

# Desain *Hybrid* Jaringan Akses *Fiber To The Home* Dan FSO Untuk Pelanggan *Enterprise* Menggunakan Teknologi GPON

1<sup>st</sup> M. Gani Fadiel

Fakultas Teknik Elektro  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
mganifadielfixie@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Levy Olivia Nur

Fakultas Teknik Elektro  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
levyolivia@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Aisyah Novfitri

Fakultas Teknik Elektro  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
aisyahnovf@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak**— Kebutuhan akan bandwidth yang semakin tinggi dalam lalu lintas data telah mendorong perkembangan sistem komunikasi optik, terutama melalui jaringan Fiber To The Home (FTTH) berbasis Gigabit Passive Optical Network (GPON). Fiber To The Home (FTTH) dengan teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) memiliki kecepatan yang tinggi hingga 2.5 Gbps downstream dan 1.25 Gbps upstream yang bisa menyediakan layanan internet berkecepatan tinggi, video, dan layanan telepon dalam satu infrastruktur. Serat optik adalah serat kaca yang digunakan sebagai media untuk mentransmisikan sinyal cahaya dengan kecepatan tinggi dari satu tempat ke tempat lain. Free Space Optical (FSO) merupakan teknologi alternatif penganti serat optik ketika tidak diizinkan dalam suatu jaringan. Wilayah untuk pengguna enterprise dimana wilayah tersebut belum ada jaringan fiber optik, perancangan berada di Bugel kota Tangerang untuk pengguna enterprise. Solusi yang memungkinkan adalah dengan membangun jaringan hybrid FTTH dan FSO dengan teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON). Penelitian ini akan mendesain dan mensimulasikan jaringan akses hybrid FTTH dan FSO menggunakan software optisystem 7.0. Desain jaringan mencakup spesifikasi perangkat dan tata letak jaringan hybrid FTTH dan FSO, dengan evaluasi berdasarkan standar kelayakan ITU-T G.984. Simulasi menggunakan optisystem untuk mengukur parameter seperti Bit Error Rate (BER) dan eye diagram, berdasarkan hasil simulasi optimalisasi FSO untuk output di passive splitter 1:4 saat kondisi cuaca berkabut jarak maksimal 5,7 Km diperoleh hasil BER  $1,014 \cdot 10^{-9}$  dan kondisi cuaca hujan jarak maksimal 2,3 Km diperoleh hasil BER  $4,637 \cdot 10^{-9}$ .

**Kata Kunci**— FTTH, FSO, GPON, BER, OptiSystem

## I. PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir, kapasitas sistem komunikasi optik telah mengalami peningkatan yang sangat pesat untuk memenuhi kebutuhan akan bandwidth yang semakin tinggi dalam lalu lintas data. Terjadi pertumbuhan yang signifikan dalam penggunaan internet karena adanya layanan *Triple Play* yang memberikan peluang bisnis baru bagi operator telekomunikasi untuk menyediakan layanan tambahan kepada pelanggan internet, suara, dan video. Meskipun banyak teknologi yang telah digunakan untuk memenuhi kebutuhan akan bandwidth yang tinggi, namun teknologi tersebut tidak dapat memenuhi pertumbuhan jangka panjang yang diharapkan pada jaringan akses. Oleh karena itu, solusi

yang digunakan adalah jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) berbasis *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) menjadi pilihan yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan akan bandwidth yang semakin tinggi[1]. Fiber To The Home (FTTH) dengan teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) memiliki kecepatan yang tinggi hingga 2.5 Gbps downstream dan 1.25 Gbps upstream yang bisa menyediakan layanan internet berkecepatan tinggi, video, dan layanan telepon dalam satu infrastruktur. *Free Space Optical* (FSO) merupakan teknologi alternatif penganti serat optik ketika tidak diizinkan dalam suatu jaringan. Serat optik adalah serat kaca yang digunakan sebagai media untuk mentransmisikan sinyal cahaya dengan kecepatan tinggi dari satu tempat ke tempat lain. Serat optik dalam GPON memungkinkan transmisi data melalui jarak yang jauh, ini memungkinkan penyedia layanan untuk mencakup area yang lebih besar tanpa mengalami penurunan kualitas sinyal[2]. Wilayah untuk pengguna enterprise dimana wilayah tersebut belum ada jaringan fiber optik, perancangan berada di Bugel kota Tangerang untuk pengguna enterprise. Solusi yang memungkinkan adalah dengan membangun jaringan *Hybrid* FTTH dan FSO dengan teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON). Penelitian ini akan membahas pembuatan simulasi jaringan akses optik *hybrid* FTTH dan FSO menggunakan *optisystem* 7.0. Simulasi pada jaringan akses optik *hybrid* FTTH dan FSO dengan penentuan perangkat berupa spesifikasi perangkat dan tata letak jaringan *hybrid* FTTH dan FSO tersebut. Selanjutnya akan dilakukan evaluasi dan analisa terhadap jaringan yang telah dirancang di wilayah elit berdasarkan parameter yang memenuhi standar kelayakan jaringan optik yang telah ditetapkan ITU-T G.984.

