

Analisis Performansi *Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) Free Space Optic* Pada Beberapa Kondisi Cuaca

1st Shafira Abhigail Winanda

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

shafiraawinanda@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Akhmad Hambali

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

ahambali@telkomuniversity.ac.id

3rd Brian Pamukti

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

brianpam@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— *Free Space Optical Communication (FSOC)* merupakan sistem komunikasi optik nirkabel yang menggunakan media propagasi atmosfer. FSOC memiliki keunggulan efisiensi ruang, waktu dan biaya. Sedangkan kekurangannya yaitu performansi yang bergantung kondisi cuaca. Penelitian ini menganalisis performansi Bit Error Rate (BER) menggunakan *Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)* yang terbagi menjadi tiga user. Alokasi daya user 1 lebih besar daripada user lainnya, sedangkan user 3 mendapatkan alokasi daya terkecil. Kondisi cuaca terbagi menjadi cuaca cerah, hujan ringan dan hujan lebat. Sumber optik yang digunakan yaitu *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)* dan detektor optik yang digunakan yaitu *Avalanche Photodiode (APD)*. Nilai BER kondisi cuaca cerah user 1 yaitu $2,18 \times 10^{-3}$ dan user 2 yaitu $3,5 \times 10^{-2}$. Pada kondisi cuaca hujan ringan, nilai BER user 1 yaitu $3,51 \times 10^{-4}$ dan user 2 yaitu $1,16 \times 10^{-1}$. Sedangkan kondisi cuaca hujan lebat nilai BER user 1 yaitu $1,46 \times 10^{-19}$ dan user 2 yaitu $4,76 \times 10^{-1}$. Sedangkan nilai BER user 3 semua kondisi cuaca yaitu $9,41 \times 10^{-275}$. User 3 memiliki nilai BER yang paling kecil karena tidak mendapatkan interferensi dari user lainnya, sedangkan user 1 merupakan user yang lebih optimal karena mendapatkan alokasi daya paling besar dan tidak membutuhkan kapasitas data yang besar.

Kata kunci— FSOC, NOMA, LASER, APD, BER.

I. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya zaman, teknologi juga semakin berkembang termasuk dalam bidang telekomunikasi. Manusia semakin menginginkan informasi tersampaikan dengan cepat, tepat dan praktis. Untuk memenuhi keinginan manusia tersebut, dibutuhkan teknologi yang memiliki kecepatan transfer data yang tinggi dengan *bandwidth* yang lebar. Teknologi optik merupakan salah satu teknologi yang bisa memenuhi keinginan manusia, terlebih komunikasi ruang bebas atau *Free Space Optical Communication (FSOC)*. FSOC memberikan kemudahan dalam hal efisiensi waktu, ruang dan biaya. Teknologi FSOC merupakan salah satu teknologi di sistem komunikasi optik yang tidak lagi menggunakan kabel (nirkabel), tetapi menggunakan atmosfer sebagai media propagasinya [1]. Keunggulan dari teknologi FSOC yaitu biaya yang dikeluarkan lebih murah karena proses instalasinya hanya membutuhkan perangkat transmitter dan receiver, tidak lagi mengeluarkan biaya lebih untuk membeli kabel dan perangkat lainnya serta menghemat waktu karena tidak harus menggali tanah seperti pada penggunaan kabel serat optik [2]. Karena hanya menggunakan perangkat tersebut, ruangan

yang dibutuhkan juga menjadi sedikit, menjadi lebih praktis dan ramah lingkungan karena tidak menyebabkan sampah yang lebih banyak jika sudah tidak digunakan. Perangkat tersebut juga bisa diletakkan di sekitar jendela atau di atap suatu gedung. Teknologi FSOC tidak membutuhkan lisensi karena spektrum cahaya yang belum ada lisensinya dan memiliki keamanan sistem yang tinggi karena tidak bisa ditemukan oleh RF meter [3]. Dibalik segala keunggulannya, teknologi FSOC juga memiliki kekurangan. Teknologi ini menggunakan atmosfer atau udara sebagai media propagasinya yang pastinya memiliki gangguan dan menyebabkan rugi-rugi. Kondisi lingkungan meliputi cuaca merupakan penyebab dari gangguan tersebut yang sangat berpengaruh pada kinerja teknologi FSOC. Gangguan FSOC juga berasal dari kabut, sintilasi, hamburan, obstruksi dan pergeseran bangunan yang salah satu penyebabnya yaitu bencana alam gempa bumi. Gempa bumi menyebabkan posisi perangkat FSOC menjadi bergeser dan arah pancarnya juga menjadi bergeser tidak seperti semula. Sebelumnya sudah ada beberapa penelitian mengenai FSOC. Sedangkan untuk *multiple access* NOMA memiliki keunggulan bisa menggunakan frekuensi yang sama. Oleh karena itu, NOMA dapat menghemat penggunaan resource frekuensi.

