

DOI <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v9i1.2129>

Free Space Optic MIMO pada Kondisi Hujan dan Angin di Kota Pekanbaru

Muhammad Fachrul Afiansyah¹, Rika Susanti^{1*}, Teddy Purnamirza¹, Fitri Amillia¹

¹ Program Studi Teknik Elektro, Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No. KM. 15, Kota Pekanbaru, 28293

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: rika.susanti@uin-suska.ac.id

Abstract – The FSO communication system is a communication system that uses the atmosphere as a propagation medium for light, which is used as an optical source to transmit data to the receiver. Due to using the atmosphere as a propagation medium causes the FSO communication system to be susceptible to signal weakening caused by varying atmospheric attenuation. So, it is necessary to conduct research on FSO performance based on atmospheric conditions. This research carried out communication design using FSO technology in Pekanbaru City, analyzing the influence of rainy weather and wind data using FSO MIMO. After analyzing and optimizing the parameters contained in the FSO device to achieve the best FSO performance. The design simulation was carried out using optisystem software for Free Space Optics (FSO) analysis using the FSO MIMO technique in rainy and windy weather in Pekanbaru City. One of the impacts of using the atmosphere as a propagation medium is large attenuation. The variables analyzed by the researchers were the rain variable and the wind variable. If the laser uses power up to 10 mW at a frequency wave of 1550 nm. The simulation results of the four-channel FSO MIMO system are able to provide a maximum beam distance of up to 2 km in rainfall conditions and 8 km in windy conditions. This value was obtained through analysis of the BER and Q-Factor values in the simulation results.

Abstrak – Sistem komunikasi FSO merupakan sistem komunikasi yang menggunakan atmosfer sebagai media propagasi cahaya yang digunakan sebagai sumber optik untuk mengirimkan data ke penerima. Penggunaan atmosfer sebagai media propagasi menyebabkan sistem komunikasi FSO rentan terhadap pelemahan sinyal yang disebabkan oleh redaman atmosfer. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terhadap kinerja FSO berdasarkan kondisi atmosfer. Pada penelitian ini dilakukan analisis performansi jaringan FSO MIMO yang dipengaruhi oleh kondisi hujan dan angin di Kota Pekanbaru. Sistem FSO MIMO menggunakan empat kanal dengan daya input 10 mW pada panjang gelombang 1550 nm. Hasil simulasi sistem FSO MIMO empat saluran mampu memberikan jarak pancaran maksimum hingga 2 km pada kondisi curah hujan dan 8 km pada kondisi cuaca angin. Nilai tersebut diperoleh melalui analisis nilai BER dan Q-Faktor pada hasil simulasi.

Keywords - FSO-MIMO, BER, Optisystem

PENDAHULUAN

Telekomunikasi memiliki peranan penting pada kehidupan manusia. Permintaan pelanggan akan layanan komunikasi dengan kecepatan tinggi semakin meningkat dari waktu ke waktu. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, diperlukan suatu

jaringan transmisi dengan kapasitas *bandwidth* yang besar dan kecepatan yang tinggi [1].

Sistem transmisi data terbagi menjadi 2 yaitu, sistem transmisi *wireline* dan *wireless* [2]. Sistem transmisi *wireline* memiliki kelebihan yaitu transmisi data yang cepat dan kebal dari gangguan *noise*. Sistem *wireline* memiliki kekurangan yaitu tidak fleksibel karena jaringan *wireline* bersifat tetap (*fixedline*), cakupan areanya yang tidak luas, dan membutuhkan

biaya proses instalasi kabel yang besar. Sedangkan sistem transmisi *wireless* menggunakan media transmisi melalui udara, sehingga jaringannya lebih fleksibel dan dapat digunakan di mana saja dan kapan saja. Di samping itu, sistem transmisi *wireless* memiliki cakupan area yang luas dan biaya pemasangan yang lebih murah. Kekurangan sistem transmisi *wireless* adalah performansi transmisi yang rentan terhadap *noise* [3].

Sistem komunikasi FSO adalah sistem komunikasi dengan atmosfer sebagai media propagasi cahaya, yang digunakan sebagai sumber optik untuk mengirimkan data menuju penerima. Karena menggunakan atmosfer sebagai media propagasinya menyebabkan sistem komunikasi FSO rentan terhadap pelemahan sinyal yang disebabkan oleh redaman atmosfer yang berbeda-beda. Sehingga, perlu dilakukan penelitian mengenai performansi FSO berdasarkan kondisi atmosfer. Iklim Indonesia secara keseluruhan adalah Hujan dan Panas. Perairan yang hangat di wilayah Indonesia sangat berperan penting dalam menjaga suhu di darat tetap konstan, dengan minimum suhu 28 °C di wilayah pesisir, 26 °C di wilayah pedalaman dan dataran tinggi, serta 23 °C di wilayah pegunungan. Faktor utama yang mempengaruhi iklim Indonesia bukan merupakan suhu udara ataupun tekanan udara, melainkan adanya curah hujan dan angin yang mempengaruhi performansi FSO [4].

Sistem *Free Space Optic* (FSO) merupakan sistem komunikasi yang memanfaatkan atmosfer sebagai media propagasi cahaya, yang menggunakan sumber optik untuk mengirimkan informasi menuju penerima [3]. Sistem FSO sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti kabut, salju, hujan, dan lain-lain. Faktor ini menyebabkan penurunan daya sinyal yang diterima. Hal inilah yang mendorong perlunya dilakukan kajian tentang kondisi atmosfer terhadap performansi FSO [5].

