

Migrasi Perangkat *Switch* Fttb Tult Dengan *Passive Splitter* Teknologi Gpon

1st Rayhan Hafizan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia
rayhanhafizan193@gmail.com

2nd Uke Kurniawan Usman
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia
ukeusman@telkomuniversity.ac.id

3rd Gunadi Dwi Hartono
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia
gunadidh@gmail.com

Abstrak — Meningkatnya kebutuhan layanan data berkapasitas besar menuntut infrastruktur jaringan akses yang efisien dan berkelanjutan. Di Telkom University Landmark Tower (TULT), arsitektur Fiber To The Building (FTTB) berbasis switch aktif masih menghadapi kendala berupa konsumsi energi yang tinggi, pengelolaan jaringan yang kompleks, serta efisiensi infrastruktur yang belum optimal. Penelitian ini merancang dan menganalisis migrasi jaringan akses menuju FTTB berbasis *passive splitter* dengan teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) sebagai alternatif yang lebih sederhana dan hemat sumber daya. Perancangan dilakukan berdasarkan kondisi jaringan eksisting TULT, khususnya jumlah dan distribusi access point, sehingga perencanaan Optical network terminal (ONT) sesuai dengan kebutuhan aktual. Evaluasi kinerja jaringan mencakup analisis Link power budget (LPB), Rise Time Budget (RTB), Signal to noise ratio (SNR), Q-factor, kapasitas kanal, serta Bit error rate (BER), disertai kajian efisiensi infrastruktur dan biaya operasional. Hasil analisis menunjukkan bahwa arsitektur FTTB berbasis GPON memenuhi kelayakan teknis dan mampu meningkatkan efisiensi infrastruktur, menurunkan konsumsi energi, serta mengurangi biaya operasional. Dengan demikian, migrasi ke FTTB berbasis GPON dinilai layak untuk diterapkan pada gedung bertingkat seperti TULT.

Kata kunci— FTTB, GPON, migrasi, splitter

I. PENDAHULUAN

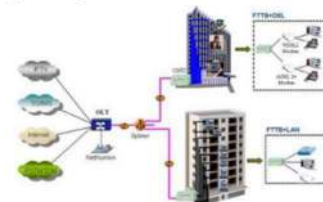
Pesatnya perkembangan teknologi informasi dan komunikasi meningkatkan kebutuhan akan jaringan akses yang andal, efisien, dan mampu melayani trafik data berkapasitas besar secara berkelanjutan. Pada lingkungan gedung bertingkat dengan kepadatan pengguna tinggi, seperti Telkom University Landmark Tower (TULT), diperlukan arsitektur jaringan yang tidak hanya memenuhi kinerja teknis, tetapi juga efisiensi infrastruktur dan penggunaan energi. Namun, penerapan *Fiber To The Building* (FTTB) berbasis *switch* aktif yang saat ini digunakan di TULT masih memiliki sejumlah keterbatasan, antara lain kompleksitas pengelolaan jaringan, konsumsi energi yang relatif tinggi, serta meningkatnya biaya operasional akibat banyaknya perangkat aktif di setiap lantai. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan kualitas layanan ketika trafik data mengalami peningkatan yang signifikan dan bersifat dinamis.

Berdasarkan kondisi tersebut, arsitektur FTTB berbasis *switch* dinilai kurang optimal untuk mendukung kebutuhan jaringan jangka panjang yang menuntut skalabilitas, efisiensi, dan keberlanjutan. Permasalahan utama meliputi rendahnya efisiensi infrastruktur, tingginya konsumsi energi, serta peningkatan biaya investasi dan operasional seiring pertumbuhan layanan data. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji migrasi jaringan akses menuju arsitektur FTTB berbasis *passive splitter* dengan teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) sebagai alternatif yang lebih efektif. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kelayakan migrasi tersebut melalui analisis aspek teknis dan efisiensi jaringan, termasuk performa transmisi, keandalan sistem, serta dampaknya terhadap infrastruktur dan biaya operasional. Hasil kajian diharapkan dapat menjadi acuan dalam penerapan jaringan FTTB berbasis GPON yang lebih efisien dan berkelanjutan pada lingkungan gedung bertingkat seperti TULT.

II. KAJIAN TEORI

A. Fiber To The Building (FTTB)

Fiber To The Building (FTTB) merupakan salah satu implementasi arsitektur FTTx yang memanfaatkan serat optik sebagai media transmisi utama hingga titik terminasi di dalam gedung atau bangunan bertingkat. Arsitektur ini banyak diterapkan pada lingkungan dengan kepadatan pengguna tinggi, seperti apartemen, perkantoran, hotel, dan kawasan kampus, yang membutuhkan layanan akses *broadband* dengan kapasitas besar dan stabil [1].

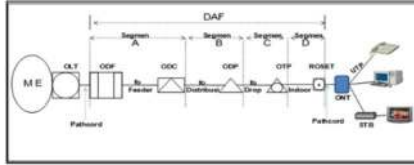


GAMBAR 1
Fiber To The Building

Pada Gambar 1 jaringan FTTB, titik konversi optik atau perangkat distribusi ditempatkan langsung di dalam bangunan, umumnya berada di ruang telekomunikasi atau area basement [2].

B. Gigabit Passive Optical Network (GPON)

Gigabit Passive Optical Network (GPON) merupakan teknologi akses jaringan optik berbasis *Passive Optical Network* (PON) yang distandarisasi oleh rekomendasi ITU-T G.984 untuk mendukung layanan *broadband* berkecepatan *gigabit*. Teknologi ini menawarkan kapasitas *bandwidth* yang besar, pemanfaatan infrastruktur yang efisien, serta kemampuan mendukung layanan *triple play* [3].



GAMBAR 2
Arsitektur Jaringan GPON

Gambar 2 menunjukkan bahwa arsitektur jaringan GPON pada prinsipnya serupa pada berbagai arsitektur FTTx, dengan perbedaan utama terletak pada penempatan Titik Konversi Optik (TKO) [4].

