

Analisa Penggunaan V-Band Pada *High Throughput Satellite* Di Indonesia

Analysis Of V-Band On High Throughput Satellite In Indonesia

1st Muhammad Aulia Aditya Harianto
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
mhmaditya@student.telkomuniversity.a
c.id

2nd Heroe Wijanto
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
heroe@telkomuniversity.ac.id

3rd Muhammad Irfan Maulana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
muhammadirfanm@telkomuniversity.a
c.id

Abstrak— *High Throughput Satellite (HTS)* merupakan sistem komunikasi satelit yang dapat menghasilkan multi-spot beam. Multi-spot beam ini berbeda dengan beam yang dihasilkan oleh satelit konvensional yang hanya menghasilkan satu beam berukuran luas. HTS menerapkan *frequency reuse* untuk menghasilkan *multi-spot beam*, sehingga kapasitas *throughput* yang dihasilkan pun sangat besar. Kapasitas *throughput* yang besar inilah yang menjadi keunggulan dari satelit HTS. Pada Tugas Akhir ini menganalisis penggunaan frekuensi V-Band pada *High Throughput Satellite* di Indonesia. Penggunaan V-Band pada Tugas Akhir ini menjadi pertimbangan utama untuk menghasilkan kapasitas *throughput* yang besar dan menggunakan *frequency reuse* semaksimal mungkin untuk menghasilkan jumlah multi-spot beam yang memadai. Pada Tugas Akhir ini membandingkan tiga skenario penerapan V-Band pada HTS yaitu; skenario 4C2F2P (*four channels, two frequencies, two polarization*) dengan bandwidth 500 MHz, skenario 3C3F1P (*three channels, three frequencies, one polarization*) dengan bandwidth 300 MHz, dan skenario 6C3F2P (*six channels, three frequencies, two polarization*) dengan bandwidth 300 MHz.

Kata kunci— high throughput satellite, multi-spot beam, V-Band, throughput, frequency reuse

Abstract— *High Throughput Satellite (HTS)* is a satellite communication system that can produce multi-spot beams. This multi-spot beams are different from the other beam generated by conventional satellites that only produce one wide beam. HTS applies frequency reuse to produce a multi-spot beam, resulting an enormous throughput capacity. This enormous throughput capacity is the advantage of the HTS satellite. This final project analyzes the use of V-Band frequency on *High Throughput Satellite* in Indonesia. The use of V-Band in this Final Project is the main consideration to produce a large throughput capacity and use frequency reuse as much as possible to produce an adequate number of multi-spot beams. This final project compares three V-Band HTS scenarios, scenario 4C2F2P (*four channels, two frequencies, two polarizations*) with a bandwidth of 500 MHz, scenario 3C3F1P (*three channels, three frequencies, one polarization*) with a bandwidth of 300 MHz, and scenario 6C3F2P (*six channels, three frequencies, two polarizations*) with a bandwidth of 300 MHz.

Keyword— high throughput satellite, multi-spot beam, V-Band, throughput, frequency reuse

I. PENDAHULUAN

Komunikasi satelit mempunyai kemampuan yang unik dalam menyediakan penyebaran sistem komunikasi secara luas dalam bidang geografis, keunggulan dalam efektifitas biaya untuk penyebaran ketersediaan komunikasi di beberapa area terisolasi, yang mana jaringan komunikasi terestrial sangat mahal untuk diluncurkan. Pada teknologi sebelumnya, komunikasi satelit banyak digunakan untuk sistem penyiaran, navigasi, dan remote sensing. Namun pada saat ini, komunikasi satelit mulai menyediakan ketersediaan broadband, dan menciptakan teknologi sistem seluler (seperti 5G) untuk menyediakan ketersediaan seluler di seluruh dunia [1].