Penelitian [6] melakukan analisis performansi FSO pada daerah hujan di Malaysia. Penelitian tersebut menggunakan 4 kanal FSO. Semakin banyak jumlah kanal FSO, jarak transmisi sistem semakin jauh. Sistem FSO dengan 1 kanal dapat mencapai jarak transmisi hingga 833,3 m, sistem dengan 2 kanal mencapai 991,0 m, 3 kanal mencapai 1075,4 m, dan 4 kanal mencapai jarak 1,1 km dengan daya yang diterima 34,5 dBm.

Kota Pekanbaru merupakan salah satu daerah yang memiliki iklim Hujan di Indonesia. Menurut BMKG, pada umumnya suhu udara maksimum

berkisar antara 34,1 °C - 35,6 °C dan suhu minimum antara 20,2 °C - 23,0 °C dengan intensitas curah hujan antara 38,6 - 435,0 mm/tahun dengan variasi curah hujan ringan, sedang, dan lebat. Daerah Kota Pekanbaru memiliki ketinggian antara 1-20 meter dengan curah hujan dalam klasifikasi sedang yaitu antara 100-200 mm per bulan. Hal tersebut dapat mengakibatkan performa FSO menjadi terganggu [7].

Kota Pekanbaru merupakan ibu kota Provinsi Riau dengan kepadatan penduduk yang tinggi. Menurut Badan Pusat Statistik Kota 2019 terdapat 1,122 juta jiwa [8]. Hal ini mengakibatkan meningkatnya kebutuhan ketersediaan akses jaringan yang memiliki kecepatan tinggi dan *bandwidth* yang besar sebagai kebutuhan utama. Ketersediaan jaringan ini menuntut perlu adanya pemasangan tiang-tiang sehingga membuat Kota Pekanbaru dipenuhi dengan kabel-kabel optik yang berserakan, sehingga mengganggu estetika struktur dan keserasian lingkungan setempat [9] [10]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, teknologi FSO merupakan salah satu solusi terbaik. Hal inilah yang mendorong penelitian ini dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem FSO menggunakan teknologi MIMO dengan memperhatikan redaman hujan dan angin di Kota Pekanbaru.

METODE

Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1,



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Pengolahan dan Pengumpulan Data

Pengolahan dan pengujian dilakukan berdasarkan cuaca iklim yang mayoritas ada di Pekanbaru. Adapun cuaca iklim yang akan diuji adalah cuaca hujan dan angin. Parameter performansi yang dianalisis adalah nilai *Q-Factor* dan *Bit Error Rate* (BER). Data curah hujan dan angin di Pekanbaru menggunakan data BPS Kota Pekanbaru tahun 2019, 2020, dan 2021 [11] [12]. Tabel 1 dan Tabel 2 menampilkan curah hujan dan kecepatan angin di Pekanbaru.

Tabel 1. Curah Hujan di Pekanbaru [11]

Bulan	Curah Hujan (mm)		
	2019	2020	2021
Januari	186	122	326
Februari	105	30	97
Maret	113	97	357
April	283	352	410
Mei	162	246	257
Juni	275	197	207
Juli	74	109	91
Agustus	46	200	199
September	54	231	311
Oktober	204	195	343
November	313	359	342
Desember	169	105	206
Rata-rata	165,33	186,91	262,16

Tabel 2. Kecepatan Angin di Pekanbaru [12]

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)		
	2019	2020	2021
Januari	3,1	1,52	6
Februari	2,2	1,5	6
Maret	2,8	1,4	6
April	2,4	1,06	7
Mei	2,7	1,47	6
Juni	3,1	1,6	6
Juli	3,7	1,79	7
Agustus	3,4	1,87	7
September	3	1,8	7
Oktober	2,8	1,15	6
November	2,5	1,26	6
Desember	2,9	1,47	6
Rata-rata	2,88	1,49	6,33

Curah hujan dan kecepatan angin dapat meredam sinyal, sehingga untuk menentukan performansi sistem FSO, nilai redaman hujan dan angin perlu dihitung terlebih dahulu. Nilai redaman ini yang digunakan dalam simulasi yang untuk selanjutnya sistem FSO diverifikasi sesuai standar yang telah ditetapkan [4]. Untuk memprediksi statistik redaman optik dari statistik visibilitas untuk memperkirakan jangkauan sistem FSO, hubungan antara visibilitas dan redaman harus diketahui.

Redaman Hujan

Istilah yang disebut “*specific attenuation*” digunakan untuk merepresentasikan atenuasi per satuan panjang yang dinyatakan dalam dB/km dengan persamaan berikut [13]:

$$Y_{rain} = K \times R^{\alpha} \quad (1)$$

di mana:

Y_{rain} = redaman hujan (dalam dB/km)

R = laju hujan (dalam mm/jam)

K dan α = koefisien hujan

Nilai K dan α diperoleh berdasarkan ITU-R P.838-3 [14]. Nilai K dan α dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$k = \frac{[k_H + k_v + (k_H - k_v) \cos^2 \theta \cos 2\tau]}{2} \quad (2)$$