## II. KAJIAN TEORI

### A. Fiber Optic

*Fiber* optik merupakan media saluran transmisi atau kabel yang terbuat dari kaca ataupun plastik yang berfungsi untuk mentransmisikan sinyal atau data yang berupa cahaya. Struktur fiber optik terdiri dari lima bagian yaitu:

#### 1. Core (Inti Kabel)

*Core* berfungsi untuk menyalurkan cahaya dari satu ujung jaringan ke ujung lainnya. *Core* merupakan elemen pertama dari fiber optik yaitu sebuah batang silinder terbuat dari bahan

dielektrik (bahan yang tidak menghantarkan listrik). Inti memiliki diameter 3-200  $\mu\text{m}$ . *Core* dari serat optik terbuat dari material kristal kaca kelas tinggi dan indeks bias *core* besarnya sekitar 1,5.

### 2. Cladding (Selubung)

*Cladding* berfungsi memantulkan cahaya agar dapat merambat ke ujung lainnya. *Cladding* merupakan lapisan selimut atau selubung yang dilapiskan pada *core* yang memiliki diameter antara 125-250  $\mu\text{m}$ . *Cladding* terbuat dari gelas tetapi indeks biasnya lebih kecil dari indeks bias *core*.

### 3. Coating (Pelindung)

*Coating* berfungsi sebagai pelindung mekanis yang melindungi serat optik dari kerusakan dan sebagai pengkodean warna pada serat optik. *Coating* merupakan bagian pelindung lapisan inti dan selimut yang terbuat dari bahan plastik elastis (PVC) yang berfungsi untuk melindungi serat optik dari tekanan luar.

### 4. Strengthening (Serat Penguat)

*Strengthening* berfungsi sebagai serat yang menguatkan bagian dalam kabel sehingga tidak mudah putus dan terbuat dari bahan serat kain sejenis benang yang sangat banyak dan memiliki ketahanan yang sangat baik.

### 5. Jacket Cable (Selongsong Kabel)

*Jacket cable* berfungsi sebagai pelindung keseluruhan bagian dalam kabel serat optik serta didalamnya terdapat tanda pengenal dan terbuat dari bahan PVC[15].

## B. Passive Optical Network (PON)

PON adalah teknologi jaringan akses fiber optik yang terbentang dari *Point of Presence* (POP) ke rumah pelanggan. PON memiliki dua perangkat aktif yaitu *Optical Line Terminal* (OLT) dan *Optical Network Terminal* (ONT), OLT berada di *Point of Presence* (POP) dan ONT berada di rumah pelanggan. OLT dan ONT terhubung melalui (*Optical Distribution Network*) ODN yang merupakan perangkat pasif, PON menggunakan konfigurasi *point to multipoint* yaitu satu perangkat OLT melayani banyak pelanggan dengan lokasi berbeda melalui perangkat ONT, dengan satu atau lebih *splitter* seperti *splitter* 1:4 dan *splitter* 1:8 atau lebih[4].

### C. Gigabit Passive Optical Network (GPON)

GPON merupakan teknologi akses yang termasuk dalam akses *broadband* berbasis *fiber* sebagai media transmisi ke pelanggan. GPON juga merupakan teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T dengan menggunakan standar G.984. Pada GPON, informasi dari pusat didistribusikan ke pelanggan menggunakan *passive splitter* yang dikirim (*splitter*) ke beberapa cabang sehingga banyak pelanggan yang dapat dijangkau. Kecepatan data *downstream* sebesar 2,488 *Gbps* dan *upstream* sebesar 1,244 *Gbps*. Jumlah maksimum cabang pada GPON adalah 1:64, sedangkan jarak maksimum dari OLT ke ONT adalah 20 km. Untuk transmisi data *upstream* dan *downstream* melalui kabel serat optik. Memisahkan sinyal *upstream* dan *downstream* pada *fiber* yang sama dari pengguna yang berbeda menggunakan teknologi *Broadcast* untuk transmisi data *downstream* dan *Time Division Multiple Access* (TDMA) untuk transmisi data *upstream*[3].

### D. Fiber To The Home (FTTH)

FTTH adalah format transmisi sinyal optik dari kantor perangkat OLT hingga ke rumah pelanggan ONT dengan

menggunakan serat optik sebagai media kirimnya. Titik konversi optik rumah pelanggan, ONT merupakan konversi sinyal dari sinyal optik ke sinyal elektrik sebelum diakses berbagai perangkat. jaringan FTTH yang digunakan adalah GPON[5].

