink	0,8064	0,4123	0,3974	0,3849	0,3741	0,3646
	Downlink	0,5946	0,2996	0,2885	0,2791	0,2710	0,2639
Makassar	Uplink	0,8179	0,4184	0,4032	0,3906	0,3796	0,3701
	Downlink	0,6033	0,3041	0,2928	0,2833	0,2751	0,2680

III. LINK BUDGET

Parameter-parameter EIRP, frekuensi kerja, redaman-redaman, *figure of merit* dan konstanta Boltzman dibutuhkan untuk menilai *link budget* (C/No) jalur komunikasi dari stasiun bumi ke satelit dan dari satelit ke stasiun bumi. Serangkaian publikasi untuk menganalisis performansi *link budget* pada komunikasi satelit telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu [7], [8] [9]. Persamaan-persamaan berikut ini digunakan untuk mengetahui besarnya *link budget* pada komunikasi satelit.

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = EIRP_{SB} - FSL_u - (redaman) + \left(\frac{G}{T}\right)_{Sat} - k$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = EIRP_{Sat} - FSL_d - (redaman) + \left(\frac{G}{T}\right)_{SB} - k$$

$$\frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_{tot}} = \frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_u} + \frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_d}$$

$$\text{dan } \left(\frac{C}{N}\right) = \left(\frac{C}{N_0}\right) - 10 \log BW$$

Tabel-tabel 7, 8, 9 dan 10 menampilkan nilai *link budget* untuk arah *uplink* dan *downlink* dan total dari komunikasi satelit berpita frekuensi C dan Ka.

Tabel 7. Link budget untuk uplink dan downlink komunikasi C-band

Stasiun Bumi	Jalur	(C/N ₀) _{total} Frekuensi C-Band					
		99.99%	99.5%	99.4%	99.3%	99.2%	99.1%
Jakarta	Uplink	138,27	139,43	139,46	139,48	139,50	139,52
	Downlink	118,93	119,37	119,38	119,39	119,40	119,41
Surabaya	Uplink	133,39	134,36	134,39	134,40	134,42	134,43
	Downlink	115,26	115,52	115,53	115,54	115,54	115,54
Medan	Uplink	133,23	134,33	134,36	134,38	134,40	134,41
	Downlink	115,22	115,51	115,52	115,53	115,53	115,54
Makassar	Uplink	133,35	134,33	134,36	134,38	134,39	134,40
	Downlink	115,23	115,50	115,51	115,51	115,52	115,52

Tabel 8. Link budget untuk uplink dan downlink komunikasi Ka-band

Stasiun Bumi	Jalur	(C/N ₀) _{total} Frekuensi Ka-Band					
		99.99%	99.5%	99.4%	99.3%	99.2%	99.1%
Jakarta	Uplink	88,78	108,37	109,08	109,65	110,13	110,53
	Downlink	112,28	122,76	123,10	123,38	123,61	123,79
Surabaya	Uplink	67,28	88,80	89,58	90,21	90,72	91,16
	Downlink	95,30	106,59	106,95	107,24	107,48	107,68
Medan	Uplink	63,54	87,72	88,68	89,45	90,09	90,63
	Downlink	93,41	106,10	106,55	106,91	107,20	107,45
Makassar	Uplink	66,82	88,58	89,39	90,05	90,60	91,05
	Downlink	95,10	106,48	106,86	107,17	107,42	107,63