TABEL 1
Spesifikasi GPON

NO.	Kelas GPON		
	Deskripsi	Kelas B+	Unit
1	Bit rate	Tx: 2.488 Rx: 1.244	Gbps
2	Panjang gelombang	Tx: 1490 Rx: 1310	nm
3	Daya keluar minimal	1.5	dBm
4	Daya keluar maksimal	5	dBm
5	sensitivity receiver minimal	-27	dBm
6	sensitivity receiver maksimal	-8	dBm

Tabel 1 merupakan rincian dari spesifikasi GPON pada kelas B+.

C. Switch

Dalam arsitektur *Fiber To The Building* (FTTB), *switch* berperan sebagai perangkat distribusi yang menerima sinyal dari jaringan *backbone* berbasis serat optik, kemudian mendistribusikannya ke pengguna akhir melalui media kabel tembaga atau serat optik internal gedung.

TABEL 2
SFP 1000BASE-LX

NO.	SFP 1000BASE-LX		
	Deskripsi	Spesifikasi	Unit
1	Bit rate	1.25	Gbps
2	Panjang gelombang	1310	nm
3	Rise time Tx	0.30	ns
4	Rise time Rx	0.35	ns
5	Lebar spektrum bandwidth	3.5	nm
6	Average receiver power (max)	-3	dBm
7	Receiver sensitivity (max)	-19	dBm

Tabel 2 merupakan rincian dari spesifikasi *Switch* dengan SFP 1000BASE-LX.

D. Link power budget (LPB)

Link power budget dilakukan dengan membandingkan daya pancar terhadap total redaman pada jalur transmisi. Adapun redaman total menggunakan persamaan 1 [5].

$$\alpha_{total} = (L \cdot \alpha_{kabel}) + (N_c \cdot \alpha_c) + (N_s \cdot \alpha_s) + \alpha_{sp} \quad (1)$$

Keterangan:

α_{total} = Redaman total (dB)

L = Panjang kabel (km)
 α_{kabel} = Redaman kabel (dB/km)
 N_c = Jumlah konektor
 α_c = Redaman konektor (dB)
 N_s = Jumlah sambungan
 α_s = Nilai redaman sambungan (dB)
 α_{sp} = Redaman *splitter* (dB)

Perhitungan LPB digunakan untuk memastikan bahwa daya optik yang diterima masih berada di atas batas *sensitivitas* penerima atau diatas -27 dBm dan *safety margin* sebesar 6 dB dengan menggunakan persamaan 2.

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{total} - SM \quad (2)$$

Keterangan:

P_{Rx} = Daya terima (dBm)

P_{Tx} = Daya pancar (dBm)

α_{total} = Redaman total (dB)

SM = *safety margin* (dB)

Suatu link dinyatakan layak apabila nilai *margin* daya (M) bernilai lebih besar dari nol melalui persamaan 3 [5].

$$M = (P_{tx} - P_{Rx(sensitivitas)}) - \alpha_{total} - SM \quad (3)$$

Keterangan:

M = *Margin* daya (dB)

P_{tx} = Daya pancar (dBm)

$P_{Rx(sensitivitas)}$ = *sensitivitas* daya terima (dBm)

α_{total} = Redaman total (dB)

SM = *safety margin* (dB)

Salah satu penyebab redaman yang tinggi diakibatkan dengan adanya yang ditimbulkan akibat pemilihan *passive splitter*. Tabel 3 merupakan redaman pada tiap masing-masing *passive splitter*, mulai dari rasio 1:2 hingga rasio 1:32 dengan redaman yang berbeda [6].

TABEL 3
Redaman *Passive splitter*

Redaman <i>Passive splitter</i>		
Rasio	Loss	Unit
1:2	3.70	dB
1:4	7.25	dB
1:8	10.38	dB
1:16	14.10	dB
1:32	17.45	dB

Tabel 3 merupakan rincian redaman pada *passive splitter* rasio 1:2 hingga 1:32.

Adapun redaman atau *loss* pada sambungan sebesar 0.10 dB dan *loss* pada konektor sebesar 0.25 dB [6].

E. Rise Time Budget (RTB)

Rise Time Budget digunakan untuk memastikan bahwa total *rise time* sistem masih lebih kecil dari batas yang ditentukan oleh *bit rate*. Batas kelayakan *rise time budget* menggunakan persamaan 4 dan untuk NRZ (*Non-Return to Zero*) dengan batas periode 70% [5], [7].

$$Tr = \frac{70\%}{Br} \quad (4)$$

Keterangan:

Tr = Batas kelayakan *rise time budget* (s)

Br = *Bit rate* (bit/s)

Perhitungan *rise time* dispersi kromatik menggunakan persamaan 5.

$$t_{cd} = |D_{cd}| \times L \times \Delta\lambda \quad (5)$$

Keterangan:

t_{cd} = *Rise time* dispersi kromatik (ps)
 D_{cd} = Dispersi kromatik (ps/(nm · km))
 L = Panjang kabel (km)
 $\Delta\lambda$ = Lebar spektral (nm)

Perhitungan *rise time* penyebaran pulsa menggunakan persamaan 6.

$$t_{pmd} = D_{pmd} \sqrt{L} \quad (6)$$

Keterangan:

t_{pmd} = *Rise time* penyebaran pulsa (ps)
 D_{pmd} = Dispersi penyebaran pulsa (ps/√km)
 L = Panjang kabel (km)

Perhitungan *rise time receiver* dengan menggunakan persamaan 7.

$$t_{rx} = \frac{350}{B_{rx}} \quad (7)$$

Keterangan:

t_{rx} = *rise time receiver* (ns)
 B_{rx} = *bandwidth receiver* (MHz)

Rise time modal memiliki nilai 0 untuk kabel jenis *singlemode*. Adapun untuk menghitung *rise time* sistem dengan menggunakan persamaan 8.

$$t_{sys} = (t_{tx}^2 + t_{mod}^2 + t_{cd}^2 + t_{pmd}^2 + t_{rx}^2)^{1/2} \quad (8)$$

Keterangan:

t_{sys} = *Rise time* sistem (ns)
 t_{tx} = *Rise time transmitter* (ns)
 t_{mod} = *Rise time modal* (ns),
 t_{cd} = *Rise time dispersi kromatik* (ps)
 t_{pmd} = *Rise time penyebaran pulsa* (ns)
 t_{rx} = *Rise time receiver* (ns)

