

Analisis Pengaruh Modulasi Terhadap Performa Link Backhaul High Altitude Platform Station (HAPS) pada Frekuensi 28 GHz

Sandryones Palinggi¹, Asma Amaliah²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar
Jln. Perintis Kemerdekaan KM. 10, Tamalanrea, Makassar 90245, Indonesia
sandryones@poliupg.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh modulasi terhadap performa Link Backhaul High Altitude Platform Station (HAPS) pada frekuensi 28 GHz dari platform ke ground station. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan melakukan perhitungan link budget untuk mengukur performa link backhaul yang digunakan pada komunikasi HAPS. Parameter yang menjadi tolak ukur pengukuran adalah transmitter, receiver, serta parameter link budget. Parameter link budget yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi frekuensi kerja, ketinggian platform, jarak platform ke ground station, free space path loss, rain attenuation figure serta receive margin. Dari penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh hasil dengan menggunakan modulasi QPSK maka Eb/No yang dibutuhkan sebesar 7.8 dB, Code Rate 40 Mbit/Symbol dan receive margin pada kondisi "Clear Sky" adalah 26.3 dB. Sedangkan dengan menggunakan modulasi 16-QAM, Eb/No yang dibutuhkan sebesar 16 dB, Code Rate 160 Mbit/Symbol, dan receive Margin pada kondisi "Clear Sky" adalah 12.1 dB. Berdasarkan performa QPSK dan 16-QAM terhadap Probability Error yang terjadi, dapat disimpulkan bahwa modulasi 16-QAM lebih baik daripada QPSK.

Kata kunci: High Altitude Platform Station (HAPS), Link Budget, Path Loss, QPSK, 16-QAM

This research aims to analyze the effect of modulation on the performance of the High-Altitude Platform Station (HAPS) Backhaul Link at the 28 GHz frequency from the platform to the ground station. The method used in this research is to calculate the link budget to measure the performance of the backhaul link used in HAPS communications. The parameters used as measurement benchmarks are the transmitter, receiver, and link budget parameters. The link budget parameters required in this research include working frequency, platform height, platform distance to ground station, free space path loss, rain attenuation figure and receive margin. From the research that has been carried out, the results obtained by using QPSK modulation mean that the Eb/No required is 7.8 dB, the Code Rate is 40 Mbit/Symbol and the receive margin in "Clear Sky" conditions is 26.3 dB. Meanwhile, by using 16-QAM modulation, the required Eb/No is 16 dB, Code Rate is 160 Mbit/Symbol, and receive Margin in "Clear Sky" conditions is 12.1 dB. Based on the performance of QPSK and 16-QAM on the Probability of Errors that occur, it can be concluded that 16-QAM modulation is better than QPSK.

Keywordsc: High Altitude Platform Station (HAPS), Link Budget, Path Loss, QPSK, 16-QAM

I. PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan layanan telekomunikasi, ikut menuntut berkembangnya infrastruktur telekomunikasi. High Altitude Platform (HAPS) merupakan salah satu alternatif solusi yang mampu memberikan multi-layanan pada satu platform dan dapat memberikan banyak keuntungan dibanding dengan teknologi eksisting lainnya (terrestrial maupun satelit). HAPS memanfaatkan

stasiun transceiver pada ketinggian yang berada jauh dibawah satelit, yaitu pada lapisan stratosfir.

HAPS adalah sebuah platform yang berada pada ketinggian 20-50 km [1]. Dilihat dari letaknya pada lapisan stratosfir, dimana posisi HAPS sendiri berada tepat diantara 2 sistem yang telah lama digunakan dan eksisting hingga saat ini yaitu sistem komunikasi terrestrial dan sistem komunikasi satelit. Potensi dari letak HAPS ini dapat meningkatkan kehandalan dalam komunikasi dan

efisiensi spektrum, dan dapat mengurangi biaya serta kompleksitas peralatan. HAPS memiliki keunggulan dari sistem komunikasi terestrial, dan memiliki delay yang lebih kecil dari pada sistem komunikasi satelit. Dalam beberapa tahun terakhir, konstruksi platform, sistem pemantauan dan komunikasi menjadi perhatian lebih lanjut oleh berbagai kalangan.