### E. Free Space Optical (FSO)

*Free Space Optical* (FSO) merupakan teknologi komunikasi yang menggunakan cahaya sebagai pembawa dan udara sebagai media transmisi antara *transmitter* dan *receiver*. FSO menawarkan tingkat mobilitas tambahan dan respon efektif terhadap koneksi cadangan cepat untuk pemulihan jaringan FTTH. Sistem FSO mengandalkan propagasi sinyal laser melalui atmosfer untuk transmisi data. Dengan demikian, teknologi FSO menawarkan keuntungan seperti pengoperasian bebas lisensi, tingkat lalu lintas tinggi dan fleksibilitas infrastruktur. Redaman pada *free space optical* memiliki tingkat redaman rata-rata berkisar dari 0,2 dB/km dalam cuaca cerah hingga 242 dB/km dalam kabut tebal. Redaman dipengaruhi oleh jarak pandang dengan standar model Kim[13].

TABEL 1  
(Attenuation koefisien untuk FSO)

Weather	Atmospheric Attenuation dB/km	Visibility
<i>Heavy dust</i>	242	0.07
<i>Moderate</i>	85	0.2
<i>Dust-fog</i>	34	0.5
<i>Rain</i>	10	1
<i>Haze</i>	4	2
	2	4
<i>Clear</i>	0.4	10
	0.2	23

### F. Bit Error Rate (BER)

BER adalah jumlah bit data yang diterima salah dibandingkan dengan jumlah total bit yang dikirimkan. Sebagai contoh transmisi memiliki BER  $10^{-10}$  berarti 10.000.000.000 bit dikirimkan maka jumlah maksimum bit salah adalah satu. BER merupakan kunci untuk menilai kualitas transmisi data jaringan GPON, dalam jaringan GPON yang dikirim melalui kabel *fiber* optik, cahaya membawa bit data. Standar ITU-T G.984.2 untuk metode komunikasi optik BER Maksimum  $10^{-9}$ . Semakin rendah nilai BER maka semakin baik kondisi jaringan, dengan menjaga BER di bawah standar yang ditetapkan oleh ITU-T G.984.2 GPON dapat menyediakan layanan komunikasi yang andal dan berkualitas tinggi bagi pelanggan[14].

### G. Eye Diagram

*Eye diagram* adalah metodologi yang digunakan untuk menganalisis kualitas sinyal digital yang ditransmisikan melalui kabel *fiber* optik berkecepatan tinggi. *Eye diagram* merupakan parameter kunci dari sinyal divisualisasikan dan mengevaluasi berbagai aspek kualitas sinyal seperti *jitter*, *noise*, dan *distorsi*, yang sesuai dengan setiap bit dengan amplitudo sinyal pada sumbu vertikal dan waktu pada sumbu horizontal. *Eye diagram* yang baik secara kualitas sinyal adalah dengan bukaan mata yang semakin besar atau lebar menunjukkan margin yang cukup terhadap *noise* dan *jitter*[14].

Cara membaca *eye diagram*:

1. *Eye Height* untuk mengukur jarak vertikal antara bagian atas dan bawah mata, *eye height* yang besar menunjukkan bahwa sinyal memiliki margin yang baik terhadap *noise*, *eye height* yang rendah menunjukkan bahwa sinyal lebih rentan terhadap *noise* dan kesalahan bit.

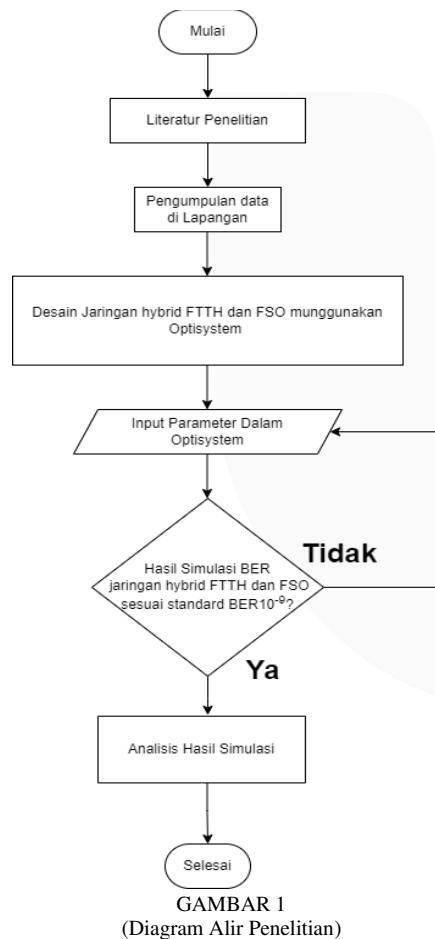
2. *Eye Width* untuk mengukur lebar horizontal mata, *eye width* yang lebar menunjukkan bahwa timing sinyal memiliki margin yang baik terhadap jitter. *eye width* yang sempit menunjukkan bahwa sinyal memiliki masalah timing yang menyebabkan kesalahan bit.

3. *Crossing Points* merupakan stabilitas timing sinyal. Jika *crossing points* tidak konsisten menunjukkan jitter yang signifikan.