F. Signal to noise ratio (SNR), *Q-factor*, Bit error rate (BER)

SNR, *Q-factor*, dan BER merupakan parameter utama untuk menilai kualitas dan keandalan sistem komunikasi serat optik. SNR menunjukkan perbandingan antara daya sinyal dan daya dengan noise pada sisi penerima, *Q-factor* menggambarkan kualitas pemisahan level logika '1' dan '0' pada sinyal digital, sedangkan BER menyatakan probabilitas terjadinya kesalahan *bit* selama transmisi. Persamaan 9 merupakan konversi daya dari dBm ke Watt sebagai berikut:

$$daya_{Watt} = 10^{\frac{daya_{dBm} - 30}{10}} \quad (9)$$

Keterangan:

$daya_{Watt}$ = Daya (W)
 $daya_{dBW}$ = Daya (dBm)

Perhitungan SNR dengan menggunakan persamaan 10.

$$SNR = \frac{(P_{in} \cdot R \cdot M)^2}{2q \cdot P_{in} \cdot R \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot B_e + 4 \cdot K_B \cdot T \cdot B_e / R_L} \quad (10)$$

Keterangan:

SNR = *Signal to noise ratio*
 P_{in} = Daya masuk (W)
 R_m = *Photodetector gain*
 q = *Elecktron charge* ($1.6 \times 10^{-19} C$)
 $F(M)$ = *Noise figure*
 B_e = *Receiver electrical bandwidth* (Hz)
 K_B = Konstanta Boltzman's ($1.38 \times 10^{-23} J/K$)
 T = Suhu ruangan (K)
 R_L = Resistansi (Ω)

Perhitungan SNR kedalam dB dengan menggunakan persamaan 11.

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10}(SNR) \quad (11)$$

Keterangan:

SNR_{dB} = *Signal to noise ratio* (dB)
 SNR = *Signal to noise ratio*

Perhitungan *Q-factor* menggunakan persamaan 12.

$$Q = \frac{10^{SNR/20}}{2} \quad (12)$$

Keterangan:

Q = *Q-factor*
 SNR = *Signal to noise ratio* (dB)

Perhitungan BER menggunakan persamaan 13.

$$BER = \left(\frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} \right) e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (13)$$

Keterangan:

BER = *Bit error rate*
 Q = *Q-factor*

Ketiga parameter ini saling berkaitan, di mana SNR yang tinggi akan menghasilkan *Q-factor* yang besar dan BER yang kecil, sehingga kualitas transmisi semakin baik pada jaringan GPON.

G. Shannon Channel Capacity

Kapasitas kanal adalah laju maksimum data yang dapat ditransmisikan secara andal melalui suatu kanal komunikasi. Nilainya ditentukan oleh kapasitas kanal dan *Signal to noise ratio* (SNR), serta menjadi batas teoretis performa sistem komunikasi. Pehitungan kapasitas kanal menggunakan persamaan 11.

$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (13)$$

Keterangan:

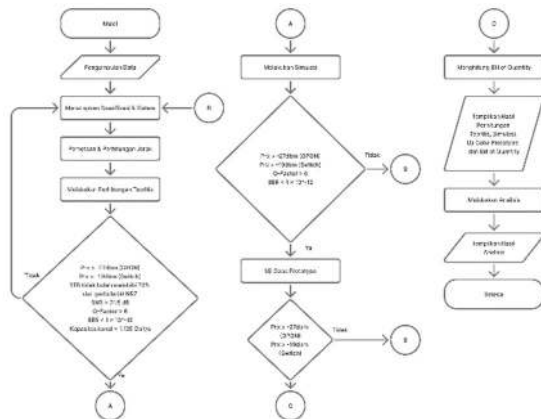
C = Kapasitas kanal (bit/s)
 B = *Bandwidth* kanal (Hz)
 SNR = *Signal to Noise*

H. Bill of quantity (BoQ)

Bill of quantity (BoQ) merupakan metode estimasi biaya proyek yang mencakup perhitungan kebutuhan material, kuantitas pekerjaan, dan harga satuan untuk memperoleh total biaya pelaksanaan. Dalam perencanaan jaringan, BoQ

digunakan sebagai dasar analisis biaya yang dikelompokkan menjadi *Capital Expenditure* (CAPEX) dan *Operational Expenditure* (OPEX). CAPEX didefinisikan sebagai biaya investasi awal untuk pengadaan dan instalasi infrastruktur jaringan, sedangkan OPEX merupakan biaya operasional berkelanjutan yang meliputi konsumsi energi, pemeliharaan, dan pengelolaan jaringan selama masa operasional. Pembagian ini digunakan untuk mengevaluasi efisiensi ekonomi suatu arsitektur jaringan secara menyeluruh.

III. METHODE



GAMBAR 3

Flowchart Implementasi

Pengujian dilakukan dengan 3 aspek yaitu aspek teknis, aspek efisiensi, dan *Bill of quantity* (BoQ). Metode dalam aspek teknis mencakup analisis performa dengan perhitungan teoritis, simulasi, uji coba *prototype* seperti pada gambar 3. Parameter pengujian performa yang dianalisis yaitu *Link power budget* (LPB), *Rise time budget* (RTB), *Signal to noise ratio* (SNR), *Q-factor*, serta BER. Pengujian dilakukan pada titik terdekat dan terjauh. Metode aspek efisiensi mencakup konsumsi energi. Metode *Bill of quantity* (BoQ) mencakup biaya CAPEX dan OPEX.