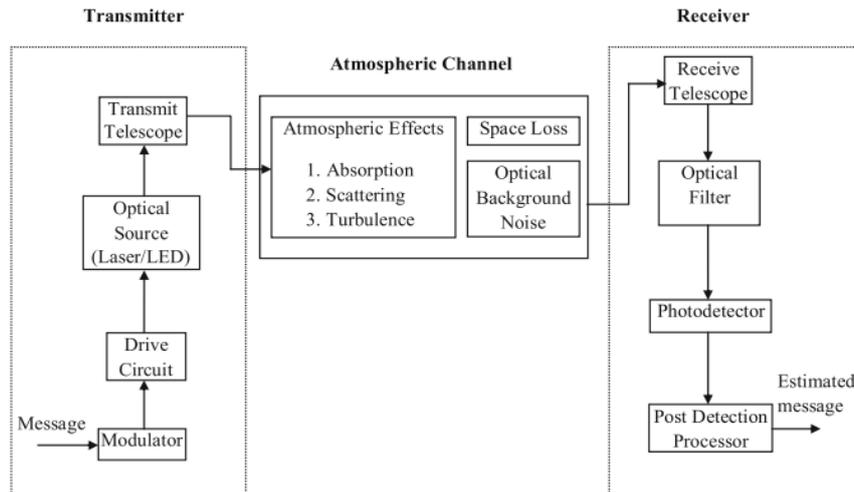
$$\alpha = \frac{[k_H a_H + k_v a_v + (k_H a_H - k_v a_v) \cos^2 \theta \cos 2\tau]}{2k} \quad (3)$$

τ adalah sudut miring polarisasi relatif terhadap horizontal ($\tau = 45^\circ$ untuk polarisasi circular). Koefisien untuk estimasi redaman hujan spesifik berdasarkan ITU-RP.838-3 dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

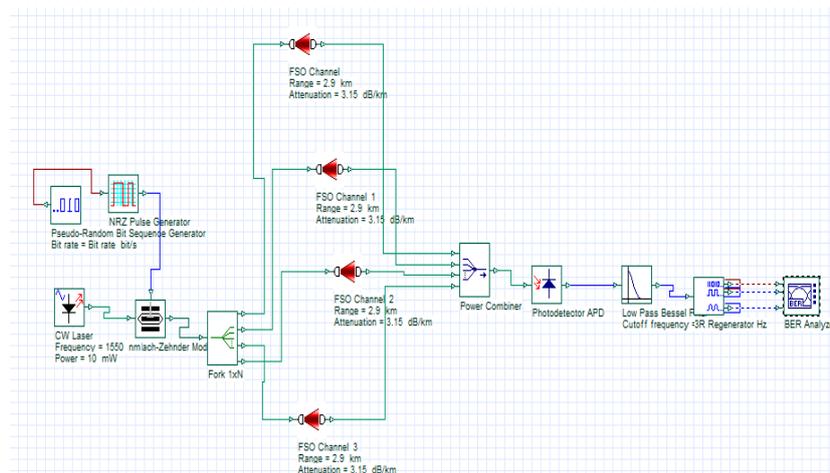
Tabel 3. Koefisien untuk Estimasi Redaman Hujan

Frekuensi (GHz)	k_H	a_H	k_v	a_v
1	0.0000259	0.9691	0.0000308	0.8592
1.5	0.0000443	1.0185	0.0000574	0.8957
2	0.0000847	1.0664	0.0000998	0.949
2.5	0.0001321	1.1209	0.0001464	1.0085
3	0.000139	1.2322	0.0001942	1.0688
3.5	0.0001155	1.4189	0.0002346	1.1387
4	0.0001071	1.6009	0.0002461	1.2476
4.5	0.000134	1.6948	0.0002347	1.3987
5	0.0002162	1.6969	0.0002428	1.5317
5.5	0.0003909	1.6499	0.0003115	1.5882
6	0.0007056	1.59	0.0004878	1.5728
7	0.001915	1.481	0.001425	1.4745
8	0.004115	1.3905	0.00345	1.3797
9	0.007535	1.3155	0.006691	1.2895
10	0.01217	1.2571	0.01129	1.2156

Berdasarkan Tabel 3, maka nilai K dan α untuk sistem komunikasi dengan frekuensi 2,4 GHz adalah 0,00013925 dan 1,0618.



Gambar 2. Blok Diagram



Gambar 3. Sistem FSO MIMO 4 Kanal

Redaman Angin

Pada sistem FSO, energi turbulen, arah, dan kecepatan angin perlu diperhatikan. Energi turbulen angin di setiap arah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [15]:

$$E_t = \frac{1}{2N} \text{Rata - Rata kecepatan angin} \quad (4)$$

di mana N adalah banyaknya data yang digunakan.

Blok Diagram Sistem FSO

Blok diagram sistem komunikasi FSO dapat dilihat pada Gambar 2.

Sistem terdiri dari tiga bagian subsistem yaitu pemancar (*transmitter*), saluran transmisi (*channel*) dan penerima (*receiver*). *Transmitter* berfungsi untuk memodulasi sinyal informasi ke sinyal pembawa optik yang kemudian disebarkan melalui atmosfer ke penerima. Komponen penting dari

pemancar adalah (a) modulator, (b) rangkaian driver untuk sumber optik untuk menstabilkan radiasi optik terhadap fluktuasi suhu, dan (c) kolimator atau teleskop yang mengumpulkan, mengkolaborasikan, dan mengarahkan radiasi optik ke arah penerima.