Pengembangan HAPS mirip dengan pengembangan satelit komunikasi pada tahun 1960. HAPS dapat digambarkan sebagai sebuah aplikasi baru dengan cakupan luas, serta memiliki teknologi yang dapat terus dikembangkan dikemudian hari. Dan pada era sekarang, HAPS adalah jawaban dari kelanjutan sebuah generasi komunikasi nirkabel. Pemanfaatannya sepenuhnya menggunakan sumber daya spektrum radio, kapasitas bandwidth, kualitas komunikasi yang canggih, serta resiko operasional rendah.

International Telecommunication Union (ITU) mengidentifikasi bahwa HAPS sebagai memiliki prospek perkembangan yang bisa melebihi sebuah ekspektasi dan merupakan fondasi dari generasi nirkabel dan akan terus berkembang seiring dengan era digitalisasi yang saat ini sedang menanjak secara linear.

Indonesia sendiri saat ini telah bersiap untuk mengikuti tren perkembangan teknologi di era digital. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), dan beberapa Lembaga riset telah berupaya menyusun regulasi, platform, serta hal-hal yang terkait dengan teknologi HAPS. Dalam skala global, secara optimis HAPS sudah dapat beroperasi secara penuh pada tahun 2027, dimana HAPS bagi Indonesia adalah sebuah jawaban bagi masyarakat luas, baik yang berada pada daerah 3T (Tertinggal, Terdepan dan Terluar), serta area blank spot, dimana dibutuhkan sebuah akses komunikasi yang murah, mudah dan handal.

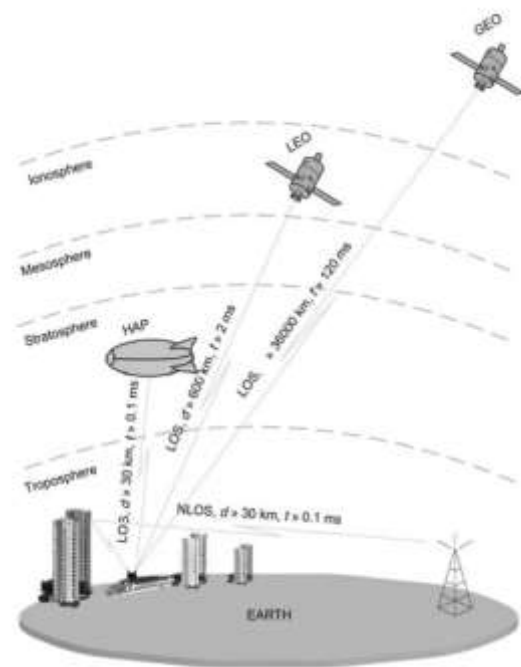
Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan link budget untuk mengukur performa dari link backhaul yang digunakan dalam komunikasi HAPS. Link backhaul ini tidak terlepas dari jenis modulasi yang digunakan, ketinggian platform, serta frekuensi kerja yang digunakan. Oleh karena itu diperlukan sebuah kajian scientific untuk memberikan gambaran hubungan antar ketiga parameter penting tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai rugi-rugi propagasi melalui perhitungan link budget yang hasilnya kemudian di plot dalam sebuah grafik performa dengan menggunakan Matlab, sehingga dapat diketahui jenis modulasi yang tepat untuk digunakan.

II. METODE PENELITIAN

A. High Altitude Platform Station (HAPS)

HAPS dapat diklasifikasikan sebagai perkembangan teknologi ketiga dalam infrastruktur komunikasi setelah sistem satelit dan terestrial. Ini dapat memberikan daya cakup yang cepat dengan kapasitas tinggi serta mampu melayani kota-kota padat penduduk, pinggiran kota serta daerah pedesaan dan terpencil yang mana di beberapa tempat masih kesulitan untuk mendapatkan akses internet yang memadai. Oleh karena itu kehadiran HAPS akan melengkapi infrastruktur kabel dan nirkabel yang ada.



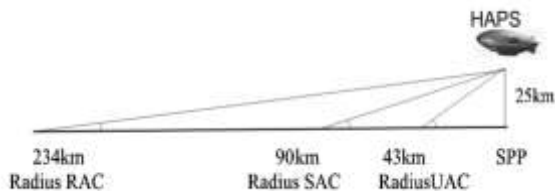
Gambar 1. Perbandingan Ketinggian antara HAPS, Satelit LEO, dan Satelit GEO di Atmosfir [3]

Sistem komunikasi HAPS pada dasarnya dapat terdiri dari dua utama elemen yaitu *stratospheric segment* dan *ground segment*. Stratosfer adalah bagian lapisan dari atmosfer Bumi. Atmosfer Bumi terdiri dari beberapa lapisan berbeda dan troposfer menjadi yang paling terendah. Troposfer memanjang dari permukaan bumi hingga ketinggian sekitar 11 km di atas permukaan bumi tergantung pada musim dan lokasi geografis. [2]

Stratosfer adalah lapisan berikutnya, mulai dari ketinggian 10-50 km. Stratosfer ditandai oleh stabilitas statis yang tinggi, terkait dengan kenaikan suhu serta ketinggian dan hubungannya dengan angin kencang. Tidak ada awan di stratosfer, yang dapat memungkinkan energi matahari bersih digunakan tanpa polusi atmosfer.