Pada penelitian ini menggunakan NOMA pada teknologi FSOC dalam tiga kondisi cuaca. Hal tersebut digunakan untuk menguji dan membandingkan kualitas BER dalam tiga kondisi cuaca yaitu cerah, hujan ringan dan hujan lebat. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi penggunaan NOMA pada FSOC untuk pengembangan penelitian lainnya.

II. KAJIAN TEORI

A. *Free Space Optical Communication*

FSOC merupakan salah satu sistem komunikasi optik yang tidak menggunakan kabel atau yang biasa disebut dengan *Optical Wireless Communication (OWC)*. FSOC bekerja pada panjang gelombang 750 – 1600 nm. Media propagasi yang digunakan berupa atmosfer (*free space*). FSOC menggunakan *full duplex* sebagai mode transmisinya [5].

Dalam proses pentransmisian terdapat faktor yang mempengaruhi FSOC yaitu *atmospheric channel* yang terdiri dari redaman. Hal tersebut dapat menyebabkan nilai redaman menjadi semakin besar dan menyebabkan informasi yang diterima *receiver* optik menjadi tidak sempurna.

Spesifikasi yang digunakan pada sistem FSOC yaitu :

Tabel 1 Parameter Sistem FSOC

No.	Parameter	Nilai
1.	Daya Pancar Rata-rata (P_t)	0,75 mW
2.	Receiver Aperture Diameter (d_2)	20 cm
3.	Diameter Pemancar Optik (d_1)	5 cm
4.	Resistansi Beban (R_L)	50 Ω
5.	Responsivitas APD (R)	20 A/W
6.	Sudut Divergensi (θ)	2 mrad
7.	Lambda	800 nm
8.	Jarak User 1	0,1 – 1 km
9.	Jarak User 2	0,2 – 2 km
10.	Jarak User 3	0,3 – 3 km

B. Redaman Geometrik

Redaman geometrik merupakan redaman yang terjadi akibat penyimpangan berkas cahaya antara transmitter dan receiver optik. Selain itu terdapat sudut divergensi yang mempengaruhi penyimpangan cahaya. Sudut divergensi adalah lebar berkas cahaya yang dipancarkan oleh laser. Semakin kecil nilai sudut divergensi yang digunakan maka semakin tinggi intensitas cahaya. Untuk perhitungan redaman geometrik menggunakan rumus sebagai berikut [4]:

$$L_{geometrik}(dB) = 10 \cdot \log\left(\frac{d_2}{d_1 + 100L\theta}\right)$$

dengan $L_{geometrik}$ sebagai redaman geometrik (dB), d_1 sebagai diameter pemancar optik (cm), d_2 sebagai diameter penerima optik, L sebagai jarak pengirim dengan penerima dan θ sebagai sudut divergensi (mrad).

C. Redaman Sintilasi

Sebelum mendapatkan nilai redaman sintilasi harus menghitung nilai variansi sintilasi menggunakan rumus berikut [4]:

$$\sigma_x^2 = 1,23 \cdot C_n^2 \cdot k^7 \cdot L^{\frac{11}{6}}$$

dengan σ_x^2 sebagai variansi sintilasi (dB²), C_n^2 sebagai parameter struktur indeks bias, k sebagai gelombang yang didapat dari perhitungan ($2\pi/\lambda$) dengan satuan rad/m dan L sebagai jarak pemancar dengan penerima (m). Untuk mendapatkan nilai redaman sintilasi menggunakan rumus [4]:

$$L_{sint} = 2 \cdot \sigma_x^2$$

dengan L_{sint} sebagai redaman sintilasi.

D. Redaman Atmosfer

Cuaca merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi komunikasi FSOC. Tidak hanya hujan yang sudah pasti menghambat proses penransmisian data, cuaca cerah juga bisa menjadi hambatan. Cuaca yang teramat panas akan menyebabkan kondisi fatamorgana. Hal tersebut bisa mengakibatkan arah pancar menjadi menyimpang. Adapun

ketetapan nilai redaman atmosfer (a) berdasarkan jarak visibilitas dalam kondisi cuaca cerah yaitu :

1. Jarak pandang 20 km dengan $a = 0.54$ dB/ pada kondisi clear air.
2. Jarak pandang 5.9 km dengan $a = 2$ dB/km pada kondisi light rain.
3. Jarak pandang 1.9 km dengan $a = 6.9$ dB/km pada kondisi strong rain.

Sedangkan untuk perhitungannya dilakukan menggunakan rumus [4]:

$$L_{atmosfer} = a \cdot L$$

dengan $L_{atmosfer}$ sebagai redaman atmosfer, a sebagai parameter atenuasi (dB/km) dan L sebagai jarak (km).

E. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)

Sumber optik terbagi menjadi dua jenis yaitu LASER dan Light Emitting Diode (LED). Adapun perbedaan yang menonjol antara LASER dan LED yaitu jarak pancar dan daerah cakupan. LASER memiliki jarak pancar yang lebih jauh dibandingkan oleh LED. Namun daerah cakupan LASER lebih kecil jika dibandingkan LED sehingga LASER lebih terfokus dibandingkan LED. Oleh karena itu FSOC menggunakan LASER sebagai sumber optik. LASER merupakan alat yang digunakan untuk memancarkan cahaya monokromatik. Cahaya monokromatik merupakan cahaya yang memiliki satu panjang gelombang dan hanya satu frekuensi yang dipancarkan. Cahaya yang dipancarkan oleh LASER merupakan cahaya koheren yang akan selalu sama pada saat propagasi. Karakteristik yang dimiliki LASER yaitu pancaran yang jauh, terarah dan tidak menyebar oleh karena itu daerah cakupannya menjadi kecil [6].

F. Avalanche Photodiode (APD)

Detektor optik memiliki fungsi untuk mendeteksi cahaya yang datang. FSOC biasanya menggunakan APD sebagai detektor optik. Pada APD terjadi penggandaan foton yang menyebabkan peningkatan sensitivitas penerima. Kemudian terjadi *Impact Ionization* yaitu pelipat gandaan *electron-hole* menjadi pasangan *electron-hole* baru. Setelah itu *electron* berpindah ke daerah semikonduktor tipe n dan *hole* berpindah ke daerah semikonduktor tipe p. APD hanya akan menghasilkan arus listrik apabila dialiri tegangan mundur atau *reverse bias* [7]. Dalam APD juga terdapat daerah deplesi. Daerah deplesi adalah daerah pertemuan antara P dan N.

G. Non-Orthogonal Multiple Access

Multiple access adalah sesuatu yang diakses oleh lebih dari satu pihak secara bersamaan. NOMA merupakan teknik *multiple access* yang mampu menanggapi user pada waktu dan frekuensi yang sama. Pada tugas akhir ini menggunakan PD-NOMA arah *uplink* sebagai *multiple access*. Pada *uplink* NOMA, daya kirim tidak harus berbeda. Cara kerja PD-NOMA yaitu subcarrier bisa digunakan oleh banyak pengguna secara bersamaan menggunakan *super position coding* dan *successive interference cancellation* (SIC). NOMA menggabungkan beberapa user pada waktu dan frekuensi yang sama [8]. Pada sisi *transmitter* terdapat proses *superposition coding* yang berfungsi agar satu *subcarrier*

dapat digunakan oleh lebih dari satu user. *Superposition coding* merupakan teknik pengkodean yang dapat mengirimkan informasi dari *user* secara serentak. SIC pada sisi *receiver* memiliki fungsi untuk mendeteksi *user* secara bersamaan dan digunakan pada *user* untuk menghapus sinyal yang dikirimkan oleh *user* lain [9]. SIC bekerja dengan mengganggu *user* lain sebagai gangguan setelah itu melakukan modulasi dan mengurangi interferensi *user* agar dapat mendeteksi *user* setelahnya. Pada *user* 1 tidak terdapat proses SIC, *user* 2 dan *user* 3 dianggap sebagai pengganggu proses transmisi. Setelah itu, pada proses transmisi *user* 2, informasi pada *user* 1 sudah dihapus oleh SIC, sehingga *user* 2 hanya mendapatkan interferensi dari *user* 3 saja. Selanjutnya, informasi dari *user* 2 akan dihapus oleh SIC yang menyebabkan *user* 3 tidak mendapatkan interferensi dari *user* lainnya.

H. Static Power Allocation (SPA)

Static Power Allocation (SPA) merupakan salah satu teknik alokasi daya secara acak yang digunakan pada NOMA. Teknik ini mengalokasikan daya kepada user sesuai dengan kondisi kanal. Secara sistematis dapat dijabarkan sebagai berikut [10] :

$$\begin{aligned}\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 &= 1 \\ \alpha_1 &> \alpha_2 > \alpha_3 \\ \alpha_1 &> \alpha_2 + \alpha_3\end{aligned}$$

Dengan α_1 sebagai alokasi daya pada user 1, α_2 sebagai alokasi daya pada user 2 dan α_3 sebagai alokasi daya pada user 3.

I. Daya Terima

Untuk menghitung nilai daya terima menggunakan rumus sebagai berikut :

$$PR_n = \alpha_n \cdot P_T \cdot L_{atm} \cdot L_{geo} \cdot X$$

dengan α_n sebagai alokasi daya user-n, L_{atm} sebagai redaman atmosfer yang terdiri dari $L_{clearair}$ dan L_{sint} dan X sebagai variasi fading sinyal.