Sistem High Throughput-Satellite (HTS) memiliki sistem yang berbeda dengan sistem satelit moonbeam, yang mana HTS mengandalkan arsitektur satelit multibeam yang mampu melayani terminal pengguna dalam jumlah yang cukup besar. HTS Ka-Band yang saat ini sedang beroperasi, seperti KA-SAT[2]. Mencakupi Eropa dengan 82 spotbeam, Wildblue-1[3] mencakupi sebagian wilayah Amerika dengan 66 spotbeam dan Sky Muster[4] milik Australia yang mencakupi sebagian wilayahnya dengan 101 spotbeam dengan kecepatan data melebihi 100 Gigabit/detik[5].

Saat ini frekuensi Ku-band (12–18 GHz) dominan digunakan, sementara di beberapa daerah frekuensi Ka-band (26–40 GHz) digunakan. Ka dan Ku-band dapat memberikan kecepatan data puncak hingga 50 Mbps, menjawab permintaan kapan dan di mana diperlukan. Dalam beberapa tahun terakhir, penyedia layanan telah menganjurkan jaringan HTS untuk mengakomodasi kecepatan Terabit. Memajukan link feeder dari Ka dan Ku-band yang ada ke Q dan V-band akan menghasilkan peningkatan kapasitas jaringan secara keseluruhan dan mengurangi jumlah gateway aktif pada saat yang bersamaan[6].

Penggunaan satelit adalah infrastruktur komunikasi yang vital dalam perkembangan teknologi dalam negara kepulauan seperti Indonesia[7]. Kebutuhan pelayanan broadband melalui satelit di Indonesia semakin berkembang dari tahun ke tahun. Hal ini disebabkan karena kebutuhan penggunaan satelit tidak hanya berfokus pada perkotaan yang padat sebagai target untuk pengguna teknologi terbesar, namun juga daerah yang masih belum terjangkau oleh pelayanan komunikasi[8, 9, 10]. Dengan ini, Indonesia membutuhkan ketersediaan pelayanan broadband yang cukup banyak untuk memenuhi kebutuhan komunikasi. Namun, hal ini akan menjadi cukup sulit dan membutuhkan waktu yang cukup lama mengingat distribusi jaringan di Indonesia masih belum seimbang[11].

Komunikasi satelit menjadi solusi alternatif terbaik untuk mencukupi kebutuhan akses data di seluruh bagian Indonesia. Maka dengan itu, teknologi HTS merupakan salah satu cara yang sangat memungkinkan untuk bisa menyelesaikan permasalahan jaringan

komunikasi di Indonesia. Penggunaan frekuensi tinggi tentu menghasilkan redaman yang tinggi juga dalam propagasi sinyal antara segmentasi darat dan segmentasi luar angkasa[12]. Beberapa studi tentang Ka-Band satelit untuk Indonesia mulai banyak diadakan, namun hasil penelitian tidak banyak membahas tentang keterkaitan link budget dengan kapasitas analisis sebagai aspek yang paling penting dalam HTS.

Pada penelitian ini dilakukan penelitian untuk penggunaan frekuensi V-Band pada High Throughput Satellite. Dalam penelitian ini berfokus pada hasil kapasitas throughput satelit yang dihasilkan oleh beberapa skenario yang sudah ditentukan. Perhitungan pendukung dalam penelitian ini adalah perhitungan link budget dan jumlah footprint yang dihasilkan oleh sistem HTS.

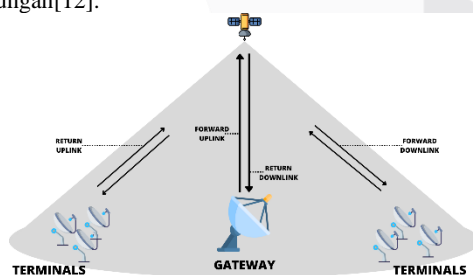
II. KAJIAN TEORI

A. Sistem Komunikasi Satelit

Sistem komunikasi satelit adalah salah satu cara untuk memberikan ataupun mendistribusikan informasi menggunakan suatu perangkat satelit sebagai media yang digunakan untuk menyampaikan informasi tersebut. Prinsip kerja dari sistem komunikasi satelit adalah menggunakan satelit sebagai media transmisi untuk menghubungkan stasiun bumi yang spesifik dengan stasiun bumi di berbagai lokasi lainnya. Sistem komunikasi satelit terdiri dari dua buah bagian utama, yaitu: Stasiun Bumi dan Stasiun Angkasa[12]. Stasiun bumi terdiri dari:

1. **Stasiun Utama (Master Station)**, yang memiliki fungsi untuk tracking, telemetry, and command (TT&C), dan menghubungkan pusat data atau jaringan utama dari penyedia-nya.
2. **Stasiun Cadangan (Backup Station)**, yang memiliki fungsi untuk menjadi cadangan dari stasiun utama. Skema dari stasiun cadangan ini bergantung pada konfigurasi dari operator.
3. **Remot (The Remote)**, berfungsi sebagai terminal yang menerima layanan untuk pengguna dari layanan satelit. Remot menggunakan VSAT sebagai media untuk berkomunikasi dengan satelit bagi pengguna.

Sistem komunikasi satelit dalam memberikan pelayanannya menggunakan empat link komunikasi untuk terhubung dengan stasiun bumi. Keempat link komunikasi ini digunakan juga untuk menggabungkan stasiun bumi dengan stasiun angkasa untuk bisa saling berhubungan[12].



GAMBAR 1 Skema Penggabungan Sistem Komunikasi Satelit

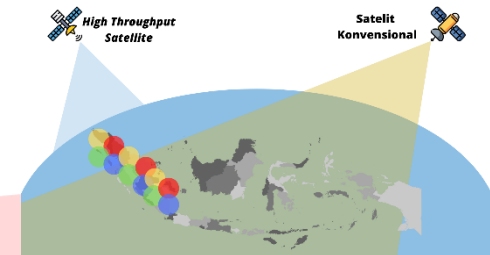
Masing-masing link mempunyai fungsi yang berbeda dengan yang lainnya. Berikut penjelasan dari masing-masing link komunikasi dalam sistem komunikasi satelit.

1. **Forward uplink**, menghubungkan stasiun utama dengan satelit untuk mengunggah data dari stasiun utama.
2. **Forward downlink**, menghubungkan satelit dengan remot VSAT, yang berguna sebagai downlink untuk pengguna.
3. **Return uplink**, menghubungkan remot pengguna dengan satelit.

4. **Return downlink**, menghubungkan satelit dengan stasiun utama untuk mengunduh informasi ke pusat data dalam koneksi stasiun utama.

B. High Throughput Satellite

High Throughput Satellite (HTS) memiliki keunggulan dibandingkan dengan satelit konvensional, yang mana dapat mengelola pertukaran antara cakupan dan kapasitas. Kedua aspek ini saling kontradiksi dalam tantangan komunikasi nirkabel, namun dengan HTS tantangan ini dapat diminimalisir dengan baik[12].

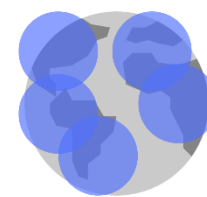


GAMBAR 2 Perbedaan Cakupan Satelit Konvensional dengan HTS

Satelit konvensional menghasilkan arah sorotan lebih luas[13]. Sementara HTS menghasilkan sorotan lebih sempit dibandingkan dengan satelit konvensional, namun dapat menghasilkan beberapa spot beam. Hal yang mengakibatkan HTS memiliki sorotan yang lebih sempit karena HTS diarahkan untuk memiliki frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan satelit konvensional[14]. Penggunaan frekuensi tinggi mengakibatkan redaman satelit ketika hujan juga semakin tinggi. Untuk meminimalisir redaman yang terjadi adalah dengan cara meningkatkan daya kirim pada satelit untuk mendapatkan penguatan yang lebih tinggi. Penggunaan penguatan tinggi pun menghasilkan arah sorotan menjadi lebih sempit[15].