Manfaat lain dari HAPS terdiri dari kemungkinan untuk menawarkan perubahan yang penting dalam kinerja dan ketersediaan sistem melalui keunggulan karena mampu memberikan kapasitas yang tinggi serupa dengan apa yang sudah ditawarkan oleh sistem terestrial serta cakupan yang luas sama seperti komunikasi satelit. HAPS tidak dimaksudkan untuk menggantikan teknologi yang ada, tetapi bekerja dengan keduanya secara komplementer dan terintegrasi.

Pada Gambar 1, memperlihatkan perbandingan ketinggian antara HAPS, Satelit Geostasioner (GSO) dan ketinggian Satelit komunikasi LEO (NGSO). Pada Gambar 2, memperlihatkan *radius coverage area* dari layanan komunikasi via HAPS, dimana ketinggian HAPS menentukan *radius coverage area*. Semakin tinggi posisi dari stasiun platform, maka semakin luas pula-lah coverage area atau jangkauan layanan dari HAPS itu sendiri. Untuk ketinggian sekitar 25 km di atas permukaan bumi, radiusnya mencapai 234 km.



Gambar 2. Radius Coverage Area HAPS [4]

B. Coverage Area HAPS

Berdasarkan pada area jangkauan *coverage area* HAPS [5], dapat dibagi menjadi 3 area *coverage* meliputi daerah urban (*Urban Coverage Area*), daerah sub-urban (*Sub-Urban Coverage Area*), dan daerah pedesaan (*Rural Coverage Area*).

1. Daerah Urban

Cakupan Wilayah *Urban* didefinisikan sebagai rentang area antara 36 hingga 43 km, dari titik langsung di bawah platform. Sudut elevasi relatif adalah dari 30° hingga 90° dan ada komunikasi *line-of sight* (LOS).

2. Daerah Sub-Urban

Cakupan Wilayah *Sub-urban* membentang dari UAC sepanjang 76,5 km sampai 90,5 km, tergantung pada ketinggian dengan sudut elevasi relatif adalah dari 15° sampai 30° serta hambatan dekat penerima menyebabkan sinyal membayangi dan redaman sinyal langsung.

3. Daerah Pedesaan

Cakupan Wilayah Pedesaan dicadangkan untuk titik kecepatan tinggi khusus untuk akses titik dan aplikasi area luas di pita

frekuensi lebih rendah. Sudut elevasi relative adalah antara 5° dan 150°.

C. Komponen Sistem Komunikasi HAPS

Suatu sistem komunikasi berdasarkan HAPS dapat disusun pada dasarnya dari dua utama elemen: segmen stratosfer dan *ground segment*. [3]

1. Stratospheric Segment

Stratosfer adalah bagian dari atmosfer Bumi. Atmosfir Bumi terdiri dari beberapa lapisan berbeda, troposfer menjadi yang terendah. Lingkungan stratosfer lebih mirip luar angkasa dari pada permukaan laut: suhu rendah, tekanan udara rendah, radiasi surya yang lebih tinggi, dan perpindahan panas konvektif lebih rendah. Pemanenan energi surya yang dibutuhkan untuk menjaga stasiun terhadap angin dan stratosfer bisa sulit di beberapa lokasi geografis.

2. Ground Segment

Ground Segment HAPS mendukung operasi antara HAPS dan pengguna di permukaan bumi, serta mengendalikan beberapa fungsi yang terkait dengan pengoperasian HAPS itu sendiri. *Interface* HAPS terintegrasi dengan jaringan terestrial, dimana kontrol penerbangan dan operasi *gateway* juga dilakukan. Stasiun kontrol telekomunikasi dan penerbangan dapat ditempatkan di dalam fasilitas gedung yang sama. Untuk itu, stasiun bumi harus dilengkapi dengan *transceiver* untuk mengirim dan menerima sinyal dari dan ke-HAPS, serta digunakan untuk berkomunikasi dengan fasilitas lain untuk mengontrol posisi HAPS, *payload* dan *equipment*.