J. Modulasi On-Off Keying

Modulasi adalah proses penumpangan sinyal informasi terhadap sinyal pembawa. Selain modulasi, terdapat proses demodulasi. Demodulasi merupakan proses pengembalian sinyal informasi yang sudah di modulasi. Modulasi terbagi menjadi dua, yaitu modulasi analog dan modulasi digital. Modulasi analog merupakan proses penumpangan sinyal informasi berupa sinyal analog yang memiliki frekuensi lebih rendah kepada sinyal pembawa yang memiliki frekuensi lebih tinggi. Sedangkan modulasi digital adalah proses penumpangan sinyal digital kepada sinyal pembawa. Adapun perbedaan antara modulasi digital yaitu terdapat pada bentuk sinyal informasinya. Pada modulasi analog menggunakan bentuk analog sebagai sinyal informasi dan sinyal pembawa, sedangkan pada modulasi digital menggunakan bentuk digital pada sinyal informasi dan bentuk analog pada sinyal pembawa. Pada tugas akhir ini menggunakan teknik modulasi OOK yang merupakan salah satu jenis modulasi digital.

K. Signal to Interference Noise Ratio (SINR)

SINR digunakan sebagai acuan dalam analisis performansi FSOC. Perhitungan SINR digunakan untuk menentukan kualitas pengiriman sinyal yang terpengaruh dengan sinyal derau. SINR merupakan perbandingan antara sinyal dengan interferensi serta *noise* yang ada. Dan juga membandingkan antara daya yang diterima dengan daya yang dikirim serta interferensi dan *noise*. Sedangkan parameter yang digunakan untuk SINR adalah :

Tabel 2 Parameter SINR

No.	Parameter	Nilai
1.	Bandwidth (B)	1 GHz
2.	Besar Muatan Elektron (q)	$1,6 \times 10^{-19}$ C
3.	Konstanta Boltzman (k)	$1,38 \times 10^{-23}$ J/K
4.	Temperatur (T)	298 K
5.	Multiplikasi (m)	40
6.	Responsivitas (R)	20 A/W

Nilai SINR untuk FSOC dapat diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut [1]:

$$SINR_1 = \frac{(R \cdot PR_1 \cdot m)^2}{(R \cdot P_T \cdot \alpha_2 \cdot H_1) + (R \cdot P_T \cdot \alpha_3 \cdot H_1) + 2q_i s B + 4kTB/R_L}$$

$$SINR_2 = \frac{(R \cdot PR_2 \cdot m)^2}{(R \cdot P_T \cdot \alpha_3 \cdot H_2) + 2q_i s B + 4kTB/R_L}$$

$$SINR_3 = \frac{(R \cdot PR_3 \cdot m)^2}{2q_i s B + 4kTB/R_L}$$

dengan $SINR_1$ sebagai SINR pada *user* 1, $SINR_2$ sebagai SINR pada *user* 2, $SINR_3$ sebagai SINR pada *user* 3, α_1 sebagai alokasi daya *user* 1, α_2 sebagai alokasi daya *user* 2, α_3 sebagai alokasi daya *user* 3, R sebagai responsivitas penerima, PR sebagai daya penerima, m sebagai multiplikasi pada APD, q sebagai besar muatan elektron, i_s sebagai arus sinyal yang diterima, k sebagai konstanta boltzman, T sebagai temperatur dan R_L sebagai resistansi beban.

L. Quality Factor

Q-Factor merupakan salah satu parameter yang menentukan performa sistem FSOC. Q-Factor juga merupakan representasi dari SINR dalam komunikasi biner. Perhitungannya menggunakan rumus :

$$Q_n = \frac{10 \cdot \left(\frac{SINR_n}{20}\right)}{2}$$

dengan Q_n sebagai Q-Factor dan $SINR_n$ sebagai SINR *user* ke-n.

M. Bit Error Rate

Parameter untuk menentukan performansi FSOC yaitu BER. BER merupakan parameter untuk membandingkan jumlah bit yang rusak dengan jumlah semua bit yang dikirim. Semakin kecil nilai BER menandakan semakin sedikit bit yang rusak. Semakin sedikit bit yang rusak berarti bahwa kualitas transmisi data semakin bagus. Begitu juga sebaliknya, semakin banyak bit yang rusak maka nilai BER akan semakin besar dan semakin jelek kualitas transmisi data.