1. Multi Spot Beam

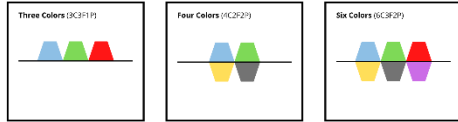
Salah satu fitur yang terdapat dalam sistem komunikasi HTS adalah sorotan yang dihasilkan oleh *payload* dari satelit sangatlah kecil. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan throughput dari sistem komunikasi satelit[15]. Namun, tingginya kapasitas throughput dapat mengakibatkan arah sorotan dari sistem HTS menjadi lebih sempit dibandingkan satelit konvensional. Dengan demikian, konsep multi-spot beam muncul untuk membuat jumlah sorotan yang sempit dengan jumlah yang banyak sehingga satelit HTS tetap bisa memberikan layanan dengan jumlah cakupan yang sama dengan satelit konvensional[16].



GAMBAR 3 Multi-Spot Beam

2. Frequency Reuse

Penerapan frequency reuse digunakan untuk mengatasi cakupan area yang sempit sehingga sorotan dapat kembali digunakan lebih dari satu kali untuk di beberapa tempat lainnya yang memiliki jarak tidak berjauhan dengan sorotan yang mirip[17]. Konsep dari frequency reuse dalam teknologi HTS dapat dilakukan dengan beberapa metode.



GAMBAR 4 Skema Penggunaan *Frequency Reuse* dalam HTS

III. METODE

A. Link Budget

Link Budget adalah pendekatan manajemen daya dari semua sistem komunikasi, dimulai dari blok pengirim. Link Budget juga dapat diterima oleh blok diagram penerima untuk membantu pembentukan kanal komunikasi. Dalam sistem komunikasi satelit, link budget dibuat pada uplink maupun downlink, yang diwakili dalam C/No, perhitungan link budget pada satelit dimodelkan seperti pada persamaan berikut.

$$C/N_o = EIRP - FSL + \frac{G_r}{T} - k \quad (1)$$

Yang mana, EIRP merupakan *effective isotropic radiated power*, FSL merupakan redaman ruang bebas, $\frac{G_r}{T}$ merupakan *figure of merit* dan k merupakan konstanta boltzman.

B. Signal to Noise Ratio (S/N)

Signal to noise ratio atau umum dikenal sebagai S/N atau SNR, merupakan pengukuran yang membandingkan level sinyal yang diinginkan dengan level noise. Untuk menghitung nilai S/N dapat menggunakan persamaan berikut.

$$S/N = \frac{EIRP}{FSL} \times \frac{G_r}{T} \quad (2)$$

Dengan EIRP merupakan *effective isotropic radiated power*, G_r/T adalah *figure of merit* dan FSL adalah redaman udara bebas.

C. Analisa Kapasitas

Perhitungan kapasitas untuk suatu satelit dapat dihitung berdasarkan teori. Berdasarkan teori, perhitungan kapasitas dapat dihitung dengan *Shannon Capacity Theorem*. Kanal komunikasi yang digunakan untuk perhitungan ini diasumsikan berada dalam kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). Model dari persamaan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

$$C = B \times \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (3)$$

C merupakan nilai kapasitas (bps), B adalah *bandwidth* dan S/N adalah nilai *signal to noise ratio*.

D. Redaman Hujan

Redaman oleh hujan dapat diprediksi secara akurat jika hujan dapat digambarkan secara tepat sepanjang jalan. Atenuasi jalur pada dasarnya merupakan integral dari semua peningkatan individu redaman hujan yang disebabkan oleh tetes yang ditemui di sepanjang jalur. Ini adalah pendekatan fisik untuk memprediksi redaman hujan. Sayangnya, hujan tidak dapat digambarkan secara akurat di sepanjang jalan tanpa database meteorologi yang luas, yang tidak ada di sebagian besar wilayah di dunia[18].