4. *Jitter* terlihat sebagai penyebaran horizontal pada titik-titik persilangan dan penurunan lebar mata. Banyaknya *jitter* menyebabkan sinyal tidak tepat dibaca oleh penerima.

5. *Noise* terlihat sebagai fluktasi vertikal pada level sinyal, *noise* yang besar menyebabkan penyempitan *eye height*, meningkatkan kesalahan bit.

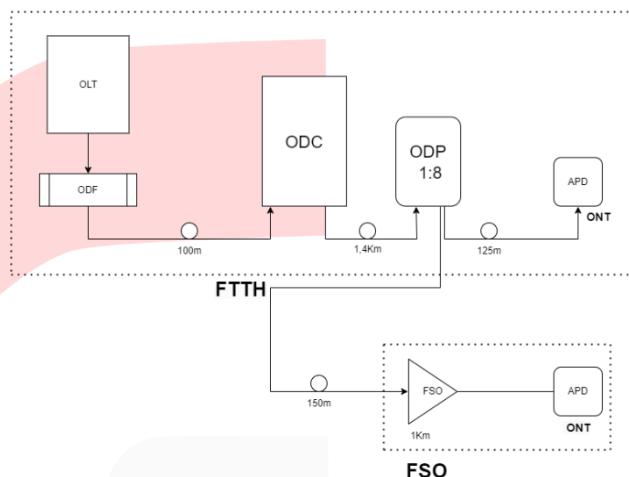
### III. METODE



OLT perangkat aktif yang merupakan bagian dari teknologi PON yang menggunakan teknologi GPON, dari OLT ke ODF dihubungkan menggunakan kabel *patchcord*, ODF merupakan tempat terminasi di dalamnya ada *adapter*, *pigtail* dan *splicing* yang menggunakan *fusion splicer*,

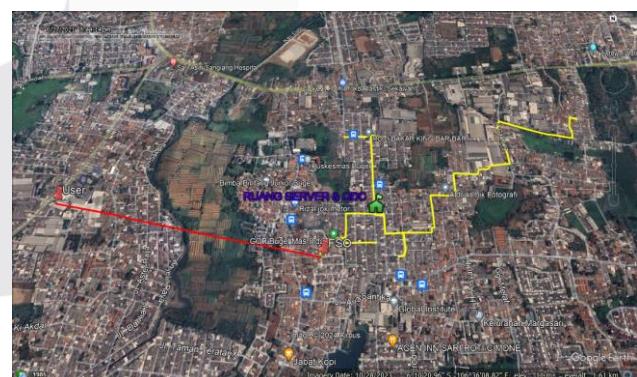
penyambungan dari kabel *indoor* ke kabel *outdoor*, dari ODF ke ODC dihubungkan menggunakan kabel *feeder* 96 core, ODC merupakan tempat menejemen kabel, terdapat *splitter* 1:4 dan *adapter* di dalam ODC, pada *splitter* 1:4 kabel dipecah menjadi 4 core, dimana masing-masing kabel di distribusikan ke ODP, didalam ODP terdapat *splitter* dan *adapter* menggunakan *splitter* 1:8 dan dipercaya menjadi 8 core kabel, jadi total dalam 1 PON bisa dimaksimalkan untuk 32 pengguna, setelah itu dilanjutkan ke FSO menggunakan cahaya sebagai pembawa dan udara sebagai media transmisi antara *transmitter* dan *receiver* dan selanjutnya ke titik akhir yaitu ONT yang berada di rumah pelanggan.

Desain topologi jaringan hybrid FTTH dan FSO



GAMBAR 2  
(Desain topologi jaringan hybrid FTTH dan FSO)

Dalam perancangan jaringan *Hybrid FTTH* dan *FSO* pusat titik jaringan yaitu ruang server sebagai OLT dan ODC sebagai pusat terminasi dan distribusi jaringan *fiber optik*, garis berwarna kuning menandakan jalur distribusi *fiber optik*, sedangkan garis berwarna merah menandakan *FSO* pembawa cahaya optik ke user *enterprise*.



GAMBAR 3  
(Google earth jaringan hybrid FTTH dan FSO)

Perancangan jaringan *hybrid FTTH* dan *FSO* ini menggunakan parameter teknologi GPON. Berikut parameter yang digunakan pada perancangan seperti pada Tabel 3.1 dibawah ini.

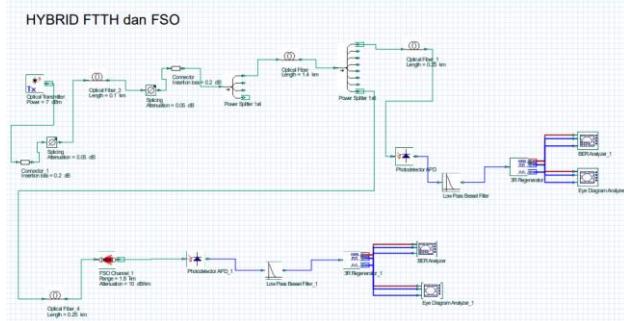
TABEL 2  
(Parameter GPON)

Parameter	Keterangan
-----------	------------

Panjang gelombang	1310 nm – 1550 nm
Output power (TX) class C+	3 dBm – 7 dBm
Kecepatan Data	2,488 Gbps downstream, 1,244 Gbps upstream
Modulasi	NRZ (Non-Return to Zero)
Standar	ITU-T G.984.2

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

perancangan jaringan *hybrid* FTTH dan FSO dapat disimulasikan menggunakan *optisystem*.