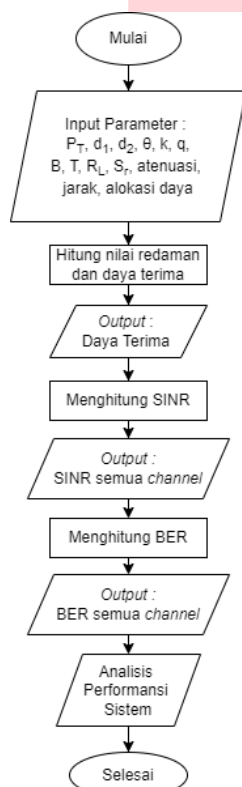
Hal tersebut menunjukkan bahwa hanya boleh terdiri dari satu bit yang rusak dari total satu miliar bit yang dikirimkan [7].

$$BER = \frac{\exp\left(-\frac{Q^2}{2}\right)}{Q\sqrt{2\pi}}$$

dengan Q sebagai Q -Factor.

III. METODE

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis performansi FSOC menggunakan NOMA. Penelitian ini dilakukan menggunakan tiga kondisi cuaca yaitu cerah, hujan ringan dan hujan lebat. Secara umum diagram alir sistem penelitian ini memiliki alur kerja seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Desain Alir Sistem

Blok diagram terbagi menjadi tiga bagian yaitu *transmitter* (Tx), *atmospheric channel* dan *receiver* (Rx). Blok Tx berfungsi untuk mengirimkan pesan kepada blok Rx melewati *atmospheric channel*. Sedangkan sisi Rx berfungsi untuk menerima sinyal yang dikirim. Pada blok Tx terdapat proses modulasi yaitu proses penumpangan sinyal informasi kepada sinyal pembawa, *driver circuit* dan LASER sebagai sumber optik. *Atmospheric channel* merupakan blok yang memengaruhi kualitas pengiriman pesan. Karena dalam blok tersebut terdapat pengaruh turbulensi yang bisa menyebabkan terganggunya arah sinar dan derau yang semakin tinggi. Sedangkan pada blok Rx yang menggunakan APD sebagai detektor optik terdapat proses demodulasi yaitu proses pemisahan sinyal informasi dari sinyal pembawa. Pada sisi penerima, setiap user menggunakan SIC sebagai proses decode dan menerima informasi yang dikirim oleh transmitter.

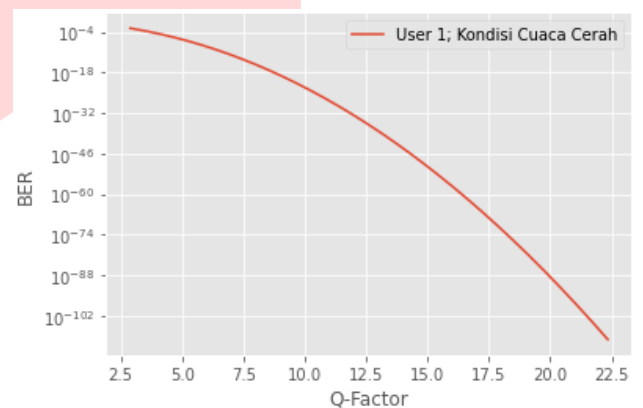
Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu jarak antara pemancar dan penerima, panjang gelombang, LASER, APD serta temperatur. Nilai SINR dan BER dihitung untuk menganalisis performansi dari sistem FSOC yang menggunakan NOMA sebagai multiple access dan OOK sebagai jenis modulasi. Dari hasil SINR dan BER tersebut akan menunjukkan angka yang menentukan kualitas pentransmisian sinyal.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan SINR dan Q -Factor diperoleh nilai BER yang terdiri dari tiga *user*. Berikut merupakan analisis dari masing-masing kondisi cuaca dengan atenuasi atmosfer yang berbeda.

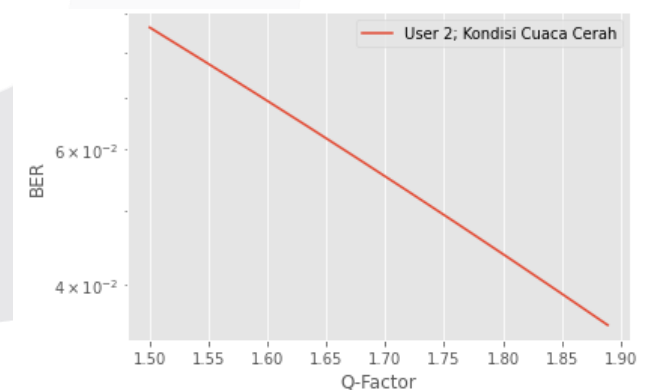
A. Analisis Nilai BER Pada Kondisi Cuaca Cerah

Nilai BER pada kondisi cuaca cerah menggunakan atenuasi atmosfer dengan nilai 0,54 dB/km dan jarak pandang sejauh 20 km.