D. Link Budget HAPS

Link backhaul digunakan untuk menghubungkan HAPS ke jaringan yang lebih luas. Lebih dari satu *link backhaul* akan diperlukan untuk mendukung kapasitas yang terlibat dan hal ini berguna apabila memiliki *link* alternatif sebagai cadangan jika salah satu *link backhaul* putus. Ada tiga faktor dapat mengurangi kehandalan *link backhaul*, yaitu:

1. Layanan Lokal (*Local Service*) – seperti untuk interkoneksi LAN, dimana dua pengguna dilayani dari HAPS yang sama.
2. *Caching* – Ini akan berguna untuk dua aplikasi video sesuai permintaan dan untuk mengunduh halaman web Internet.
3. Layanan *Broadcast* – Jika transmisi yang sama dikirim secara bersamaan ke banyak pengguna maka *link backhaul* mengalami penurunan kehandalan tergantung dari

banyaknya pengguna yang mengakses layanan tersebut.

Adapun beberapa penggunaan persamaan dalam perhitungan *link budget*, dapat diuraikan sebagai berikut:

Menghitung *Direktivitas* (dB) Antena HAPS [4]:

$$D = 10 \log_{10} \left(\frac{32Ln(2)}{\theta^2 + \phi^2} \right) \quad (1)$$

dimana, θ dan ϕ adalah sudut azimuth dan elevasi dalam perspektif radian.

$$G_H = 10 \log_{10}(n) + D \quad (2)$$

dimana, n adalah efisiensi antenna dan D adalah diameter dari antenna.

EIRP dari HAPS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [4]:

$$EIRP(dB) = P_{TXH} + G_H - A_L \quad (3)$$

dimana, A_L adalah *Feed Loss* Antena HAPS.

Free Space Path Loss (FSPL), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [4]:

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi L}{\lambda} \right) \quad (4)$$

Untuk *Rain Attenuation Figure* digunakan 99.9% berdasarkan rekomendasi ITU. Dan untuk *Receive Margin*, digunakan 99.9%.

E. Pemodelan Kanal AWGN

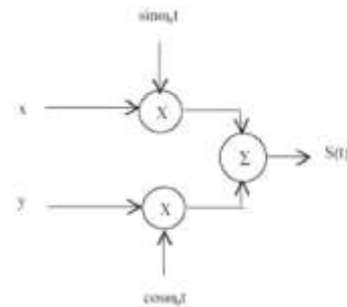
Suatu modulasi adalah proses dimana sinyal informasi diubah menjadi suatu gelombang sinusoid. Sinusoid memiliki tiga tanda yang dapat digunakan untuk membedakannya dari sinusoid lainnya yaitu: Amplitude, frekuensi dan phase.

Oleh karena itu modulasi dapat didefinisikan sebagai suatu proses yang mana amplitudo, frekuensi dan phase gelombang *carrier* atau suatu kombinasi dari ketiganya adalah berbeda-beda dalam penyesuaian dengan informasi yang ditransmisikan.

Bentuk umum gelombang *carrier*, $s(t)$, adalah seperti berikut [6]:

$$S(t) = A(t)\cos[\omega_0 + f(t)] \quad (5)$$

dimana $A(t)$ adalah waktu variasi amplitudo, ω_0 adalah frekuensi radian *carrier* dan $f(t)$ adalah *phase*.



Gambar 3. Modulator QAM

Penggunaan sistem komunikasi digital dalam bidang komunikasi radio bergerak semakin meningkat, sehingga diperlukan suatu sistem komunikasi yang handal guna menjamin sampainya pesan atau data yang benar pada penerima. Pada kanal komunikasi, adanya noise akan mengganggu maupun menurunkan kinerja sistem komunikasi digital. Hal ini menyebabkan terjadinya kesalahan pendeteksian sinyal sehingga terjadi perubahan bit atau simbol pada sisi penerima.

Dalam pentransmisian informasi digital ini, kanal komunikasi akan mengalami berbagai macam gangguan, seperti *thermal noise* yang sering dimodelkan sebagai *Additive White Gaussian Noise* (AWGN).

Kanal yang disimulasikan dalam sistem ini, diasumsikan memiliki Noise yang berdistribusi Gaussian. Model kanal yang digunakan adalah Noise AWGN. Noise ini berdistribusi normal dengan nilai rata-rata (*mean*) nol. Noise ini bernilai acak dan bersifat menambahkan sinyal aslinya. Bentuk persamaan pdf dari distribusi Gaussian adalah [7]:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{x-m_x^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

dimana m_x adalah *mean* dan σ^2 adalah *varians* dari *variable random*.