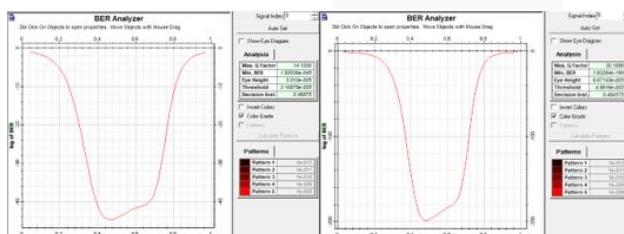


GAMBAR 4

(Hasil perancangan jaringan Hybrid FTTH dan FSO)

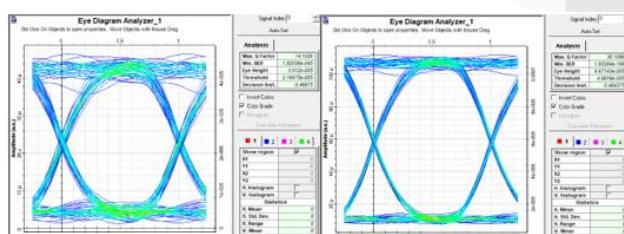
##### A. Pengaruh Daya dan Cuaca Terhadap Link FSO

Pengaruh Daya di OLT (Tx Laser) Pada FSO Kondisi Berkabut



GAMBAR 5

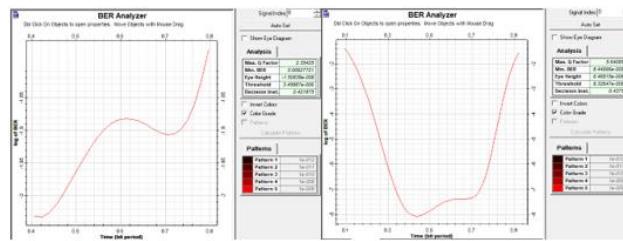
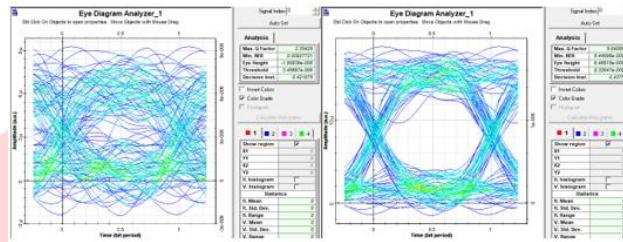
(BER OLT 3 dBm dan 7 dBm)



GAMBAR 6

(Eye Diagram OLT 3 dBm dan 7 dBm)

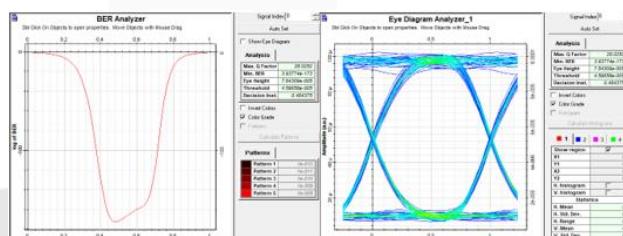
Pengaruh Daya di OLT (Tx Laser) Pada FSO Kondisi Hujan

GAMBAR 7  
(BER OLT 3 dBm dan 7 dBm)GAMBAR 8  
(Eye Diagram OLT 3 dBm dan 7 dBm)TABEL 3  
(Hasil BER Link FSO)

Kondisi Cuaca	Daya OLT	BER	Jarak FSO
Berkabut	3 dBm	$1,820 \cdot 10^{-45}$	1,4 Km
	7 dBm	$1,832 \cdot 10^{-199}$	1,4 Km
Hujan	3 dBm	0,009	1,4 Km
	7 dBm	$8,449 \cdot 10^{-9}$	1,4 Km