Gambar 3 menampilkan sistem FSO MIMO. Sistem FSO MIMO disimulasikan menggunakan *software Optisystem 7.0*. Pengaturan parameter perlu dilakukan sebelum melakukan simulasi. *Bitrate* yang digunakan pada penelitian ini adalah 10 Gbps. Simulasi dilakukan untuk jarak transmisi dari 1 km hingga 8 km untuk mengetahui seberapa jauh jangkauan yang bisa dicapai oleh sistem MIMO FSO dengan kondisi curah hujan dan angin di Pekanbaru. *Transmitter aperture* diameter 5 cm dan *receiver aperture* diameter 20 cm. MIMO FSO dihubungkan secara paralel menggunakan *fork 1xN* kemudian disatukan menggunakan *power combiner*, sehingga daya pancar akan semakin besar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data pada Tabel 1 dan Persamaan (1), (2), dan (3), diperoleh nilai redaman hujan tahun 2019 s.d. tahun 2021 sebagai berikut:

- a. Redaman hujan tahun 2019

$$Y_{rain} = K \times R^a$$

$$Y_{rain} = 0,00013925 \times 165,33^{1,0618}$$

$$Y_{rain} = 3,15 \text{ dB/km}$$

- b. Redaman hujan tahun 2020

$$Y_{rain} = K \times R^a$$

$$Y_{rain} = 0,00013925 \times 186,91^{1,0618}$$

$$Y_{rain} = 3,59 \text{ dB}$$

- c. Redaman hujan tahun 2021

$$Y_{rain} = K \times R^a$$

$$Y_{rain} = 0,00013925 \times 262,16^{1,0618}$$

$$Y_{rain} = 5,15 \text{ dB}$$

Berdasarkan data pada Tabel 2 dan Persamaan (4), diperoleh nilai redaman yang disebabkan oleh kecepatan angin di Pekanbaru pada tahun 2019 s.d. tahun 2021 sebagai berikut:

- a. Redaman angin tahun 2019

$$E_t = \frac{1}{2N} \text{Rata} - \text{Rata kecepatan angin}$$

$$E_t = \frac{1}{2 \times 12} 2,88$$

$$E_t = 0,12$$

- b. Redaman angin tahun 2020

$$E_t = \frac{1}{2N} \text{Rata} - \text{Rata kecepatan angin}$$

$$E_t = \frac{1}{2 \times 12} 1,49$$

$$E_t = 0,06$$

- c. Redaman angin tahun 2021

$$E_t = \frac{1}{2N} \text{Rata} - \text{Rata kecepatan angin}$$

$$E_t = \frac{1}{2 \times 12} 6,33$$

$$E_t = 0,26$$

Nilai rata-rata curah hujan dan kecepatan angin serta nilai redaman hujan dan redaman angin dapat dilihat pada Tabel 4. Nilai redaman hujan dan redaman angin hasil perhitungan ini yang digunakan di dalam mensimulasikan sistem FSO MIMO.

Tabel 4. Parameter Simulasi untuk Nilai Redaman FSO

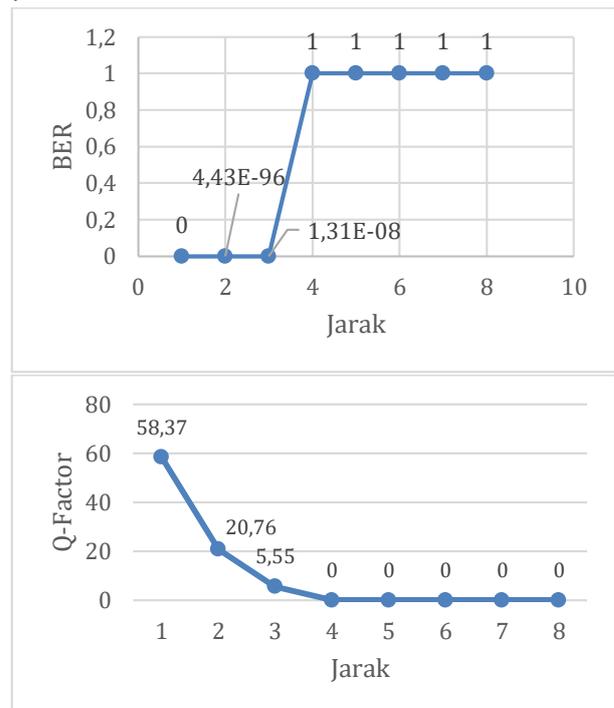
Uraian	Tahun		
	2019	2020	2021
Rata-rata hujan (mm/jam)	165,33	186,91	262,16
Redaman hujan (dB/km)	3,15	3,59	5,15
Rata-rata curah angin (m/s)	2,88	1,49	6,33
Redaman angin (dB/km)	0,12	0,07	0,26

Kondisi Cuaca Hujan

Simulasi dilakukan dengan tiga percobaan yaitu dengan penambahan FSO empat kanal dan menguji pada kondisi cuaca hujan tahun 2019, cuaca hujan tahun 2020 dan cuaca hujan tahun 2021 di Kota Pekanbaru, sumber kondisi cuaca hujan dirujuk ke dalam website BPS data tahun 2022.

Hasil Pengujian pada Cuaca Hujan Tahun 2019

Karakterisasi dilakukan dengan penambahan FSO MIMO empat kanal hujan tahun 2019. Penambahan FSO ini dilakukan dengan attenuation 3,15 dBkm. Grafik hasil pengujian berdasarkan data tahun 2019 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. FSO MIMO Empat Kanal pada Kondisi Hujan Tahun 2019. (Atas) BER (Bawah) Q-Factor

Gambar 4 menunjukkan FSO MIMO empat kanal pada kondisi hujan tahun 2019, hasil simulasi pada rangkaian menggunakan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi hujan tahun 2019 menunjukkan jarak terjauh yang dijangkau berjarak 3 km, hasil lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.