Noise merupakan hal yang bersifat khusus dan tidak dapat dieliminir sepenuhnya. Disamping sumber dari resistor, banyak material lain yang merupakan sumber noise yang memiliki karakteristik statistik distribusi Gaussian dan memiliki kerapatan spektral yang membentang datar pada hampir keseluruhan spektrum frekuensi. Sehingga noise ini memiliki karakteristik seperti cahaya putih dan selanjutnya dinamakan *White Gaussian Noise* (AWGN). AWGN memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. *White Noise*,

2. Terdistribusi Gaussian,
3. Perhitungan *Probability of Error (Pe)*

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan menggunakan hasil perhitungan link budget. Daerah yang menjadi sampel pada penelitian ini merupakan daerah rural/pedesaan dengan parameter tertentu. Parameter yang digunakan pada dilihat pada pada Tabel 1. Perhitungan yang dilakukan bertujuan untuk menghitung rugi-rugi propagasi dengan mempertimbangkan variabel “Clear Sky” atau dalam kondisi ideal.

Tabel 1. Parameter yang Digunakan

<i>Frekuensi</i>	28 GHz
<i>Wavelength</i>	0.011 m
<i>Ketinggian Platform</i>	17 Km
<i>Jarak ke Ground Station</i>	10 Km
<i>Rain Attenuation</i>	99.99%
<i>Receive Margin</i>	99.99%

Adapun modulasi yang dipakai sebagai perbandingan untuk menilai kehandalan dari link backhaul adalah QPSK dan 16-QAM.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan link budget yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 2.

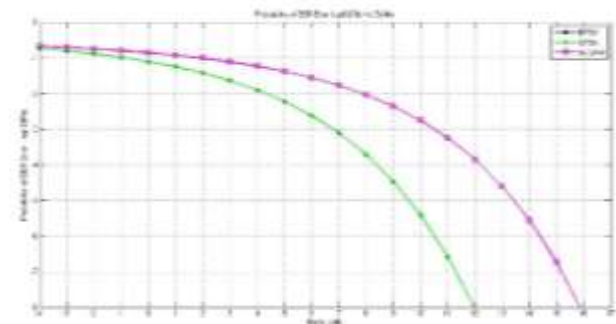
Tabel 2. Hasil Perhitungan Link Budget HAPS menggunakan Modulasi QPSK dan 16-QAM

	QPSK	16-QAM
Transmitter		
<i>Power Carrier Backhaul</i>	30 dBm	30 dBm
<i>Beamwidth Antena</i>	5 Derajat	5 Derajat
<i>Efisiensi Antena</i>	0.95	0.95
<i>Gain Antena</i>	32.6 dBi	32.6 dBi
<i>Antena Feed Loss</i>	1 dB	1 dB
<i>EIRP</i>	61.6 dBm	61.6 dBm
Receiver		
<i>Konstanta Boltzmann</i>	-228.6 dBJ/K	-228.6 dBJ/K
Receiver Parameters		
<i>Noise Temperatur</i>	300 K	300 K
<i>Thermal Noise Density</i>	-173.8 dBm/Hz	-173.8 dBm/Hz
<i>Receiver Noise Figure</i>	5 dB	5 dB
<i>Receiver Noise Density</i>	-168.8 dBm/Hz	-168.8 dBm/Hz

<i>Receiver Noise Interference</i>	-168.8 dBm/Hz	-168.8 dBm/Hz
<i>Total Effective Noise Density</i>	-165.8 dBm/Hz	-165.8 dBm/Hz
Antenna Parameters		
<i>Beamwidth Antena</i>	5 Derajat	5 Derajat
<i>Efisiensi Antena</i>	0.95	0.95
<i>Gain Antena</i>	32.6 dBi	32.6 dBi
<i>Loss Kabel</i>	2 dB	2 dB
<i>Maximum C/I</i>	258.1 dBm/Hz	258.1 dBm/Hz
Modulation Parameters		
<i>Modulasi</i>	QPSK	16-QAM
<i>EbNo Require</i>	7.8 dB	16 dB
<i>Bit/Symbol</i>	2	4
Channel Parameters		
<i>Bandwidth</i>	50 MHz	50 MHz
<i>Code Rate</i>	0.50	1
<i>Data Rate</i>	40 Mbit/s	160 Mbit/s
Propagation Parameters		
<i>Jarak LOS</i>	19.72 Km	19.72 Km
<i>FSPL</i>	147.3 dB	147.3 dB
Clear Sky Margin		
<i>Receive Margin “Clear Sky”</i>	26.3 dB	12.1 dB
<i>Transmit Power Minimum</i>	3.7 dBm	17.9 dBm
Rain Attenuation		
<i>Rain Attenuation 99.99%</i>	10 dB	10 dB
<i>Receive Margin</i>	16.3 dB	2.1 dB