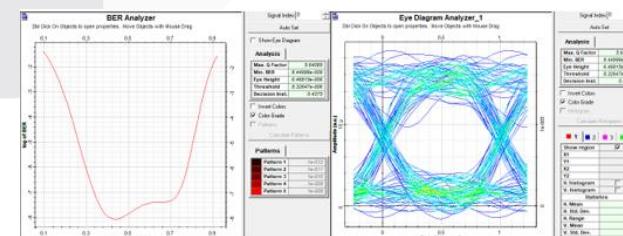
##### B. Pengaruh Jarak Pada FSO

Pengaruh Jarak Saat Kondisi Berkabut



GAMBAR 9

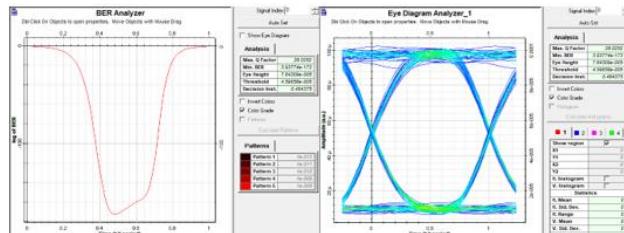
(BER dan Eye Diagram jarak FSO ke ONT 1,5 Km)



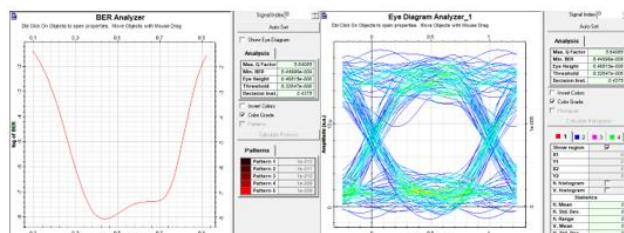
GAMBAR 10

(BER dan Eye Diagram jarak FSO ke ONT 3,5 Km)

## Pengaruh Jarak Saat Kondisi Hujan



GAMBAR 11  
(BER dan Eye Diagram jarak FSO ke ONT 600 m)



GAMBAR 12  
(BER dan Eye Diagram jarak FSO ke ONT 1,4 Km)

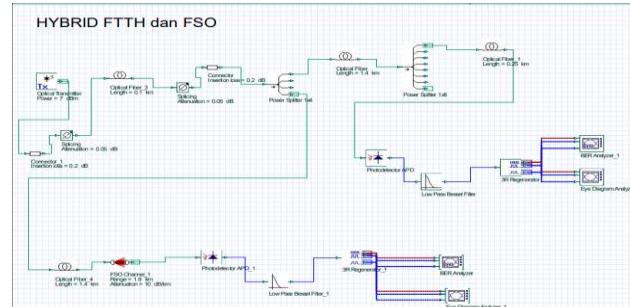
TABEL 4  
(Hasil BER jarak pada FSO kondisi berkabut)

No.	Jarak	BER
1	1,5 Km	$3,937 \cdot 10^{-173}$
2	2 Km	$2,869 \cdot 10^{-83}$
3	2,5 Km	$5,191 \cdot 10^{-39}$
4	3 Km	$3,232 \cdot 10^{-18}$
5	3,5 Km	$8,449 \cdot 10^{-9}$
6	3,6 Km	$1,140 \cdot 10^{-7}$

TABEL 5  
(Hasil BER jarak pada FSO kondisi hujan)

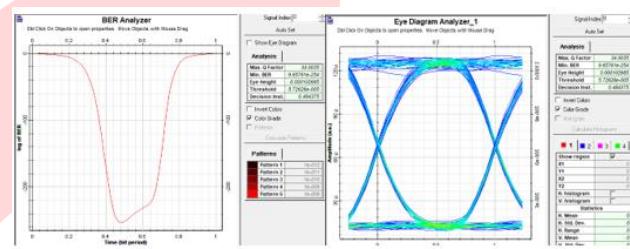
No.	Jarak	BER
1	600 m	$3,937 \cdot 10^{-173}$
2	800 m	$2,869 \cdot 10^{-83}$
3	1 Km	$5,191 \cdot 10^{-39}$
4	1,2 Km	$3,232 \cdot 10^{-18}$
5	1,4 Km	$8,449 \cdot 10^{-9}$
6	1,5 Km	$2,761 \cdot 10^{-6}$

## C. Optimalisasi Jaringan FSO

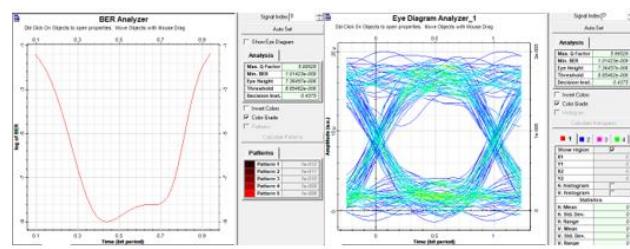


GAMBAR 13  
(Jarak maksimal FSO pada jaringan Hybrid FTTH dan FSO)

### Kondisi Cuaca Berkabut

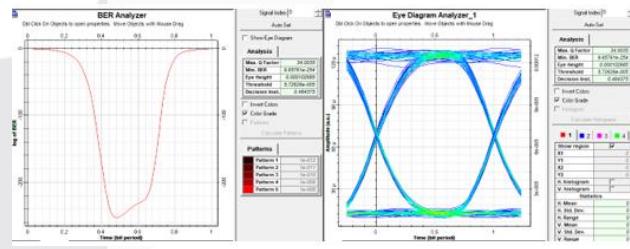


GAMBAR 14  
(BER dan Eye Diagram jarak FSO ke ONT 3,5 Km)