Tabel 9. C/N₀ total untuk komunikasi C-band

Jalur Komunikasi		(C/N ₀) _{total} Frekuensi C-Band					
Sumber	Tujuan	99.99%	99.5%	99.4%	99.3%	99.2%	99.1%
Jakarta	Surabaya	115,24	115,51	115,51	115,52	115,52	115,53
	Medan	115,21	115,50	115,50	115,51	115,52	115,52
	Makassar	115,21	115,48	115,49	115,49	115,50	115,50
Surabaya	Jakarta	119,25	119,46	119,47	119,47	119,47	119,48
	Medan	115,16	115,46	115,46	115,47	115,48	115,48
	Makassar	115,16	115,44	115,45	115,46	115,46	115,46
Medan	Jakarta	119,24	119,46	119,47	119,47	119,47	119,48
	Surabaya	115,19	115,47	115,47	115,48	115,48	115,49
	Makassar	115,16	115,44	115,45	115,46	115,46	115,46
Makassar	Jakarta	119,25	119,46	119,47	119,47	119,47	119,48
	Surabaya	115,19	115,47	115,47	115,48	115,48	115,49
	Medan	115,16	115,46	115,46	115,47	115,48	115,48

Tabel 10. C/N₀ total untuk komunikasi Ka-band

Jalur Komunikasi		(C/N ₀) _{total} Frekuensi Ka-Band (dB)					
Sumber	Tujuan	99.99%	99.5%	99.4%	99.3%	99.2%	99.1%
Jakarta	Surabaya	89,40	104,73	105,20	105,57	105,87	106,13
	Medan	88,83	104,40	104,92	105,34	105,68	105,96
	Makassar	89,35	104,66	105,14	105,52	105,83	106,09
Surabaya	Jakarta	67,28	88,80	89,58	90,20	90,72	91,16
	Medan	67,27	88,72	89,49	90,11	90,63	91,06
	Makassar	67,28	88,73	89,50	90,12	90,63	91,06
Medan	Jakarta	63,54	87,72	88,68	89,45	90,09	90,63
	Surabaya	63,54	87,67	88,61	89,38	90,01	90,54
	Makassar	63,54	87,66	88,61	89,38	90,01	90,54
Makassar	Jakarta	66,82	88,58	89,39	90,05	90,59	91,05
	Surabaya	66,81	88,51	89,32	89,97	90,51	90,96
	Medan	66,81	88,50	89,31	89,96	90,50	90,95

IV. HASIL ANALISIS

Analisis performansi lintasan komunikasi satelit bergantung pada beberapa parameter antara lain Eb/No dan margin rute komunikasi. Variabel-variabel tersebut sangat erat kaitannya dengan teknik modulasi yang dipergunakan.

Untuk mengetahui nilai Eb/No diperoleh dengan menggunakan persamaan-persamaan di bawah ini

$$BW_{occ} = \frac{R_s}{FEC} (1 + \alpha)$$

$$R_s = \frac{(R_b + overhead)}{n}$$

$$\text{dan } \frac{E_b}{N_o} = \frac{C}{N_o} - 10 \log(R_b)$$

Jumlah bit n untuk modulasi-modulasi QPSK adalah 2.

Nilai Eb/No berdasarkan modulasi QPSK untuk kedua sistem komunikasi satelit berfrekuensi C dan Ka diperlihatkan oleh tabel-tabel berikut ini.

Tabel 11. Eb/No QPSK untuk C-band

Jalur Komunikasi		Eb/No modulasi QPSK pada Frekuensi C-Band (dB)					
Asal	Tujuan	99.99%	99.5%	99.4%	99.3%	99.2%	99.1%
Jakarta	Surabaya	38,933	39,198	39,205	39,211	39,215	39,219
	Medan	38,897	39,187	39,195	39,201	39,206	39,210
	Makassar	38,903	39,173	39,180	39,186	39,190	39,194
Surabaya	Jakarta	42,941	43,154	43,158	43,162	43,165	43,167
	Medan	38,849	39,147	39,155	39,161	39,166	39,171
	Makassar	38,855	39,133	39,140	39,146	39,151	39,155
Medan	Jakarta	42,935	43,153	43,158	43,161	43,164	43,167
	Surabaya	38,883	39,158	39,165	39,171	39,175	39,180
	Makassar	38,853	39,132	39,140	39,146	39,151	39,155
Makassar	Jakarta	42,939	43,153	43,158	43,161	43,164	43,167
	Surabaya	38,884	39,158	39,165	39,171	39,175	39,179
	Medan	38,849	39,147	39,155	39,161	39,166	39,170

Besaran nilai Eb/No bermodulasi QPSK pada komunikasi satelit berfrekuensi C-band memperlihatkan semua lintasan availability di atas Eb/No yang diinginkan yaitu 12 dB. Sedangkan komunikasi bersatelit Ka-band tidak demikian.