Data perhitungan link budget untuk modulasi QPSK dan 16-QAM dapat dilihat pada Tabel 2 di atas, maka dapat di plot menggunakan Matlab mengenai hasil perbandingan secara grafis antara performa modulasi QPSK dan modulasi 16-QAM, seperti terlihat pada Gambar 4.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4 mengenai performa QPSK dan 16-QAM terhadap Probability Error yang terjadi, dapat dilihat bahwa 16-QAM lebih baik dari pada QPSK karena perbandingan nilai EbNo pada modulasi 16-QAM yang ditunjukkan oleh garis berwarna ungu, lebih tinggi dibanding modulasi QPSK yang bergaris hijau.



Gambar 4. Hasil Plot Matlab Perbandingan Performa Modulasi QPSK dan 16-QAM

disimpulkan 16-QAM lebih baik dari pada QPSK.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat ditarik beberapa simpulan yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan parameter pada Tabel 1. mengenai parameter, dapat diketahui bahwa area yang coverage area yang menjadi sampel area penelitian adalah daerah pedesaan atau Rural Coverage Area.
2. Dengan menggunakan parameter Tabel 1, ditambah dengan parameter Gain Antena yang sama, Power Carrier yang sama, Bandwidth yang sama, didapatkan beberapa perbedaan yang mencolok seperti EbNo Require, Bits/Symbol, Data Rate, Code Rate, dan Receive Margin pada kondisi "Clear Sky".
3. Dengan menggunakan modulasi QPSK didapatkan EbNo Require: 7.8 dB, Bits/Symbol: 2, Data Rate: 0.5, Code Rate: 40 Mbit/Symbol, Receive Margin pada kondisi "Clear Sky": 26.3 dB. Sedangkan dengan menggunakan modulasi 16-QAM, didapatkan EbNo Require: 16 dB, Bits/Symbol: 4, Data Rate 1, Code Rate: 160 Mbit/Symbol, Receive Margin pada kondisi "Clear Sky": 12.1 dB.
4. Berdasarkan pada grafik uji Matlab mengenai performa QPSK dan 16-QAM terhadap Probality Error yang terjadi

REFERENSI

- [1] E. Setiawan, "The Potential Use of High-Altitude Platform Station in Rural Telecommunication Infrastructure," 2018. doi: 10.1109/ICICTR.2018.8706563.
- [2] S. Palinggi and A. Lande, "Overview Teknologi Ruang Udara Masa Depan dalam Teori, Regulasi dan Terapannya di Indonesia," in Seminar Nasional (SEMNAS) Hasil Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun 2021, 2021, pp. 436–446. [Online]. Available: https://conference.usm.ac.id/index.php/semnas_lppm/semnas2021/paper/view/11.
- [3] A. Aragón-Zavala, J. L. Cuevas-Ruíz, and J. A. Delgado-Penín, High-Altitude Platforms for Wireless Communications. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2008.
- [4] D. Grace and M. Mohorcic, Broadband Communications via High Altitude Platform Stations, First Edition. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
- [5] S. H. Alsamhi and N. Rajput, "Methodology for Coexistence of High-Altitude Platform Ground Stations and Radio Relay Stations with Reduced Interference," Int. J. Sci. Eng. Res., vol. 3, no. 5, pp. 1–7, 2012.
- [6] Baharuddin, "Analisa Kinerja Quadrature Amplitude Modulation Pada Kanal Additive White Gaussian Noise Untuk Transmisi Citra," TeknikA, vol. 1, no. 28, pp. 54–58, 2007, [Online]. Available: http://repo.unand.ac.id/3102/1/54-58_QAM_Baharuddin_kanal_AWGN.pdf
- [7] S. Wahyuni, "Pengaruh Penggunaan Jenis Modulasi Sistem HAPS pada Layanan DVB-T," Elkawnie, vol. 2, no. 2, p. 177, 2016, doi: 10.22373/ekw.v2i2.2689.