GAMBAR 3

Pemetaan *Control Room*

Perhitungan jalur yang dilakukan merupakan perhitungan untuk pengujian terhadap posisi ONT dan *access point* terdekat serta terjauh dari *control room*. Pada gambar 3 Pemetaan jalur dilakukan dari *control room* menuju *storage room* lantai 1. Perhitungan panjang kabel memperhitungkan tinggi gedung, dengan tinggi 6 meter untuk *basement* hingga lantai 5, 4 meter untuk lantai 6 hingga 15, dan 6 meter untuk lantai 16 hingga 19. Setiap jalur ditambahkan cadangan kabel sepanjang 1 meter

TABEL 4
Pemetaan Segmen Kabel FTTB Basis *Switch*

	Jarak Switch (m)	
	Terdekat Lt.1	Terjauh Lt.19
Control Room- Storage Room	53	141

	Jarak Switch (m)	
	<i>Terdekat Lt.1</i>	<i>Terjauh Lt.19</i>
Total	53	141

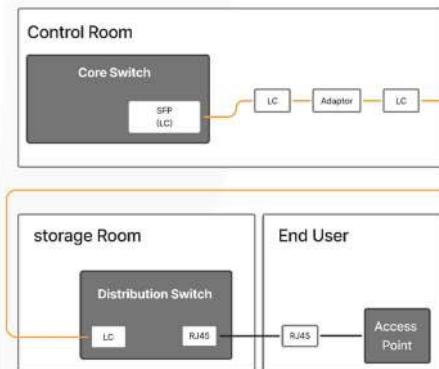
Pemetaan rute kabel pada FTTB berbasis *Switch* dimulai dari core *switch* pada control room hingga distribution *switch* pada storage room terdekat dan terjauh dari control room. Pada tabel 4 merupakan rincian hasil pemetaan rute kabel pada FTTB basis *switch* dengan total 2 titik pengujian.

TABEL 5
Pemetaan Segmen Kabel FTTB Basis GPON

	Jarak <i>ONT</i> (m)			
	<i>Terdekat</i>	<i>Terdekat</i>	<i>Terjauh</i>	<i>Terjauh</i>
	<i>1:16</i> <i>Lt.B</i>	<i>1:32</i> <i>Lt.1</i>	<i>1:16</i> <i>Lt.16</i>	<i>1:32</i> <i>Lt.19</i>
Kabel <i>Feeder</i>	60	60	147	141
Kabel <i>Distribusion</i>	1	8	6	27
Kabel <i>Drop</i>	70	20	67	61
Total	131	88	220	235

Pemetaan perancangan jaringan FTTB berbasis GPON pada gedung TULT dimulai dari *Optical Line Termination* yang berada di *control room* dengan menggunakan kabel *feeder* ke setiap *Optical Distribution Cabinet* (ODC) yang berada pada lantai *basement*, lantai 5, lantai 10, dan lantai 15. Selanjutnya dari ODC hingga *Optical Distribution Point* (ODP) menggunakan kabel *distribution*, dan terakhir dari ODP hingga *Optical network terminal* (ONT) menggunakan kabel *drop*. Rincian panjang kabel yang digunakan untuk pengujian GPON dengan total 4 titik pengujian dapat terlihat pada tabel 5 yang disesuaikan dengan kebutuhan perangkat ONT pada lantai yang diuji

A. FTTB Basis *Switch*



GAMBAR 4

Blok Diagram FTTB Basis *Switch*

Gambar 4 merupakan blok diagram FTTB berbasis *switch*, dimulai dari *core switch* yang terletak pada *control room* hingga *access point*. Untuk membandingkan performa FTTB berbasis *switch* pemilihan spesifikasi disesuaikan dengan kondisi perangkat eksisting pada gedung TULT. Spesifikasi FTTB berbasis *switch* yang digunakan dirincikan dalam point-point berikut.

1000BASE-LX10 (IEEE 802.3ah):

Lebar spektral transmitter: 3 nm

Bandwidth transmitter: 1500 MHz

Rise time transmitter): 0.26 ns

Rise time receiver: 0.30 ns

center wavelength: 1310 nm

Responsivitas fotodetektor: 0.9 A/W

Gain: 1

Muatan elektron: 1.69×10^{-19} C
Noise figure F(M): 1
Bandwidth sistem: 1.5 GHz
 Konstanta Boltzmann: 1.38×10^{-23} J/K
 Suhu ruangan: 300 K
 Resistansi beban (RL): 50 Ω
 Kabel SMF-G.657.B (ITU-T G.657):
 Atenuasi (1310–1625 nm): 0.40 dB
 Dispersi kromatik: 6.16 ps/(nm·km)
Polarization Mode Dispersion (PMD): 0.50 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
Rise time modal: 0

Adapun untuk parameter yang dimasukkan pada simulasi yaitu.

Global Parameter:
Bit rate: 1 Gbps
Sequence length: 128
Samples per bit: 64
Number of samples: 8192
Transmitter:
Frequency: 1310 nm
Power: -6 dBm
Line width: 1 MHz
Modulation type: NRZ
Rise time: 0.16 ns
Fall time: 0.16 ns
Optical Fiber:
Attenuation: 0.4 dB/km
Dispersion: 6.16 ps/nm/km
Dispersion slope: 0.092 ps/nm²/km
PMD coefficient: 0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
Attenuator (Splice)
Attenuation: 0.1 dB
Connector:
Attenuation: 0.1 dB
Optical Receiver:
Photodetector: PIN
Gain: 1
Responsivity: 0.9 A/W
Dark current: 10 nA
Center frequency: 1310 nm

Berdasarkan perhitungan teoritis, diperoleh nilai parameter RTB, SNR, *Q-factor*, BER, kapasitas kanal, dan LPB untuk kondisi terdekat dan terjauh pada tabel 6 jaringan berbasis switch.

TABEL 6
Perhitungan Teoritis FTTB Basis Switch

Perhitungan Teoritis Switch		
Parameter	Terdekat	Terjauh
RTB	0.3969898 ns	0.396997 ns
SNR	48.12768 dB	48.06284 dB
<i>Q-factor</i>	127.45416	126.50.626
BER	6.25×10^{-3533}	1.64×10^{-3481}
Kapasitas Kanal	23.9815 Gbit/s	23.9492 Gbit/s
Margin Daya	6.3788 dBm	6.3436 dBm

Pada pengujian menggunakan metode simulasi, diperoleh nilai *Q-factor*, BER, dan LPB dalam tabel 7 yang merepresentasikan karakteristik sistem dalam kondisi terkontrol sesuai dengan konfigurasi perangkat dan parameter yang dimodelkan.

TABEL 7
Simulasi FTTB Basis Switch

Simulasi Switch		
Parameter	Terdekat	Terjauh
<i>Q-factor</i>	178.6	178.6
BER	0	0
LPB	-9.311 dBm	-9.311 dBm

Selanjutnya, pengujian melalui *prototype* disajikan dalam tabel 8, pengukuran difokuskan pada nilai LPB untuk kondisi terdekat dan terjauh sebagai representasi performa daya terima sistem pada kondisi implementasi nyata.