Tabel 12. Eb/No QPSK untuk Ka-band

Jalur Komunikasi		Eb/No modulasi QPSK pada Frekuensi Ka-Band (dB)					
Asal	Tujuan	99.99%	99.5%	99.4%	99.3%	99.2%	99.1%
Jakarta	Surabaya	13,089	28,416	28,886	29,260	29,565	29,819
	Medan	12,521	28,094	28,613	29,028	29,369	29,652
	Makassar	13,036	28,348	28,827	29,209	29,520	29,779
Surabaya	Jakarta	-9,026	12,490	13,267	13,895	14,413	14,848
	Medan	-9,036	12,411	13,183	13,805	14,318	14,749
	Makassar	-9,033	12,418	13,189	13,810	14,323	14,753
Medan	Jakarta	-12,770	11,411	12,367	13,140	13,779	14,315
	Surabaya	-12,773	11,356	12,304	13,070	13,703	14,232
	Makassar	-12,773	11,355	12,303	13,069	13,701	14,231
Makassar	Jakarta	-9,493	12,269	13,084	13,742	14,285	14,741
	Surabaya	-9,499	12,202	13,010	13,661	14,199	14,649
	Medan	-9,502	12,194	13,002	13,655	14,193	14,644

Selanjutnya, nilai margin pada jalur komunikasi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini

$$\text{Margin} = \left(\frac{C}{N}\right)_{total} - \left(\frac{C}{N}\right)_{required}$$

$$\text{dengan } \left(\frac{C}{N}\right)_{total} = \left(\frac{C}{N_o}\right)_{total} - 73,5835$$

sedangkan (C/N)_{required} diklasifikasikan berdasarkan teknik modulasi digitalnya.

Tabel 13. Margin lintasan QPSK frekuensi C-band

Jalur Komunikasi		Margin modulasi QPSK pada Frekuensi C-Band (dB)					
Asal	Tujuan	99.99%	99.5%	99.4%	99.3%	99.2%	99.1%
Jakarta	Surabaya	26,933	27,198	27,205	27,211	27,215	27,219
	Medan	26,897	27,187	27,195	27,201	27,206	27,210
	Makassar	26,903	27,173	27,180	27,186	27,190	27,194
Surabaya	Jakarta	30,941	31,154	31,158	31,162	31,165	31,167
	Medan	26,849	27,147	27,155	27,161	27,166	27,171
	Makassar	26,855	27,133	27,140	27,146	27,151	27,155
Medan	Jakarta	30,935	31,153	31,158	31,161	31,164	31,167
	Surabaya	26,883	27,158	27,165	27,171	27,175	27,180
	Makassar	26,853	27,132	27,140	27,146	27,151	27,155
Makassar	Jakarta	30,939	31,153	31,158	31,161	31,164	31,167
	Surabaya	26,884	27,158	27,165	27,171	27,175	27,179
	Medan	26,849	27,147	27,155	27,161	27,166	27,170

Lintasan *margin* untuk sistem komunikasi satelit yang bekerja pada frekuensi *C-band* dengan mengimplementasikan QPSK, 8PSK, dan 16QAM dapat diterapkan pada keenam *availability* 99,1%, 99,2%, 99,3%, 99,4%, 99,5%, dan 99,99%. Terlihat bahwa semua kemungkinan komunikasi menggunakan frekuensi ini memberikan *margin* yang sangat baik di atas 26 dB.