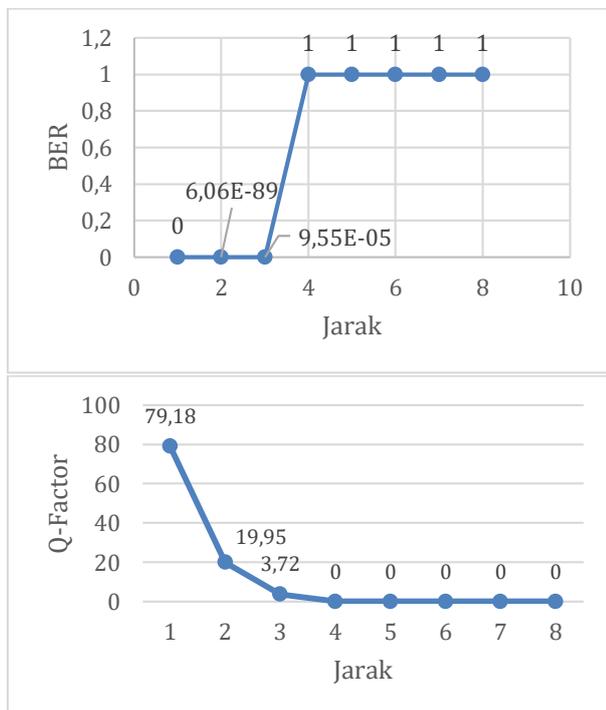
Tabel 5. Hasil Simulasi FSO MIMO Empat Kanal pada Kondisi Hujan Tahun 2019

Jarak	BER	Q-Factor
1	0	58,37
2	4,43E-96	20,76
3	1,31E-08	5,55
4	1	0

Jarak	BER	Q-Factor
5	1	0
6	1	0
7	1	0
8	1	0

Hasil simulasi pada Tabel 5 menggunakan FSO-MIMO empat kanal dengan kondisi cuaca hujan tahun 2019 di Pekanbaru menunjukkan bahwa jarak maksimal yang ditempuh berjarak 3 km dengan nilai Q-Factor menunjukkan nilai 5,55 dan BER menunjukkan pada nilai $1,31 \times 10^{-08}$. Hasil simulasi pada penambahan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi hujan sudah berada pada kriteria yang dibutuhkan.

Hasil Pengujian pada Cuaca Hujan Tahun 2020



Gambar 5. FSO MIMO Empat Kanal pada Kondisi Hujan Tahun 2020 (Atas) BER (Bawah) Q-Factor

Attenuation yang dilakukan dengan nilai 3,59 dBkm. Hasil simulasi dengan nilai tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan FSO MIMO empat kanal pada kondisi hujan tahun 2020. Hasil simulasi pada rangkaian menggunakan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi hujan tahun 2020 mendapatkan hasil dengan jarak tempuh terjauh pada jarak 3 km. Hasil lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Simulasi FSO MIMO Empat Kanal pada Kondisi Hujan Tahun 2020

Jarak	BER	Q-Factor
1	0	79,18
2	6,06E-89	19,95
3	9,55E-05	3,72
4	1	0
5	1	0
6	1	0
7	1	0
8	1	0

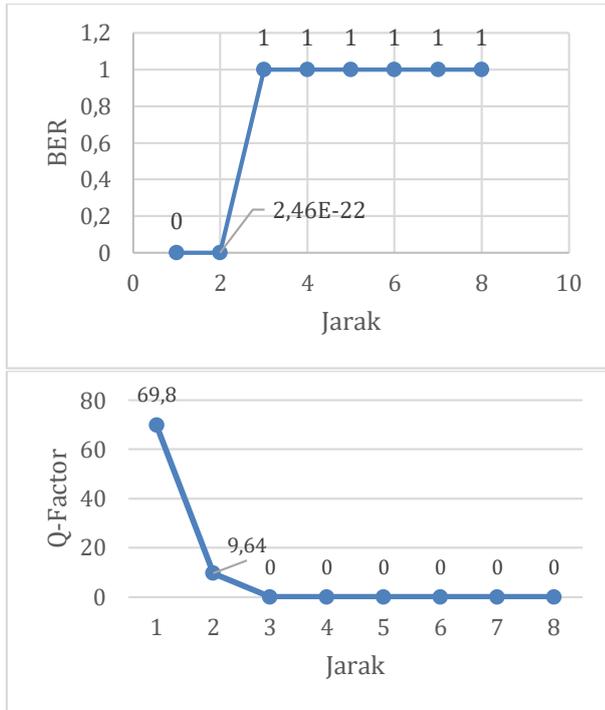
Hasil simulasi pada Tabel 6 menggunakan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi cuaca hujan tahun 2020 di Pekanbaru menunjukkan bahwa jarak maksimal yang ditempuh berjarak 3 km dengan nilai Q-Factor menunjukkan nilai 3,72 dan BER menunjukkan pada nilai $9,55 \times 10^{-05}$. Hasil simulasi pada penambahan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi hujan sudah berada pada kriteria yang dibutuhkan.

Hasil Pengujian pada Cuaca Hujan Tahun 2021

Attenuation yang dilakukan dengan nilai 5,15 dBkm. Hasil simulasi dengan nilai tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan FSO MIMO empat kanal pada kondisi hujan tahun 2021. Hasil simulasi pada rangkaian menggunakan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi hujan tahun 2021 mendapatkan hasil dengan jarak tempuh terjauh pada jarak 2 km. Hasil lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 7.

Hasil simulasi pada Tabel 7 menggunakan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi cuaca hujan tahun 2021 di Pekanbaru menunjukkan bahwa jarak maksimal yang ditempuh berjarak 2 km dengan nilai Q-Factor menunjukkan nilai 9,64 dan BER menunjukkan pada nilai $2,46 \times 10^{-22}$. Hasil simulasi pada penambahan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi hujan sudah berada pada kriteria yang dibutuhkan.