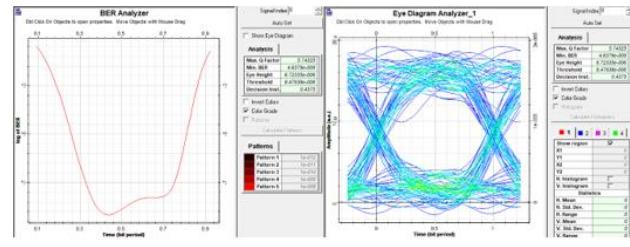


GAMBAR 15  
(BER dan Eye Diagram jarak FSO ke ONT 5,7 Km)

### Kondisi Cuaca Hujan



GAMBAR 16  
(BER dan Eye Diagram jarak FSO ke ONT 1,4 Km)



GAMBAR 16  
(BER dan Eye Diagram jarak FSO ke ONT 2,3 Km)

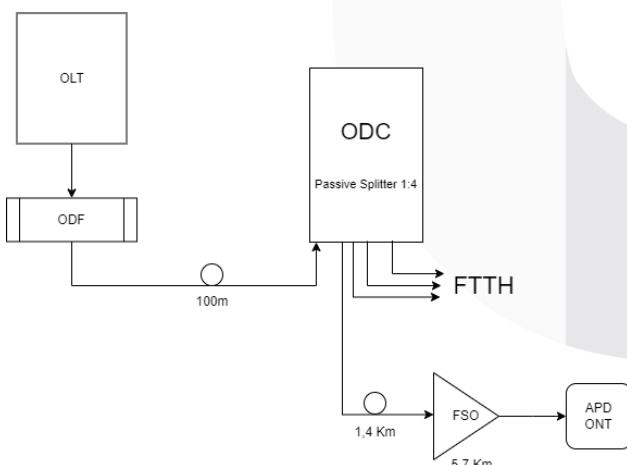
TABEL 6  
(Hasil BER Optimalisasi FSO kondisi cuaca berkabut)

No.	Jarak	BER
1	3,5 Km	$9,657 \cdot 10^{-254}$
2	4,5 Km	$4,503 \cdot 10^{-59}$
3	5,5 Km	$5,778 \cdot 10^{-13}$
4	5,7 Km	$1,014 \cdot 10^{-9}$
5	5,8 Km	$1,883 \cdot 10^{-8}$

TABEL 7  
(Hasil BER Optimalisasi FSO kondisi cuaca hujan)

No.	Jarak	BER
1	1,4 Km	$9,657 \cdot 10^{-254}$
2	1,8 Km	$4,503 \cdot 10^{-59}$
3	2,2 Km	$5,778 \cdot 10^{-13}$
4	2,3 Km	$4,637 \cdot 10^{-9}$
5	2,4 Km	$1,860 \cdot 10^{-6}$

D. Analisis Keseluruhan Jaringan *Hybrid FTTH dan FSO* berdasarkan pembagian daya di *passive splitter* jadi adanya FSO tidak mengganggu kinerja dari jaringan FTTH karena *output* pembagi dari *passive splitter* 1:4, 1 kabel *fiber optik* untuk FSO dan 3 kabel *fiber optik* untuk FTTH pada jaringan *hybrid FTTH dan FSO*.



GAMBAR 17  
(Topologi pembagian di *passive splitter*)

TABEL 8  
(Hasil BER Optimalisasi FSO kondisi cuaca kabut dan hujan)

Daya OLT	<i>Passive Splitter 1:4</i> Jarak FSO	BER FSO		
		Kabut	Hujan	
7 dBm	5,7 Km	2,3 Km	$1,014 \cdot 10^{-9}$	$4,637 \cdot 10^{-9}$

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil jaringan *hybrid FTTH* dan *FSO* dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Mendesain jaringan *hybrid FTTH* dan *FSO* dibuat dengan *software optisystem* dan terhubung melalui OLT, *passive splitter* 1:4 dan *passive splitter* 1:8.
2. Hasil pengukuran link jaringan *hybrid FTTH* dan *FSO* yang didapatkan terhubung melalui *passive splitter* 1:4 dan *passive splitter* 1:8 saat kondisi cuaca berkabut jarak maksimal 3,5 Km diperoleh hasil BER  $8,449 \cdot 10^{-9}$  dan saat kondisi cuaca hujan jarak maksimal 1,4 Km diperoleh hasil BER  $8,449 \cdot 10^{-9}$ .
3. Menganalisa optimalisasi jaringan *hybrid FTTH* dan *FSO* dengan cara menghubungkan link dengan *passive splitter* 1:4 dan tidak melewati *passive splitter* 1:8 dengan cara tersebut dapat pengurangan redaman 10,38 dB (redaman pasif splitter 1:8). Maka saat kondisi cuaca berkabut jarak maksimal 5,7 Km diperoleh hasil BER  $1,014 \cdot 10^{-9}$  dan saat kondisi cuaca hujan jarak maksimal 2,3 Km diperoleh hasil BER  $4,637 \cdot 10^{-9}$ .