TABEL 8
Prototype FTTB Basis Switch

Prototype Switch		
Parameter	Terdekat	Terjauh
LPB	-6.31 dBm	-9.75 dBm

Tabel 9 merupakan rincian dari konsumsi energi basis switch dengan total biaya listrik per bulan yaitu Rp24.059.196.

TABEL 9
Konsumsi Energi FTTB Basis Switch

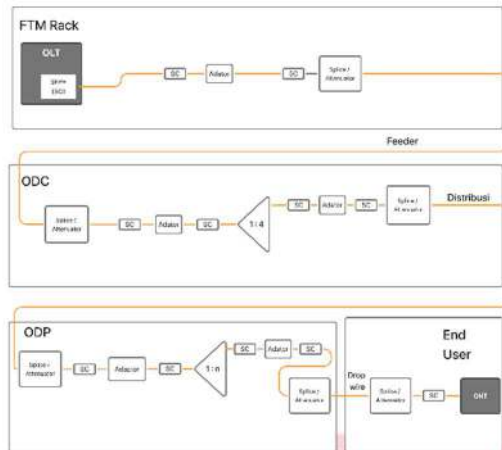
Perangkat	Jumlah	Max Power Rating (kW)	Tarif Listrik PLN /kWh	Konsumsi Energi Bulanan	Biaya Listrik / Bulan
Switch RG-S5750C-28SFP4XS-H	1	0,14	Rp1.445	100,8	Rp145.626
Switch RG-S2910-24GT4XS-UP-H	39	0,46	Rp1.445	331,2	Rp18.660.901
Switch RG-S2910-24GT4SFP-UP-H	2	0,46	Rp1.445	331,2	Rp956.969
Switch RG-NBS3200-24SFP/8GT4XS	10	0,0148	Rp1.445	10,656	Rp153.947
Switch RG-NBS3100-24GT4SFP	1	0,021	Rp1.445	15,12	Rp21.844
RG AP 130W2V2	72	0,008	Rp1.445	5,76	Rp599.146
RG AP 180	1	0,01	Rp1.445	7,2	Rp10.402
RG AP 710	5	0,01295	Rp1.445	9,324	Rp67.352
RG AP 720L	200	0,01295	Rp1.445	9,324	Rp2.694.077
RG AP 840	18	0,04	Rp1.445	28,8	Rp748.932
TOTAL BIAYA LISTRIK / BULAN					Rp24.059.196

Tabel 10 merupakan anggaran yang telah disesuaikan dengan kondisi saat ini. Dengan total keseluruhan Rp2.953.273.715.

TABEL 10
CAPEX & OPEX FTTB Basis Switch

CAPEX & OPEX Switch	
Anggaran	Rupiah
Pengadaan Barang	2.815.294.519
Biaya Jasa	112.420.000
Biaya Operasional	25.559.196

B. FTTB Basis GPON



GAMBAR 5

Blok Diagram FTTB Basis GPON

Gambar 5 menjelaskan skema blok diagram basis GPON yang akan dirancang. Dimulai dari OLT hingga ONT melalui ODC dan ODP. Pengujian parameter yang digunakan pada rancangan ini diambil menggunakan spesifikasi dari perangkat *transceiver* vendor dengan SFP bertipe GPON kelas B+, serta penggunaan serat SMF-G.657.B sebagai saluran transmisi yang mendukung pengimplementasian kabel indoor pada gedung-gedung.

Spesifikasi perangkat GPON Kelas B+:

Lebar spektral sumber cahaya: 1 nm

Rise time transmitter (Tx): 0.160 ns

Rise time receiver (Rx): 0.06 ns

Jenis photodetector: APD

Tipe laser: Distributed Feedback (DFB)

Responsivitas (RRR): 1 A/W

Gain APD: 3

Muatan elektron: 1.69×10^{-19} C

Q-factor: 0.75

Noise Figure F(M): 5.5

Bandwidth sistem: 3 GHz

Konstanta Boltzmann: 1.38×10^{-23} J/K

Suhu ruangan: 300 K

Resistansi: 50 Ω

Spesifikasi kabel SMF-G.657.B (ITU-T G.657):

Atenuasi (1310–1625): 0.40 dB

Dispersi kromatik: 20.67 ps/(nm·km)

Polarization Mode Dispersion (PMD): 0.50 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Panjang gelombang operasi: 1310 nm

Rise time modal: 0

Adapun untuk parameter yang dimasukkan pada simulasi yaitu.

Global Parameter:

Bit rate: 2.5 Gbps

Sequence length: 128

Samples per bit: 64

Number of samples: 8192

Transmitter:

Frequency: 1490 nm

Power: 3 dBm

Line width: 10 MHz

Modulation type: NRZ

Rise time: 0.16 ns

Fall time: 0.16 ns

Optical Fiber:

Attenuation: 0.4 dB/km

Dispersion: 20.67 ps/nm/km

Dispersion slope: 0.092 ps/nm²/km

PMD coefficient: 0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Passive splitter:

Power Splitter 1:4: 7.25 dB

Power Splitter 1:8: 10.38 dB

Attenuator (Splice)

Attenuation: 0.1 dB

Connector:

Attenuation: 0.25 dB

Optical Receiver

Photodetector: APD

Gain: 10

Responsivity: 1 A/W

Dark current: 10 nA

Center frequency: 1490 nm

Pada pengujian perhitungan teoritis, diperoleh nilai RTB, SNR, *Q-factor*, BER, kapasitas kanal, dan LPB untuk beberapa skenario pembagian *splitter*, yaitu terdekat 1:16, terdekat 1:32, terjauh 1:16, dan terjauh 1:32. Hasil ini digunakan untuk menggambarkan performa jaringan GPON dan disajikan dalam tabel 11.