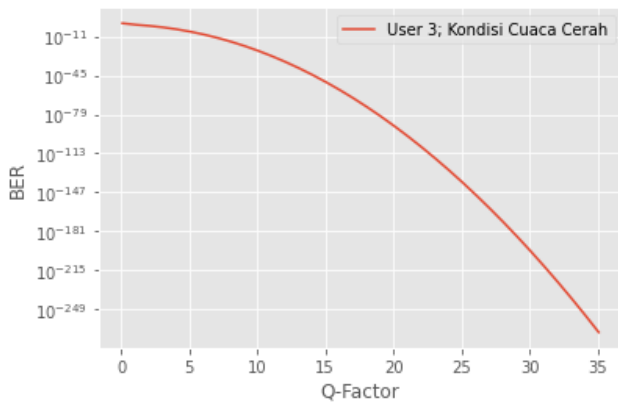
Gambar 2. BER User 1 Kondisi Cuaca Cerah

Nilai BER yang diperoleh pada *user 1* berada pada rentang $7,36 \times 10^{-111}$ sampai dengan $2,18 \times 10^{-3}$. Dengan nilai Q -Factor dari 2,88 sampai dengan 22,34.



Gambar 3. BER User 2 Kondisi Cuaca Cerah

Hasil perhitungan BER yang diperoleh pada *user 2* berada pada rentang $3,5 \times 10^{-2}$ sampai dengan $6,9 \times 10^{-2}$. Dengan nilai Q -Factor dari 0,16 sampai dengan 1,32.



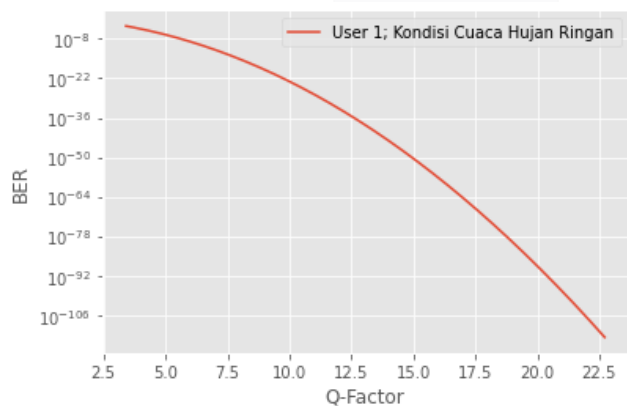
Gambar 4. BER User 3 Kondisi Cuaca Cerah

Hasil perhitungan BER yang diperoleh pada user 3 yaitu $9,41 \times 10^{-275}$. Dengan nilai Q-Factor yang diperoleh yaitu 35,4.

Dari hasil perhitungan nilai BER pada kondisi cuaca cerah dapat dilihat bahwa user 1 lebih optimal dibandingkan user lainnya. Hal tersebut disebabkan karena user 1 mendapatkan alokasi daya paling besar. Sedangkan untuk BER pada user 3 nilainya sangat kecil karena user 3 tidak mendapatkan interferensi dari user lainnya.

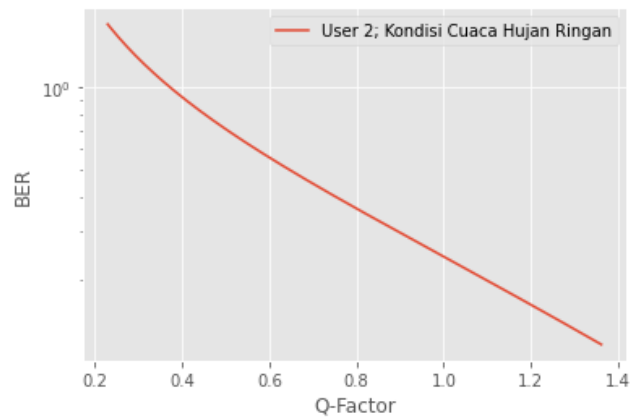
B. Analisis Nilai BER Pada Kondisi Cuaca Hujan Ringan

Nilai BER pada kondisi cuaca hujan ringan menggunakan atenuasi atmosfer dengan nilai 2 dB/km dan jarak pandang sejauh 5,9 km.



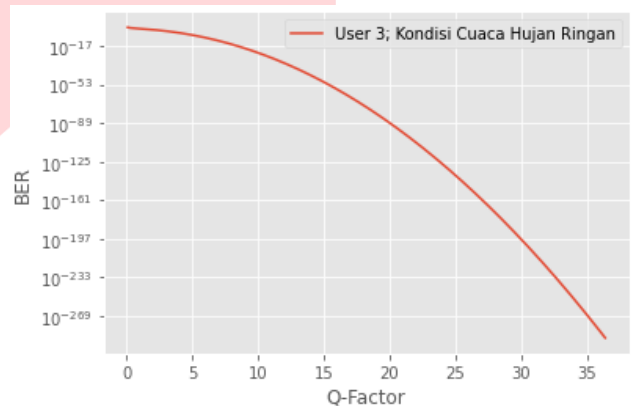
Gambar 5. BER User 1 Pada Kondisi Cuaca Hujan Ringan

Nilai BER yang diperoleh pada user 1 berada pada rentang $1,43 \times 10^{-114}$ sampai dengan $3,51 \times 10^{-4}$. Dengan nilai Q-Factor dari 3,41 sampai dengan 22,72.