$$\gamma_R = k(R)^a \quad (4)$$

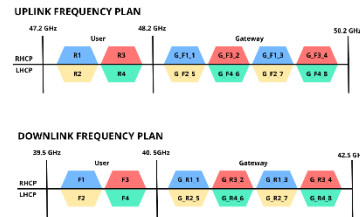
γ_R merupakan redaman hujan spesifik, dengan R merupakan jarak satelit dengan bumi, koefisien k dan a sesuai dengan rekomendasi ITU-R P.838.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Alokasi Frekuensi

Spektrum frekuensi menjadi salah satu hal penting yang harus dipertimbangkan dalam pengaplikasian HTS. Berdasarkan Rekomendasi ITU-R S.1328-3, frekuensi uplink yang digunakan untuk V-Band adalah 47,2 - 50,2 GHz, sedangkan frekuensi downlink yang digunakan adalah 39,5 - 42,5 GHz.

Berdasarkan rentang frekuensi yang digunakan untuk skenario ini, didapatkan bahwa bandwidth yang digunakan pada skenario ini adalah 500 MHz. Rentang frekuensi uplink dibagi menjadi dua bagian yaitu untuk sisi pengguna dan gateway. Pada sisi pengguna menggunakan dua frekuensi sesuai dengan skenario, sehingga pada bagian sisi pengguna masing-masing menggunakan 500 MHz untuk bandwidth.



GAMBAR 5 Alokasi Frekuensi V-Band HTS

Pembagian alokasi frekuensi pada skenario HTS 4C2F2P yang terbagi menjadi empat kanal, dua frekuensi, dan dua polarisasi. Dengan masing-masing notasi mempunyai arti, seperti:

1. RX, menandakan bahwa R adalah frekuensi carrier untuk return-link, dan X adalah return link ke-sekian dalam sisi pengguna.
2. G_FX_n, mendandakan bahwa G adalah Gateway. F adalah frekuensi carrier untuk forward-link, dengan X adalah orde untuk forward-link ke-sekian yang diubah menjadi frekuensi return-link. Dan n, merupakan orde dari total beam secara keseluruhan.
3. FY, menandakan bahwa F adalah frekuensi carrier untuk forward-link, dan Y, adalah forward-link ke-sekian dalam sisi pengguna.
4. G_RY_m, menandakan bahwa G adalah Gateway. R adalah frekuensi carrier untuk return-link, dengan Y adalah orde untuk return-link ke-sekian yang diubah menjadi frekuensi forward-link. Dan n, merupakan order dari total beam secara keseluruhan.

B. Analisis Link Budget

Link Budget merupakan salah satu hal penting yang menentukan kualitas suatu sistem komunikasi. Analisis link budget digunakan untuk menentukan seberapa ideal nilai pengiriman informasi yang digunakan pada suatu sistem komunikasi. Perhitungan link budget ini mengukur seberapa kuat sinyal carrier ataupun sinyal noise dari propagasi sinyal.

1. Forward Link

TABEL 1 *Link Budget Forward Uplink*

Parameter	Cuaca Cerah		Hujan	
	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
Frekuensi	48,20	GHz	48,20	GHz
EIRP Stasiun Bumi	82,00	dB	82,00	dB
Free Space Loss	217,19	dB	335,51	dB
Grx Satelit	60,47	dBi	60,47	dBi

Temperatur	335,00	K	335,00	K
Figure of Merit	35,22	dB/K	35,22	dB/K
Konstanta Boltzman	-226,80	dBw/H z	-226,80	dBw/H z
Bandwidth	500,00	MHz	500,00	MHz
C/No	126,84	dB.Hz	8,51	dB.Hz
C/N	39,85	dB	-78,48	dB
Eb/No	36,86	dB	-81,47	dB
S/N	13,30	dB	8,61	dB