TABEL 11
Perhitungan Teoritis FTTB Basis GPON

Parameter	Perhitungan Teoritis GPON			
	Terdekat		Terjauh	
	1:16	1:32	1:16	1:32
RTB	0.160023 ns	0.17089 ns	0.170941 ns	0.170949 ns
SNR	35.35572 dB	31.48695 dB	35.30563 dB	30.6089 dB
<i>Q-factor</i>	29.29247	18.76366	29.12403	16.95958
BER	8.66×10^{-188}	1.60×10^{-77}	1.37×10^{-185}	1.26×10^{-64}
Kapasitas Kanal	35.236 Gbit/s	31.3823 Gbit/s	35.1861 Gbit/s	30.5079 Gbit/s
Margin Daya	5.8476 dBm	3.2348 dBm	5.812 dBm	2.676 dBm

Pada pengujian menggunakan metode simulasi yang terdapat pada tabel 12, diperoleh nilai *Q-factor*, BER, dan LPB untuk setiap konfigurasi *splitter* yang diuji. Data ini merepresentasikan karakteristik performa jaringan GPON dalam kondisi sistem yang dimodelkan secara terkontrol.

TABEL 12
Simulasi FTTB Basis GPON

Parameter	Simulasi GPON			
	Terdekat		Terjauh	
	1:16	1:32	1:16	1:32
<i>Q-factor</i>	32.2601	25.3064	31.4517	25.3064
BER	1.21038×10^{-228}	1.2957×10^{-141}	1.91892×10^{-217}	1.29348×10^{-141}
LPB	-19.714 dBm	-22.012 dBm	-19.768 dBm	-22.012 dBm

Pada pengujian melalui uji coba *prototype*, parameter yang diamati adalah LPB untuk konfigurasi terdekat dan terjauh dengan rasio *splitter* 1:16 dan 1:32 yang disajikan di tabel 13. Hasil ini digunakan untuk menggambarkan kondisi daya terima jaringan GPON pada implementasi nyata.

TABEL 13
Prototype FTTB Basis GPON

Prototype GPON				
Parameter	Terdekat		Terjauh	
	1:16	1:32	1:16	1:32
LPB	-13.34 dBm	-18.21 dBm	-13.66 dBm	-17.17 dBm

Tabel 14 merupakan rincian dari konsumsi energi GPON dengan total biaya listrik per bulan yaitu Rp3.963.101

TABEL 14
Konsumsi Energi FTTB Basis GPON

Perangkat	Jumlah	Max Power Rating (kW)	Tarif Listrik PLN /kWh	Konsumsi Energi Bulanan	Biaya Listrik / Bulan
ZTE ZHXN F660 V8.0 FTTH	296	0,01	Rp1.445	7,2	Rp3.078.945
OLT	1	0,85	Rp1.445	612	Rp884.156
TOTAL BIAYA LISTRIK / BULAN					Rp3.963.101

Tabel 15 merupakan anggaran perancangan berbasis GPON dengan total keseluruhan mencakup CAPEX & OPEX yaitu Rp819.171.805,00

TABEL 15
CAPEX & OPEX FTTB Basis GPON

CAPEX & OPEX GPON	
Anggaran	Rupiah
Pengadaan Barang	352.868.712
Biaya Jasa	460.840.000
Biaya Operasional	5.463.091

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Performa Jaringan

Tabel 16 menunjukkan perbandingan performansi dari hasil perhitungan teoritis. Pada parameter RTB, jaringan FTTB berbasis *switch* memiliki nilai sekitar 0.396 ns baik pada lintasan terdekat maupun terjauh, yang masih berada di bawah batas maksimum 0.56 ns. Hal ini menunjukkan bahwa dispersi tidak menjadi faktor pembatas performansi sistem. Pada jaringan FTTB berbasis GPON, nilai RTB berada pada kisaran 0.160–0.171 ns untuk seluruh konfigurasi *splitter* 1:16 dan 1:32, yang juga masih berada jauh di bawah batas maksimum 0.28 ns, sehingga kualitas transmisi dari sisi temporal tetap sangat baik.

Pada parameter SNR, arsitektur *switch* menghasilkan nilai sekitar 48 dB, jauh di atas batas minimum 21.5 dB, yang menandakan kualitas sinyal sangat stabil dengan margin yang besar. Pada arsitektur GPON, nilai SNR berada pada kisaran 35 dB untuk *splitter* 1:16 dan turun menjadi sekitar 30–31 dB untuk *splitter* 1:32. Penurunan ini disebabkan oleh tambahan rugi daya akibat *passive splitter*, namun seluruh nilai masih memenuhi kriteria kelayakan.

Pada parameter *Q-factor*, jaringan berbasis *switch* menunjukkan nilai yang sangat tinggi, sekitar 127, yang mencerminkan kualitas transmisi yang sangat baik. Pada jaringan berbasis GPON, nilai *Q-factor* berada pada kisaran 29 untuk *splitter* 1:16 dan menurun menjadi sekitar 17–19 pada *splitter* 1:32. Meskipun lebih kecil dibandingkan *switch*, seluruh nilai masih jauh di atas batas minimum 6.

Pada parameter BER, jaringan berbasis *switch* menghasilkan nilai yang sangat kecil hingga mendekati nol, sehingga kemungkinan kesalahan bit dapat diabaikan. Pada jaringan berbasis GPON, nilai BER meningkat seiring bertambahnya rasio *splitter*, khususnya pada *splitter* 1:32,

namun seluruh nilai tetap berada jauh di bawah ambang batas 1×10^{-12} .

Pada parameter kapasitas kanal, jaringan berbasis *switch* menghasilkan kapasitas sekitar 24 Gbit/s, jauh melebihi kebutuhan minimum 1.105 Gbit/s. Pada jaringan berbasis GPON, kapasitas kanal bahkan lebih tinggi, yaitu sekitar 30–35 Gbit/s untuk seluruh konfigurasi, sehingga sistem sangat mencukupi untuk kebutuhan *bandwidth* gedung.

Pada parameter LPB, jaringan berbasis *switch* memiliki margin daya sekitar 6.3 dBm yang menunjukkan cadangan daya yang besar. Pada jaringan berbasis GPON, margin daya berada pada kisaran 2.6–5.8 dBm, dengan nilai terbesar pada *splitter* 1:16 dan terendah pada *splitter* 1:32. Meskipun menurun, seluruh margin LPB masih bernilai positif sehingga sistem tetap berada dalam kondisi layak operasi.