Gambar 6. BER User 2 Pada Kondisi Cuaca Hujan Ringan

Hasil perhitungan BER yang diperoleh pada user 2 berada pada rentang $1,16 \times 10^{-1}$ sampai dengan $1,69$. Dengan nilai Q-Factor dari 0,23 sampai dengan 1,36.



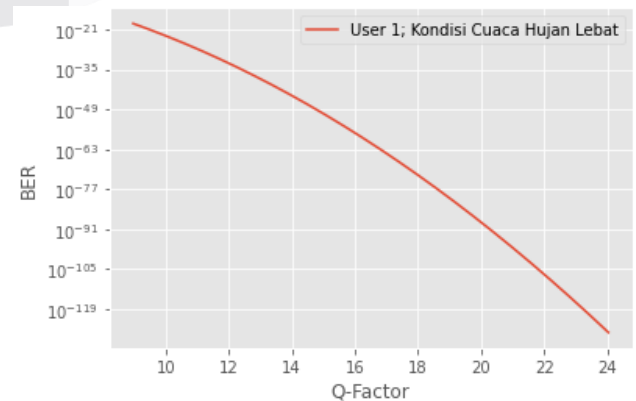
Gambar 7. BER User 3 Pada Kondisi Cuaca Hujan Ringan

Hasil perhitungan BER yang diperoleh pada user 3 yaitu $9,41 \times 10^{-275}$. Dengan nilai Q-Factor yang diperoleh yaitu 35,4.

Jika dibandingkan dengan kondisi cuaca cerah, pada kondisi cuaca hujan ringan nilai Q-Factor berbanding terbalik dengan nilai BER. Semakin besar nilai Q-Factor maka nilai BER semakin kecil.

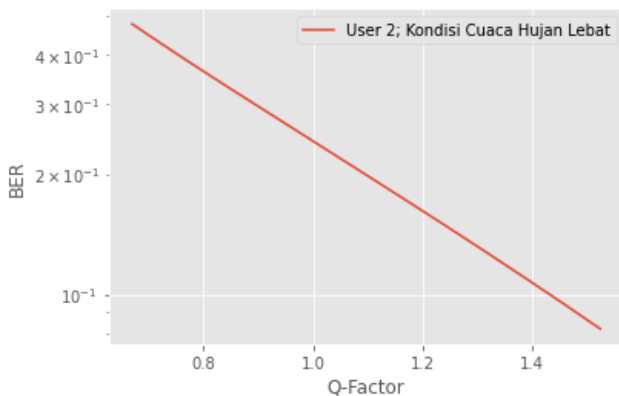
C. Analisis Nilai BER Pada Kondisi Cuaca Hujan Lebat

Nilai BER pada kondisi cuaca hujan lebat menggunakan atenuasi atmosfer dengan nilai 6,9 dB/km dan jarak pandang sejauh 1,9 km.



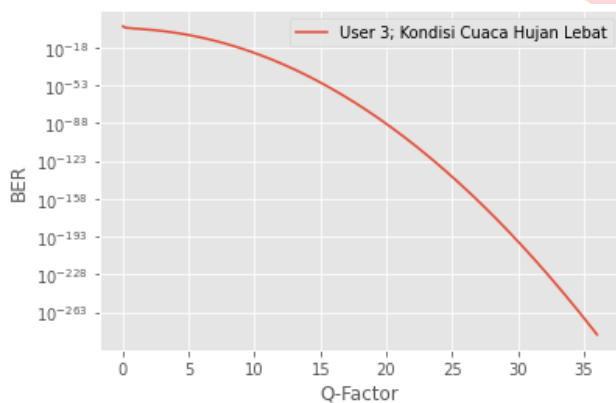
Gambar 8. BER User 1 Pada Kondisi Cuaca Hujan Lebat

Nilai BER yang diperoleh pada *user 1* berada pada rentang $5,52 \times 10^{-128}$ sampai dengan $1,46 \times 10^{-19}$. Dengan nilai Q-Factor dari 8,97 sampai dengan 24,04.