Sementara itu, komunikasi satelit menggunakan pita frekuensi Ka tidak semua jalur komunikasinya memiliki *margin*. *Margin* untuk lintasan yang aman berkomunikasi pada sistem komunikasi ini adalah informasi yang melalui stasiun Hub Jakarta. *Margin* tersebut berada di atas 16 dB untuk pengamatan selain dari 0,01%.

Tabel 14. *Margin* lintasan QPSK frekuensi Ka-band

Jalur Komunikasi		Margin modulasi QPSK pada Frekuensi Ka-Band (dB)					
Asal	Tujuan	99.99%	99.5%	99.4%	99.3%	99.2%	99.1%
Jakarta	Surabaya	1,089	16,416	16,886	17,260	17,565	17,819
	Medan	0,521	16,094	16,613	17,028	17,369	17,652
	Makassar	1,036	16,348	16,827	17,209	17,520	17,779
Surabaya	Jakarta	-21,026	0,490	1,267	1,895	2,413	2,848
	Medan	-21,036	0,411	1,183	1,805	2,318	2,749
	Makassar	-21,033	0,418	1,189	1,810	2,323	2,753
Medan	Jakarta	-24,770	-0,589	0,367	1,140	1,779	2,315
	Surabaya	-24,773	-0,644	0,304	1,070	1,703	2,232
	Makassar	-24,773	-0,645	0,303	1,069	1,701	2,231
Makassar	Jakarta	-21,493	0,269	1,084	1,742	2,285	2,741
	Surabaya	-21,499	0,202	1,010	1,661	2,199	2,649
	Medan	-21,502	0,194	1,002	1,655	2,193	2,644

IV. KESIMPULAN

Komunikasi satelit *C-band* untuk ketiga teknik modulasi terbukti handal dalam melayani komunikasi di keempat wilayah Indonesia yaitu Jakarta, Medan, Surabaya dan Makassar untuk semua waktu pengamatan. Sementara itu, komunikasi satelit Ka-band tetap aman diterapkan di wilayah-wiyayah tersebut untuk komunikasi yang melalui stasiun Hub Jakarta pada *availability* 99,1% - 99,5%. Pengembangan penelitian ini dapat dilakukan dengan meninjau penempatan satelit di orbit tertentu dan persen waktu pengamatan yang lainnya serta memperhatikan diversitas stasiun bumi berjarak tertentu pada suatu wilayah untuk mengantisipasi curah hujan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. Atayero, "Satellite link design: A tutorial," *Int. J. Electr. Comput. Sci. IJECS-IJENS*, vol. 11, no. 4, 2011.
- [2] Z. B. Hasanuddin, "Design of Ka-band Satellite Links in Indonesia," *J. Electr. Comput. Energ. Electron. Commun. Eng.*, vol. 8, no. 8, 2014.
- [3] M. M. J. L. van de Kamp, J. K. Tervonen, E. T. Salonen, and J. P. V. P. Baptista, "Improved models for long-term prediction of tropospheric scintillation on slant paths," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 47, no. 2, pp. 249–260, 1999.
- [4] R. L. Freeman, *Radio system design for telecommunications*, vol. 98. John Wiley & Sons, 2006.
- [5] J. S. Ojo, M. O. Ajewole, and S. K. Sarkar, "Rain rate and rain attenuation prediction for satellite communication in Ku and Ka bands over Nigeria.," *Prog. Electromagn. Res.*, vol. 5, pp. 207–223, 2008.
- [6] J. Christensen, "ITU regulations for ka-band satellite networks," in *30th AIAA International Communications Satellite System Conference (ICSSC)*, 2012, p. 15179.
- [7] A. K. Kundu, M. T. H. Khan, W. Sharmin, M. O. Goni, and K. A. Barket, "Designing a mobile satellite communication Antenna and Link Budget Optimization," in *2013 International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)*, 2014, pp. 1–6.
- [8] Y. Tepetam, "Analysis of Turkish communications sector and determination of critical success factors," *NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA*, 2014.
- [9] P. Series, "Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems," *Recomm. ITU-R*, pp. 612–618, 2015.