TABEL 16
Analisis Performansi Perhitungan Teoritis

Parameter	Nilai Kelayakan	Switch	Passive splitter Teknologi GPON
Perhitungan Teoritis			
RTB	Kurang dari 0.56 ns (<i>switch</i>) Kurang dari 0.28 ns (GPON)	0.3969898 ns (terdekat) 0.396997 ns (terjauh)	0.160023 ns (terdekat 1:16) 0.17089 ns (terdekat 1:32) 0.170941 ns (terjauh 1:16) 0.170949 ns (terjauh 1:32)
SNR	Lebih dari 21.5 dB	48.12768 dB (terdekat) 48.06284 dB (terjauh)	35.35572 dB (terdekat 1:16) 31.48695 dB (terdekat 1:32) 35.30563 dB (terjauh 1:16) 30.6089 dB (terjauh 1:32)
Q-factor	Lebih dari 6	127.45416 (terdekat) 126.50626 (terjauh)	29.29247 (terdekat 1:16) 18.76366 (terdekat 1:32) 29.12403 (terjauh 1:16) 16.95958 (terjauh 1:32)
BER	Kurang dari 1×10^{-12}	6.25×10^{-3533} (terdekat) 1.64×10^{-3481} (terjauh)	8.66×10^{-188} (terdekat 1:16) 1.60×10^{-77} (terdekat 1:32) 1.37×10^{-185} (terjauh 1:16) 1.26×10^{-64} (terjauh 1:32)
Kapasitas Kanal	Lebih dari 1105 Mbit/s atau 1.105 Gbit/s	23.9815 Gbit/s (terdekat) 23.9492 Gbit/s (terjauh)	35.236 Gbit/s (terdekat 1:16) 31.3823 Gbit/s (terdekat 1:32) 35.1861 Gbit/s (terjauh 1:16) 30.5079 Gbit/s (terjauh 1:32)
LPB	Margin lebih dari 0	6.3788 dBm (terdekat) 6.3436 dBm (terjauh)	5.8476 dBm (terdekat 1:16) 3.2348 dBm (terdekat 1:32) 5.812 dBm (terjauh 1:16) 2.676 dBm (terjauh 1:32)

Tabel 17 menunjukkan perbandingan performansi dari hasil simulasi menggunakan software optisystem. Pada parameter *Q-factor*, hasil simulasi menunjukkan bahwa jaringan berbasis *switch* memiliki nilai sebesar 178.6 baik pada lintasan terdekat maupun terjauh, yang menandakan kualitas sinyal yang sangat ideal. Pada jaringan berbasis GPON, nilai *Q-factor* berada pada kisaran 32 untuk *splitter* 1:16 dan sekitar 25 untuk *splitter* 1:32. Nilai ini tetap berada jauh di atas batas minimum kelayakan, meskipun menunjukkan penurunan performansi akibat peningkatan rasio *splitter*.

Pada parameter BER, jaringan berbasis *switch* menghasilkan nilai 0 pada simulasi, yang menunjukkan tidak terdeteksi adanya kesalahan bit. Pada jaringan berbasis GPON, nilai BER berada pada orde yang sangat kecil, sekitar 10^{-228} hingga 10^{-141} , dan seluruhnya masih jauh di bawah ambang batas kelayakan.

Pada parameter LPB yang direpresentasikan oleh daya terima, jaringan berbasis *switch* memiliki daya terima sekitar -9.31 dBm, yang menunjukkan margin daya yang sangat besar. Pada jaringan berbasis GPON, daya terima berada pada kisaran -19.7 dBm hingga -22.0 dBm, dengan performansi lebih baik pada *splitter* 1:16 dibandingkan *splitter* 1:32. Seluruh nilai masih berada di atas batas sensitivitas penerima GPON.

TABEL 17
Analisis Performansi Hasil Simulasi

Parameter	Nilai Kelayakan	Switch	Passive splitter Teknologi GPON
Simulasi			
<i>Q-factor</i>	Lebih dari 6	178.6 (terdekat) 178.6 (terjauh)	32.2601 (terdekat 1:16) 25.3064 (terdekat 1:32) 31.4517 (terjauh 1:16) 25.3064 (terjauh 1:32)
BER	Kurang dari 1×10^{-12}	0 (terdekat) 0 (terjauh)	1.21038×10^{-228} (terdekat 1:16) 1.2957×10^{-141} (terdekat 1:32) 1.91892×10^{-217} (terjauh 1:16) 1.29238×10^{-141} (terjauh 1:32)
LPB	Nilai daya terima lebih besar dari -19 dBm (<i>switch</i>) Nilai daya terima lebih besar dari -27 dBm (GPON)	-9.311 dBm (terjauh) -9.311 dBm (terjauh)	-19.714 dBm (terdekat 1:16) -22.012 dBm (terdekat 1:32) -19.768 dBm (terjauh 1:16) -22.012 dBm (terjauh 1:32)

Tabel 18 menunjukkan perbandingan performansi dari hasil pengujian prototipe. Pada parameter LPB, hasil pengukuran menunjukkan bahwa jaringan berbasis *switch* memiliki daya terima sebesar -6.31 dBm pada lintasan terdekat dan -9.75 dBm pada lintasan terjauh. Nilai ini menunjukkan margin daya yang sangat besar dan kondisi sinyal yang sangat kuat di sisi penerima.

Pada jaringan berbasis GPON, daya terima hasil pengukuran berada pada kisaran -13.34 dBm hingga -18.21 dBm, dengan nilai yang lebih baik pada konfigurasi *splitter*

1:16 dibandingkan *splitter* 1:32. Penurunan daya terima pada *splitter* 1:32 sesuai dengan karakteristik *passive splitter*, namun seluruh nilai masih berada di atas batas sensitivitas penerima.

Hasil uji coba *prototype* ini menunjukkan kesesuaian dengan perhitungan teoritis dan simulasi, sehingga dapat disimpulkan bahwa rancangan jaringan FTTB berbasis GPON dengan *passive splitter* tidak hanya layak secara teoritis dan simulatif, tetapi juga terbukti layak pada implementasi nyata.