TABEL 2 Link Budget Forward Downlink

Parameter	Cuaca Cerah		Hujan	
	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
Frekuensi	39,50	GHz	39,50	GHz
EIRP Satelit	72,00	dB	72,00	dB
Free Space Loss	215,46	dB	333,78	dB
Grx VSAT	58,74	dBi	58,74	dBi
Temperatur	135,00	K	335,00	K
Figure of Merit	37,44	dB/K	33,49	dB/K
Konstanta Boltzman	-226,80	dBw/H z	-226,80	dBw/H z
Bandwidth	500,00	MHz	500,00	MHz
C/No	120,78	dB.Hz	-1,49	dB.Hz
C/N	33,79	dB	-88,48	dB
Eb/No	30,80	dB	-91,47	dB
S/N	12,51	dB	7,22	dB

2. Return Link

TABEL 3 Link Budget Return Uplink

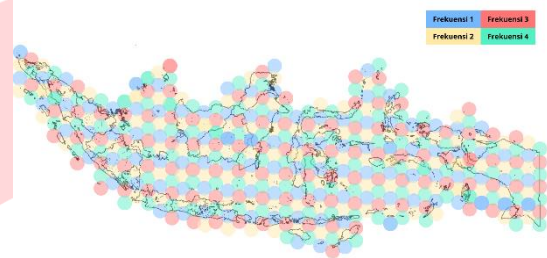
Parameter	Cuaca Cerah		Hujan	
	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
Frekuensi	47,20	GHz	47,20	GHz
VSAT EIRP	70,00	dB	70,00	dB
Free Space Loss	217,00	dB	335,33	dB
Grx Satelit	60,29	dBi	60,29	dBi
Temperatur	335,00	K	335,00	K
Figure of Merit	35,04	dB/K	35,04	dB/K
Konstanta Boltzman	-226,80	dBw/H z	-226,80	dBw/H z
Bandwidth	500,00	MHz	500,00	MHz
C/No	114,84	dB.Hz	-3,49	dB.Hz
C/N	27,85	dB	-90,48	dB
Eb/No	24,86	dB	-93,47	dB
S/N	11,30	dB	7,31	dB

TABEL 4 Link Budget Return Downlink

Parameter	Cuaca Cerah		Hujan	
	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
Frekuensi	40,50	GHz	40,50	GHz
EIRP Satelit	72,00	dB	72,00	dB

Free Space Loss	215,67	dB	334,00	dB
Grx Gateway	58,96	dBi	58,96	dBi
Temperatur	300,00	K	335,00	K
Figure of Merit	34,19	dB/K	33,71	dB/K
Konstanta Boltzman	-226,80	dBw/H z	-226,80	dBw/H z
Bandwidth	500,00	MHz	500,00	MHz
C/No	117,31	dB.Hz	-1,49	dB.Hz
C/N	30,33	dB	-88,48	dB
Eb/No	27,34	dB	-91,47	dB
S/N	11,41	dB	7,27	dB

C. Analisis Area Cakupan



GAMBAR 6 Hasil Simulasi Multi-Spot Beam HTS

D. Analisis Kapasitas

Hasil perhitungan nilai kapasitas berdasarkan nilai link budget yang sudah diperoleh dapat dihitung dengan persamaan Shannon Capacity (3). Hasil tersebut menunjukkan kapasitas throughput dari sistem HTS. Hasil dari masing-masing kapasitas berdasarkan nilai S/N dari setiap link yang digunakan pada sistem HTS.

TABEL 5 Analisis Kapasitas HTS Cuaca Cerah

Tipe Link	S/N	Kapasitas	Total Kapasitas	Setelah Frekuensi Reuse
Forward Uplink	13,30	2.241,73	26.900,70	26.900,70
Forward Downlink	12,51	2.117,42	12.704,54	1.156.113,18
Return Uplink	11,30	1.928,89	11.573,31	1.053.171,53
Return Downlink	11,41	1.946,02	23.352,19	23.352,19
Total		8.234,05	74.530,75	2.259.537,60

V. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan bahwa dengan penggunaan frekuensi V-Band di Indonesia menghasilkan redaman hujan yang sangat tinggi. Hal ini mengakibatkan nilai C/N yang dikirim dari satelit ke stasiun bumi sangat rendah dan mengakibatkan kekuatan sinyal yang cukup lemah.