Gambar 6. FSO MIMO Empat Kanal pada Kondisi Hujan tahun 2021 (Atas) BER (Bawah) Q-Factor

Tabel 7. Hasil Simulasi FSO MIMO Empat Kanal pada Kondisi Hujan Tahun 2021

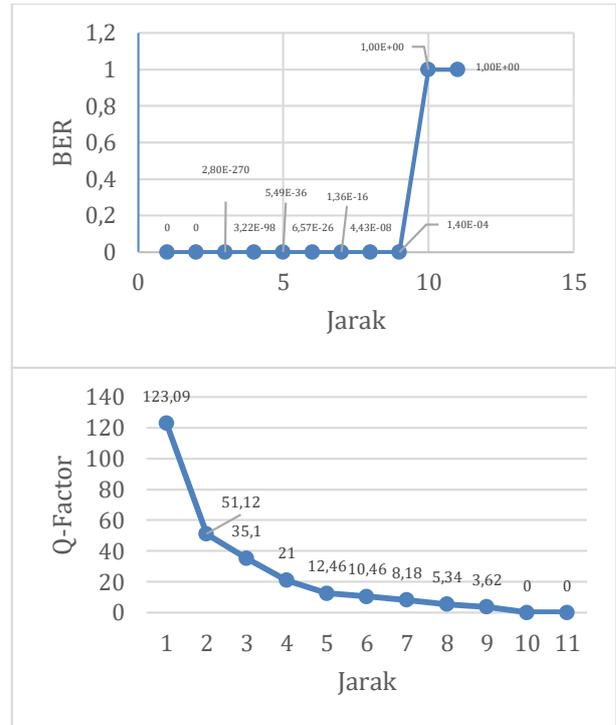
Jarak	BER	Q-Factor
1	0	69,8
2	2,46E-22	9,64
3	1	0
4	1	0
5	1	0
6	1	0
7	1	0
8	1	0

Kondisi Cuaca Angin

Simulasi dilakukan dengan tiga percobaan yaitu dengan cuaca angin di tahun 2019, 2020 dan 2021, serta melakukan percobaan pada kondisi cuaca di Kota Pekanbaru.

Hasil Pengujian pada Cuaca Angin Tahun 2019

Karakterisasi dilakukan dengan penambahan FSO MIMO empat kanal cuaca angin tahun 2019. Penambahan FSO ini dilakukan dengan *attenuation* 0,12 dBkm. Grafik hasil pengujian berdasarkan data tahun 2019 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. FSO MIMO Empat Kanal Pada Kondisi Angin tahun 2019 (Atas) BER (Bawah) Q-Factor

Gambar 7 menunjukkan FSO MIMO empat kanal pada kondisi angin tahun 2019. Hasil simulasi pada rangkaian menggunakan FSO-MIMO empat kanal dengan kondisi cuaca angin tahun 2019 mendapatkan hasil dengan jarak tempuh terjauh pada jarak 9 km. Hasil lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Simulasi FSO MIMO Empat Kanal pada Kondisi Angin Tahun 2019

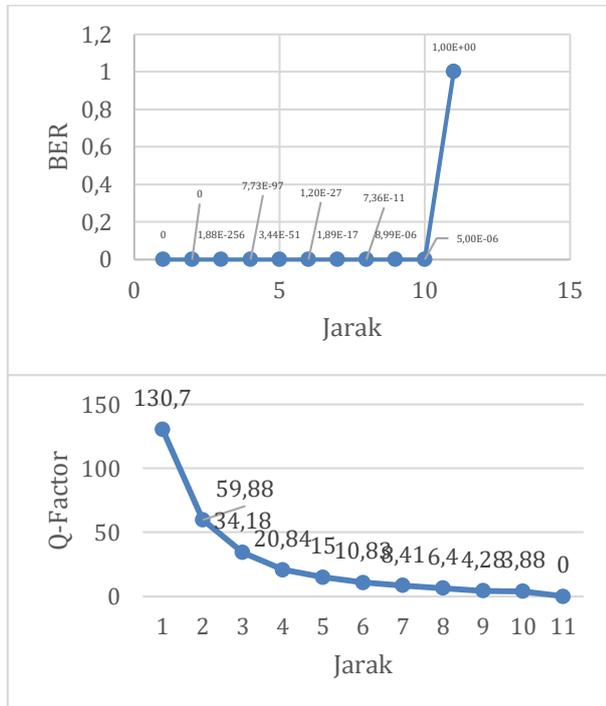
Jarak	BER	Q-Factor
1	0	123,09
2	0	51,12
3	2,80E-270	35,1
4	3,22E-98	21
5	5,49E-36	12,46
6	6,57E-26	10,46
7	1,36E-16	8,18
8	4,43E-08	5,34
9	1,40E-04	3,62
10	1,00E+00	0

Hasil simulasi pada Tabel 8 menggunakan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi curah angin tahun 2019 di Pekanbaru menunjukkan bahwa jarak maksimal yang ditempuh berjarak 10 km dengan nilai *Q-Factor* minimum menunjukkan nilai 3,62 dan BER minimum menunjukkan pada nilai 1,4 x

10^{-4} . Hasil simulasi pada penambahan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi angin sudah berada pada kriteria yang dibutuhkan.

Hasil Pengujian pada Cuaca Angin Tahun 2020

Karakterisasi dilakukan dengan penambahan FSO MIMO empat kanal, *attenuation* 0,07 dBkm. Gambar grafik hasil setelah karakterisasi menggunakan FSO MIMO empat kanal dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. FSO MIMO Empat Kanal pada Kondisi Angin Tahun 2020 (Atas) BER (Bawah) Q-Factor

Gambar 8 menunjukkan FSO MIMO empat kanal pada kondisi cuaca angin tahun 2020. Hasil simulasi pada rangkaian menggunakan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi cuaca angin tahun 2020 mendapatkan hasil dengan jarak tempuh terjauh pada jarak 10 km. Hasil lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 9.