TABEL 18
Analisis Performansi Pengujian *Prototype*

Parameter	Nilai Kelayakan	Switch	Passive splitter Teknologi GPON
Uji Coba <i>Prototype</i>			
LPB	Nilai daya terima lebih besar dari -19 dBm (<i>switch</i>) Nilai daya terima lebih besar dari -27 dBm (GPON)	-6.31 dBm (terdekat) -9.75 dBm (terjauh)	-13.34 dBm (terdekat 1:16) -18.21 dBm (terdekat 1:32) -13.66 dBm (terjauh 1:16) -17.17 dBm (terjauh 1:32)

B. Aspek Konsumsi Energi

TABEL 19
Konsumsi Energi

Teknologi	Biaya Listrik / Bulan	Biaya Listrik / Tahun
<i>Switch</i>	Rp 24.059.196,00	Rp 288.710.352,00
<i>Passive splitter</i> Teknologi GPON	Rp 3.963.101,00	Rp 47.557.212,00

Berdasarkan hasil perhitungan, FTTB berbasis *switch* membutuhkan biaya listrik yang jauh lebih besar dibandingkan FTTB berbasis GPON. Hal ini disebabkan oleh banyaknya perangkat aktif yang harus selalu beroperasi dan membutuhkan catu daya. Sebaliknya, pada GPON distribusi jaringan didominasi oleh perangkat pasif sehingga konsumsi energi menjadi jauh lebih rendah.

Dengan demikian, dari sisi efisiensi energi, FTTB berbasis GPON lebih unggul karena mampu menekan biaya operasional listrik secara signifikan dibandingkan arsitektur berbasis *switch*.

C. Aspek Bill of quantity (BoQ)

TABEL 20
Bill of quantity

Teknologi	Capex	Opex
<i>Switch</i>	Rp 2.927.714.519,00	Rp 25.559.196,00
<i>Passive splitter</i> Teknologi GPON	Rp 813.708.714,00	Rp 5.463.091,00

Berdasarkan hasil BoQ, FTTB berbasis *switch* membutuhkan nilai CAPEX dan OPEX yang jauh lebih besar dibandingkan FTTB berbasis GPON. Tingginya CAPEX pada *switch* disebabkan oleh kebutuhan perangkat aktif yang lebih banyak, sedangkan OPEX yang besar dipengaruhi oleh biaya operasional dan pemeliharaan perangkat tersebut.

Sebaliknya, FTTB berbasis GPON membutuhkan investasi awal yang lebih rendah dan biaya operasional yang lebih kecil karena struktur jaringannya lebih sederhana dan didominasi oleh perangkat pasif.

Secara keseluruhan, dari sisi biaya, FTTB berbasis GPON lebih efisien baik dalam investasi awal maupun operasional, sehingga lebih ekonomis untuk implementasi jaringan akses pada skenario yang dianalisis.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, analisis, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa migrasi jaringan akses dari arsitektur FTTB berbasis *switch* menuju FTTB berbasis *passive splitter* dengan teknologi GPON di Gedung *Telkom University Landmark Tower* (TULT) layak diterapkan secara teknis. Seluruh parameter performa jaringan, meliputi *Link power budget* (LPB), *Rise Time Budget* (RTB), *Signal to noise ratio* (SNR), *Q-factor*, *Bit error rate* (BER), serta kapasitas kanal, telah memenuhi standar kelayakan sistem GPON sehingga kualitas transmisi dapat terjamin.

Penerapan arsitektur FTTB berbasis GPON mampu menyederhanakan topologi jaringan akses dengan mengurangi ketergantungan terhadap perangkat aktif di sisi distribusi. Penggunaan *passive splitter* memungkinkan mekanisme distribusi *bandwidth* secara *point-to-multipoint* yang lebih terpusat dan efisien, sekaligus meningkatkan kemudahan pengelolaan jaringan dari sisi OLT.

Dari aspek efisiensi infrastruktur dan energi, FTTB berbasis GPON menunjukkan keunggulan yang signifikan dibandingkan FTTB berbasis *switch*. Berkurangnya jumlah perangkat aktif di dalam gedung berdampak langsung pada penurunan kebutuhan ruang instalasi, konsumsi daya listrik, serta kompleksitas operasional dan pemeliharaan jaringan. Hal ini menjadikan GPON lebih unggul dalam mendukung efisiensi operasional jangka panjang.

Ditinjau dari aspek biaya, penerapan GPON memberikan keuntungan dari sisi keberlanjutan infrastruktur. Meskipun membutuhkan perencanaan investasi awal (CAPEX) yang matang, potensi penurunan biaya operasional (OPEX) akibat efisiensi energi dan minimnya perangkat aktif menjadikan arsitektur ini lebih ekonomis untuk implementasi jangka panjang.

Selain itu, perencanaan jumlah *Optical network terminal* (ONT) yang disesuaikan dengan jumlah serta distribusi *access point* eksisting di TULT memungkinkan proses migrasi dilakukan secara realistis tanpa harus mengubah secara drastis infrastruktur yang telah terpasang. Dengan

demikian, migrasi ke FTTB berbasis GPON tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga efektif dari sisi operasional, efisiensi energi, dan keberlanjutan biaya infrastruktur jaringan.

REFERENSI

- [1] Y. L. Octavianus, I. Elfitri and O. W. Purbo, "Perancangan dan Analisis Jaringan FTTB Berbasis Teknologi GPON Pada Bangunan Hotel," *Jurnal Inovtek Polbeng*, vol. 8, 2023.
- [2] L. M. Silalahi and F. A. Silaban, "Implementasi Jaringan Fiber To The Building Menggunakan Teknologi di Gedung Pasaraya Blok M," *JREC (Journal of Electrical and Electronics)*, vol. 8, pp. 91-100, November 2020.
- [3] International Telecommunication Union, "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics – Amendment 2," ITU-T, Geneva, 2012.
- [4] W. M. Prayoga and A. Sani, "Perancangan Jaringan Fiber To The Home (FTTH) Menggunakan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON)," *Ebid: Ekonomi Bisnis Digital*, vol. 1, pp. 179-188, Desember 2023.
- [5] F. Erwanto, E. Wahyudi and F. Khair, "Analisis implementasi jaringan FTTH dan FTTB di gedung perkantoran," *Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, vol. 18, no. 2, pp. 40-51, September 2021.
- [6] I. M. Zukri, A. Yolanda, Y. and Y. , "Analisis Pengaruh Penggunaan Passive Splitter pada Optical Distribution Point (ODP) Terhadap Kinerja Jaringan di Rumah Pelanggan," *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, vol. 18, pp. 32-37, 2022.
- [7] G. Keiser, *Optical Communication Essentials*, McGraw-Hill, 2003.