Gambar 9. BER User 2 Pada Kondisi Cuaca Hujan Lebat

Hasil perhitungan BER yang diperoleh pada *user 2* berada pada rentang $8,2 \times 10^{-2}$ sampai dengan $4,76 \times 10^{-1}$. Dengan nilai Q-Factor dari 0,67 sampai dengan 1,52.



Gambar 10. BER User 3 Pada Kondisi Cuaca Hujan Lebat

Hasil perhitungan BER yang diperoleh pada *user 3* yaitu $9,41 \times 10^{-275}$. Dengan nilai Q-Factor yang diperoleh yaitu 35,4.

Nilai BER yang didapatkan semakin kecil hal tersebut disebabkan oleh nilai daya terima yang semakin besar. Semakin buruk kondisi cuaca, maka nilai daya terima harus semakin besar agar tetap mendapatkan kualitas performansi yang baik.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai BER kondisi cuaca cerah pada *user 1* yaitu $7,36 \times 10^{-3}$, pada *user 2* yaitu $6,9 \times 10^{-2}$ dan pada *user 3* yaitu $9,41 \times 10^{-275}$. Pada kondisi cuaca hujan ringan nilai BER pada *user 1* yaitu $3,51 \times 10^{-4}$, pada *user 2* yaitu $1,16 \times 10^{-1}$ dan pada *user 3* yaitu $9,41 \times 10^{-275}$. Sedangkan nilai BER kondisi cuaca hujan lebat pada *user 1* yaitu $1,46 \times 10^{-19}$, pada *user 2* yaitu $4,76 \times 10^{-1}$ dan pada *user 3* yaitu $9,41 \times 10^{-275}$. Nilai BER pada *user 3* semua kondisi cuaca

merupakan nilai yang paling kecil dibanding *user* lainnya, hal tersebut disebabkan karena *user 3* tidak mendapatkan interferensi dari *user* lainnya, sedangkan *user 2* mendapatkan interferensi dari *user 3* dan *user 1* mendapatkan interferensi dari *user 2* dan *user 3*.

Sedangkan untuk saran pada penelitian selanjutnya yaitu dengan menambah kondisi cuaca, mengganti *photodetector*, menggunakan *multiple access* lain dan menambahkan lebih banyak *user*.

REFERENSI

- [1] O. Widyarena, G. Hendrantoro, and A. Mauludiyanto, "Kinerja sistem komunikasi fso (free space optics) menggunakan cell-site diversity di daerah tropis," Jurnal Teknik ITS, vol. 1, no. 1, pp. A37–A43, 2012.
- [2] R. Susanti, "Performansi sistem free space optic dengan efek debu," in Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri, 2018, pp. 471–476.
- [3] R. Nurhuda, H. Wijanto, and B. Pamukti, "Analisis perbandingan modulasi bpsk, qpsk, 8-psk, dengan dco-ofdm pada komunikasi antar-satelit menggunakan teknologi free space optic," eProceedings of Engineering, vol. 7, no. 3, 2020.
- [4] E. A. Dahlan, O. Setyawati et al., "Analisis performansi orthogonal frequency division multiple access (ofdma) sistem free space optic (fso) dalam kondisi cuaca cerah menurut standar itu-r p. 1817," Jurnal Mahasiswa TEUB, vol. 1, no. 2, 2013.
- [5] R. B. Febrika, H. Vidyaningtyas, and M. I. Maulana, "Analisis performansi ofdm di free space optic menggunakan modulasi qam pada redaman hujan," eProceedings of Engineering, vol. 7, no. 2, 2020.
- [6] F. N. Rahmawati, A. Hambali, and M. I. Maulana, "Analisis kinerja kanal berkabut pada free space optics," eProceedings of Engineering, vol. 6, no. 3, 2019.
- [7] R. Mitrada, A. H. W. Abdulhadi, and M. I. Maulana, "Analisis pengaruh redaman hujan terhadap performansi ber pada sistem free space optic," eProceedings of Engineering, vol. 7, no. 1, 2020.
- [8] C.-X. Wang, F. Haider, X. Gao, X.-H. You, Y. Yang, D. Yuan, H. M. Aggoune, H. Haas, S. Fletcher, and E. Hepsaydir, "Cellular architecture and key technologies for 5g wireless communication networks," IEEE communications magazine, vol. 52, no. 2, pp. 122–130, 2014.
- [9] A. F. Imani, A. Fahmi, and N. M. Adriansyah, "Analisis pengaruh alokasi daya pada power domain non-orthogonal multiple access untuk arah downlink," eProceedings of Engineering, vol. 6, no. 2, 2019.
- [10] Z. Yang, Z. Ding, P. Fan, and N. Al-Dhahir, "A general power allocation scheme to guarantee quality of service in downlink and uplink noma systems," IEEE transactions on wireless communications, vol. 15, no. 11, pp. 7244–7257, 2016.