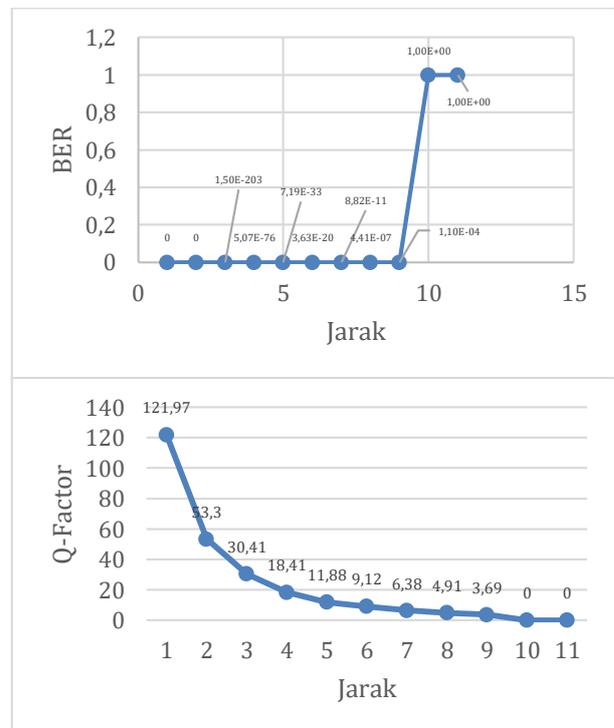
Hasil simulasi pada Tabel 9 menggunakan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi cuaca angin tahun 2020 di Pekanbaru menunjukkan bahwa jarak maksimal yang ditempuh berjarak 10 km dengan nilai *Q-Factor* menunjukkan nilai 3,88 dan BER menunjukkan pada nilai $5,0 \times 10^{-6}$. Hasil simulasi pada penambahan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi angin sudah berada pada kriteria yang dibutuhkan.

Tabel 9. Hasil Simulasi FSO MIMO Empat Kanal pada Kondisi Angin Tahun 2020

Jarak	BER	Q-Factor
1	0	130,7
2	0	59,88
3	1,88E-256	34,18
4	7,73E-97	20,84
5	3,44E-51	15
6	1,20E-27	10,83
7	1,89E-17	8,41
8	7,36E-11	6,4
9	8,99E-06	4,28
10	5,00E-06	3,88
11	1,00E+00	0

Hasil Pengujian pada Cuaca Angin Tahun 2021

Karakterisasi selanjutnya dilakukan dengan penambahan FSO MIMO empat kanal *attenuation* 0,26 dBkm. Gambar grafik hasil setelah karakterisasi menggunakan FSO MIMO empat kanal dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. FSO MIMO Empat Kanal pada Kondisi Angin tahun 2021 (Atas) BER (Bawah) Q-Factor

Gambar 9 menunjukkan FSO MIMO empat kanal pada kondisi cuaca angin tahun 2021. Hasil simulasi pada rangkaian menggunakan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi cuaca angin tahun 2021 mendapatkan hasil dengan jarak tempuh terjauh

pada jarak 9 km. Hasil lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Simulasi FSO MIMO Empat Kanal pada Kondisi Angin Tahun 2021

Jarak	BER	Q-Factor
1	0	121,97
2	0	53,3
3	1,50E-203	30,41
4	5,07E-76	18,41
5	7,19E-33	11,88
6	3,63E-20	9,12
7	8,82E-11	6,38
8	4,41E-07	4,91
9	1,10E-04	3,69
10	1,00E+00	0
11	1,00E+00	0

Hasil simulasi pada Tabel 10 menggunakan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi cuaca angin tahun 2021 di Pekanbaru menunjukkan bahwa jarak maksimal yang ditempuh berjarak 9 km dengan nilai *Q-Factor* menunjukkan nilai 3,69 dan BER menunjukkan pada nilai $1,1 \times 10^{-04}$. Hasil simulasi pada penambahan FSO MIMO empat kanal dengan kondisi angin sudah berada pada kriteria yang dibutuhkan.

Pembahasan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dalam simulasi FSO MIMO di Kota Pekanbaru berdasarkan beberapa kondisi yaitu cuaca hujan dan angin pada tahun 2019 hingga 2021. Hasil pengujian FSO MIMO mendapatkan nilai *Q-Factor* dan BER serta jarak yang beragam.

Redaman pada cuaca hujan mendapatkan nilai 3,15 dB, 3,59 dB, dan 5,15 dB di tiap tahunnya. Sedangkan pada cuaca angin mendapatkan nilai 0,12 dB, 0,06 dB, dan 0,26 dB di tiap tahunnya. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa redaman pada cuaca hujan lebih besar daripada redaman pada cuaca angin di Kota Pekanbaru.

Pengujian pertama yang dilakukan pada cuaca hujan dan selanjutnya pada cuaca angin, pada cuaca hujan mendapatkan hasil nilai *Q-Factor* dan BER hingga 3 km di tiap tahunnya, nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan cuaca angin yang mendapatkan jarak yang lebih jauh hingga mencapai 10 km. Hal ini diakibatkan dari redaman yang ada

pada cuaca hujan lebih tinggi dibandingkan dengan cuaca angin.