Namun pada perhitungan ini, didapatkan bahwa nilai kapasitas yang dapat dicapai oleh frekuensi V-Band sangat besar. Dengan total akumulasi dapat mencapai 2 Tbps dengan jumlah multi-spot beam sebanyak 550 spot, berdampak sangat baik untuk cakupan area Indonesia. Dengan ukuran footprint sebesar 66,41 km, dianggap cukup merata untuk wilayah Indonesia.

REFERENSI

- [1] JI. Ahmad, K. D. Nguyen, N. Letzepis and G. Lechner, "On the NextGeneration High Throughput Satellite Systems With Optical Feeder Links," in *IEEE Systems Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 2000-2011, June 2021, doi: 10.1109/JSYST.2020.3006492.
- [2] "KA-SAT," [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/KA-SAT>, Accessed: Oct. 23, 2021.
- [3] "WildBlue 1," [Online]. Available: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/wildblue-1.htm, Accessed: Oct. 23, 2021.
- [4] NBN-Co, "Sky Muster," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Sky_Muster, Accessed: Oct. 23, 2021.
- [5] K. An, T. Liang, G. Zheng, X. Yan, Y. Li, and S. Chatzinotas, "Performance limits of cognitive-uplink FSS and terrestrial FS for Ka-band," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 55, no. 5, pp. 2604–2611, Oct. 2019.
- [6] Koosha, B., Manoochehri, O., & Helgert, H. J. (2022). An enhanced crosslayer solution for IFC applications using HTS systems at Q/V-band. *Engineering Reports*, e12477.
- [7] G. Damanik, I. Setyawan, R. Lawang, and D. D. Kameo, "Satellite Deployment Strategy for an Archipelagic State: The Case of Indonesia," in 2017 11th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications (TSSA), 2017.
- [8] J. Rendon Schneir and Y. Xiong, "A Cost Study of Fixed Broadband Access Networks for Rural Areas," *Telecommunications Policy*, vol. 40, no. 8, pp. 1–18, Aug. 2016.
- [9] A. Lee Gonzalez Fanfalone, V. Weber, Y. Yokomori, and S. Paltridge, "The Evolving Role of Satellite Networks in Rural and Remote Broadband Access," Dec. 2017.
- [10] Y. S. Panggau and M. Asvial, "Analysis of Satellite Broadband Access Implementation in Indonesia Using Costing Methodology," in 2018 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC), 2018, pp. 30–35.
- [11] D. I. Widjanarko and D. Gunawan, "A Hybrid C/Ku-band High Throughput Satellite Systems as An Optimal Design for Indonesia," in 2017 International Conference on Signals and Systems (ICSigSys), 2017, pp. 168–174.
- [12] International Telecommunication Union, "Recommendation ITU-R P.618-13 Propagation data and prediction methods required for the design of Earthspace telecommunication systems P Series Radiowave propagation," Geneva, 2017.
- [13] Intelsat General, "Intelsat Epic NG: Realizing Resilient Tactical Networks with Maximum Government Control on an Open Architecture High Throughput Satellite," 2018.
- [14] M. Zhou, S. B. Sorensen, and H.-H. Viskum, "Multiple Spot Beam Reflectarrays for HighThroughput Satellite Applications," Jun. 2016.
- [15] M. Sabbadini, "Antenna design for Space Applications."
- [16] R. Swinford and B. Grau, "High Throughput Satellites Delivering Future Capacity Needs," 2015
- [17] Pratt, T., & Allnut, J. E. (2019). *Satellite communications*. John Wiley & Sons.
- [18] Zunis, A., Sadhukhan, D., Alexander, J., Avanesian, D., & Knoblock, E. (2013, September). V-Band Communications Link Design For A Hosted Payload. In *International Astronautical Congress (IAC)* (No. E-663242).