## REFERENSI

- [1] Z. Abdellaoui, Y. Dieudonne, and A. Aleya, “Design, implementation and evaluation of a Fiber To The Home (FTTH) access network based on a Giga Passive Optical Network GPON,” *Array*, vol. 10, no. July 2020, p. 100058, 2021, doi: 10.1016/j.array.2021.100058.
- [2] K. A. Memon, A. W. Umrani, M. A. Unar, and W. Shah, “Implementation & Performance Analysis of Bidirectional FSO channel in Hybrid TDM/WDM Gigabit Passive Optical Network,” *3C Tecnol. innovación Apl. a la pyme*, no. May, pp. 166–181, 2019, doi: 10.17993/3ctecno.2019.specialissue2.166-181.
- [3] C. A. Sahid Ridho , A’isyah Nur Aulia Yusuf2, Syaniri Andra3, Dinari Nikken Sulastrie Sirin, “Perancangan Jaringan Fiber to the Home (FTTH) pada Perumahan di Daerah Urban,” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 3aw3dqed, no. ghfujy, p. kguyg, 2019.
- [4] International Telecommunications Union, *Optical Fibres, Cables and Systems*. 2009.
- [5] Z. N. KARIMAH, A. HAMBALI, and S. SUWANDI, “Analisis Perbandingan Kinerja Mach-Zehnder berdasarkan Ragam Format Modulasi pada Jaringan FTTH,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr.*

- Tek. Telekomun. Tek. Elektron., vol. 5, no. 1, p. 73, 2018, doi: 10.26760/elkomika.v5i1.73.
- [6] R. A. Riano, Y. Natali, and A. Nurhayati, "Desain Fiber To The Home Berbasis GPON Dengan Pendekatan Praktis di Lapangan."
- [7] P. Muliandhi, E. H. Faradiba, and B. A. Nugroho, "Analisa Konfigurasi Jaringan FTTH dengan Perangkat OLT Mini untuk Layanan Indihome di PT. Telkom Akses Witel Semarang," *Elektrika*, vol. 12, no. 1, p. 7, 2020, doi: 10.26623/elektrika.v12i1.1977.
- [8] H. R. A. K. Nugroho and N. K. Wahyu, "Analisis Redaman Pada Sistem Fiber Optic Akibat Adanya Penambahan ST-Adapter The Analysis Of Attenuation In Fiber Optic System Due To Embedded ST-Adapter," *Semin. Nas. Tek. Elektro*, no. November 2019, pp. 308–314, 2019.
- [9] A. A. Asril, Y. Yustini, and P. A. Herwita, "Merancang Sistem Pengukuran Redaman Transmisi Kabel Optik Single Mode Jenis Pigtail," *Elektron J. Ilm.*, vol. 11, no. 2, pp. 56–62, 2019, doi: 10.30630/eji.11.2.117.
- [10] I. Hanif and D. Arnaldy, "Analisis Penyambungan Kabel Fiber Optik Akses dengan Kabel Fiber Optik Backbone pada Indosat Area Jabodetabek," *Multinetics*, vol. 3, no. 2, pp. 12–17, 2017, doi: 10.32722/multinetics.v3i2.1131.
- [11] I. M. Zukri, "Analisis Pengaruh Penggunaan Passive Splitter Pada Optical Distribution Point (Odp) Terhadap Kinerja Jaringan Di Rumah Pelanggan," *J. Ilm. Poli Rekayasa*, vol. 18, no. 1, p. 32, 2022, doi: 10.30630/jipr.18.1.249.
- [12] A. M. Araaf, "Terminasi ODF Dan Jointing Kabel Fiber Optic Serta Tracing Core Oleh PT Gerbang Sinergi Prima," *Researchgate.Net*, no. April, 2020.
- [13] M. Sarr, D. Diop, and A. Sambou, "Design and Implementation of a Hybrid FTTH-FSO Network for the Deployment and Maintenance of GPON-based FTTH Network in Inaccessible Areas or Construction Civil Engineering Sites," vol. 11, no. 4, pp. 180–186, 2023, doi: 10.12691/ijp-11-4-3.
- [14] R. S. Putu Aldha, P. Ketut Sudiarta, and N. Putra Sastra, "Pengembangan modul praktis untuk membandingkan kinerja pengkodean RZ dan NRZ pada jaringan serat optik.," *Pande Ketut Sudiarta*, vol. 8, no. 1, pp. 148–160, 2021.
- [15] G. Wibisono, G. D. Hantoro, and Febrizal, "Sistem Jaringan Fiber Optic.," Bandung: Informatika Bandung, 2020.