Untuk mengetahui kemampuan optimal yang terdekat dari penggunaan FSO MIMO di Kota Pekanbaru, pengujian ini dilihat dari redaman tertinggi yaitu cuaca hujan pada tahun 2021 dengan redaman 5,15 dB. Dengan demikian didapat jarak minimal jangkauan simulasi yang didapat pada jarak 2 km dengan nilai *Q-Factor* terkecil bernilai 9,64 sementara nilai BER terkecil senilai 2,46E-22. Selanjutnya untuk mengetahui kemampuan optimal yang terjauh dari penggunaan FSO MIMO di Kota Pekanbaru, pengujian ini dilihat dari redaman terkecil yaitu cuaca angin tahun 2020 dengan redaman 0,06 dB. Jarak terjauh yang didapat yaitu 10 km dengan nilai *Q-Factor* sebesar 3,88 dan BER sebesar $5,0 \times 10^{-06}$.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapat dari hasil simulasi sistem FSO MIMO empat kanal mampu memberikan jarak pancaran maksimum hingga 2 km pada kondisi curah hujan dan 7 km sampai 8 km pada kondisi cuaca angin. Nilai tersebut diperoleh melalui analisis nilai BER dan *Q-Factor* pada hasil simulasi.

Hasil nilai BER pada kondisi hujan tahun 2019 sebesar 4,43E-96, tahun 2020 sebesar 6,06E-89, tahun 2021 sebesar 2,46E-22 dan nilai BER pada kondisi cuaca angin tahun 2019 sebesar 1,36E-16, tahun 2020 sebesar 7,36E-11, tahun 2021 sebesar 8,82E-11. Sedangkan nilai *Q-Factor* pada kondisi hujan tahun 2019 sebesar 20,76, tahun 2020 sebesar 19,95 dan tahun 2021 sebesar 9,64 dan nilai *Q-factor* pada kondisi cuaca angin tahun 2019 sebesar 8,18, tahun 2020 sebesar 6,4 dan tahun 2021 sebesar 6,38.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah berkontribusi terhadap penelitian ini, mulai dari bimbingan, saran, dan kritik sehingga penyusunan penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- [1] A. Ahmed, A. Singh, A. Singh and A. Kaur, "Performance Analysis of WDM-MIMO Free Space Optical System Under Atmospheric

- Turbulence,” in 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 2019.
- [2] A. G. Alkholidi and K. S. Altowij, “Contemporary Issues in Wireless Communications,” in Free space optical communications—Theory and practices, 2014, pp. 159 - 212.
- [3] T. W. Dianto, D. Zulherman and F. Khair, “STUDI PERANCANGAN SISTEM RoF-OFDM POLARISASI TIDAK SEIMBANG MENGGUNAKAN MODULASI QPSK DAN QAM,” in Prosiding Seniati, 208.
- [4] N. N. Azzahro, F. V. A. S. Prasetya, N. Kurniadin and S. I. Suryalfihra, “Pemodelan Kelas Curah Hujan Kota Samarinda Tahun 2010 - 2020,” Journal of Geomatics Engineering, Technology, and Sciences, vol. 1, no. 2, 2023.
- [5] D. INDRIYANI, “PENGARUH DEBU TERHADAP JARAK TRANSMISI SISTEM FREE SPACE OPTICS DENGAN TEKNOLOGI SS-WDM-MIMO,” Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Riau, 2020.
- [6] A. B. Mohammad, “Optimization of FSO system in tropical weather using multiple beams,” in Conference: 2014 IEEE 5th International Conference on Photonics (ICP), Malaysia, 2014.
- [7] R. M. Harahap, “WILAYAH INTENSITAS TINGGI SEBARAN HO AS TINGGI SEBARAN HOTSPOTS DI PRO S DI PROVINSI,” Jurnal Geografi Lingkungan Tropik, vol. 1, no. 2, 2018.
- [8] Badan Pusat Statistik, “Jumlah Penduduk Menurut Kabupaten/Kota (Jiwa), 2021-2023,” Badan Pusat Statistik, 2023. [Online]. Available: <https://riau.bps.go.id/indicator/12/32/1/penduduk-kabupaten-kota.html>.
- [9] H. A. Fadhil, A. Amphawan, H. A. Shamsuddin, T. H. Abd, H. M. Al-Khafaji, S. Aljunid and N. Ahmed, “Optimization of free space optics parameters: An optimum solution for bad weather conditions,” Optik - International Journal for Light and Electron Optics, vol. 19, no. 124, 2013.
- [10] D Giggenbach; A Wittig, Free-Space Optics: Propagation and Communication, Springer, 2015.
- [11] Badan Pusat Statistik, “Curah Hujan (mm), 2020-2022.,” (2022. [Online]. Available: <https://riau.bps.go.id/indicator/151/145/1/curah-hujan.html>.
- [12] Badan Pusat Statistik, “Kecepatan Angin (m/det), 2020-2022.,” 2022. [Online]. Available: <https://riau.bps.go.id/indicator/151/141/1/kecepatan-angin.html>.
- [13] S. B. Matondo and P. A. Owolawi, “FSO Rain Attenuation Prediction Using Non-linear Least Square Regression,” in 2019 International Multidisciplinary Information Technology and Engineering Conference (IMITEC), Vanderbijlpark, South Africa, 2019.
- [14] S. A. Kadhim, S. A. A. Taha and A. Q. Baki, “Characterization Study and Simulation of MIMO Free Space Optical Communication under Different Atmospheric Channel,” International Journal of Innovative Science, vol. 3, no. 8, 2016.
- [15] P. Krishnan, Performance Analysis of FSO Systems over Atmospheric Turbulence Channel for Indian Weather Conditions, Turbulence and Related Phenomena, 2019.