

Evaluasi Kinerja CWDM 8 Channel dengan Variasi Panjang Gelombang: Fokus Power Link Budget, SNR dan BER

Performance Evaluation of 8 Channel CWDM Fiber Optic Network with Variation of Wavelength: Focus on Power Link Budget, SNR and BER

Alpiyan Arif Rojabi, Ahmad Fauzi*, Dewi Indriati Hadi Putri

Sistem Telekomunikasi, Universitas Pendidikan Indonesia, Purwakarta

Email* : ahmad.fauzi@upi.edu

Abstrak - Kebutuhan koneksi internet terus bertambah dan prioritas utama penduduk Indonesia. Penggunaan serat fiber optik sebagai sistem transmisi bertujuan meningkatkan kecepatan transfer data dan tahan terhadap gangguan. Penggunaan teknologi CWDM dapat mengatasi jumlah trafik tinggi dengan cara membagi panjang gelombang. PT. Surya Citra Media memiliki jaringan yang menghubungkan kantor SCTV tower dengan kantor IVM di Daan Mogot. Penelitian ini meneliti performansi jaringan fiber optik CWDM *link* SCTV Tower – IVM Daan Mogot. CWDM yang digunakan berkapasitas 8 *channel* dengan panjang gelombang 1310 nm-1450 nm dengan *channel spacing* 20nm. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi jaringan fiber optik CWDM 8 *channel* melalui pengukuran performansi. Performansi jaringan fiber optik difokuskan pada parameter *power link budget*, SNR dan BER. Hasil penelitian menunjukkan *power link budget* sebesar -9,407 dB dan nilai SNR dengan nilai terkecil sebesar 37,0864 dan terbesar sebesar 37,6150 dB. Sedangkan besaran nilai BER dengan rentang 10^{-10} hingga 10^{-11} . Berdasarkan hasil evaluasi jaringan tersebut dinyatakan layak.

Kata kunci : *Power Link Budget, Signal to Noise Ratio, Bit Error Rate, Performansi, Panjang Gelombang*

Abstract - The need for internet connection continues to grow and is the main priority of the Indonesian population. The use of fiber optic as a transmission system aims to increase data transfer speed and is resistant to interference. The use of CWDM technology can overcome high traffic volumes by dividing the wavelength. PT. Surya Citra Media has a network that connects the SCTV tower office with the IVM office in Daan Mogot. This study examines the performance of the CWDM fiber optic network link SCTV Tower - IVM Daan Mogot. The CWDM used has a capacity of 8 channels with a wavelength of 1310 nm-1450 nm with a channel spacing of 20nm. This study was conducted to evaluate the 8-channel CWDM fiber optic network through performance measurements. The performance of the fiber optic network is focused on the parameters of the power link budget, SNR and BER. The results showed a power link budget of -9.407 dB and an SNR value with the smallest value of 37.0864 and the largest of 37.6150 dB. While the BER value ranges from 10^{-10} to 10^{-11} . Based on the results of the evaluation, the network is declared feasible.

Keywords : *Power Link Budget, Signal to Noise Ratio, Bit Error Rate, Performance, Wavelength*

I. PENDAHULUAN

Peradaban manusia sudah semakin canggih, hal tersebut terlihat dari transformasi digital yang semakin banyak digunakan pada aspek kehidupan [1]. Kebutuhan koneksi internet terus bertambah dan kini menjadi prioritas utama bagi penduduk Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik jumlah pengguna internet di Indonesia mencapai 215,63 juta periode 2022-2023 [2]. Jumlah tersebut membuktikan bahwa masyarakat menerima

perkembangan teknologi. Akan tetapi beberapa teknologi telekomunikasi yang digunakan saat ini kecepatan akses data yang masih rendah dan rentan terhadap gangguan [3].

Penggunaan kabel serat fiber optik sebagai sistem transmisi bertujuan meningkatkan kecepatan transfer data dan tahan terhadap gangguan dengan menyediakan *bandwidth* besar dan minim redaman [4]. Akan tetapi keterbatasan sistem transmisi serat optik akibat tingginya trafik

kebutuhan pengguna. Tingginya jumlah trafik dapat diatasi menggunakan teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) dengan memanfaatkan cahaya serat optik yang memiliki panjang gelombang yang berbeda-beda digabungkan dalam satu fiber tunggal [5]. Proses penggabungan paket disebut *Multiplexing* dan dengan alat penggabungnya yang disebut *multiplexer*. Penggabungan tersebut dapat menghemat perangkat dan saluran yang dibutuhkan. Sehingga membuat fleksibilitas yang tinggi sehingga memungkinkan proses transmisi secara bersamaan tanpa menambah jumlah fiber optik [6]. WDM bekerja dengan cara menggabungkan sinyal informasi yang berbeda pada satu serat optik dengan menggunakan panjang gelombang (warna) cahaya laser yang berbeda. Oleh karena itu dapat meningkatkan kapasitas dan memungkinkan dua arah pada satu serat optik.

Jakarta merupakan salah satu kota metropolitan terbesar di Indonesia gedung tinggi pencakar langit di setiap sudut kota. Sistem transmisi yang dapat digunakan pada kondisi geografis tersebut ialah komunikasi optik dengan fiber optik sebagai media transmisinya. PT. Surya Citra Media suatu perusahaan televisi nasional yang memiliki beberapa kantor di Jakarta membutuhkan jaringan fiber optik untuk menghubungkan kantor yang berada di SCTV tower Senayan City dengan kantor IVM di Daan Mogot. Berdasarkan kebutuhan tersebut, dibuatlah jaringan fiber optik menggunakan teknologi CWDM 8 *channel* pada *link* SCTV tower- IVM Daan Mogot.

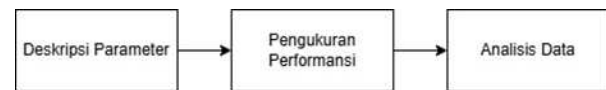
Penelitian mengenai fiber optik yang menggunakan teknologi CWDM sebelumnya telah dilakukan penelitian oleh Kumar & Reddy mengenai pengaruh teknologi CWDM pada jaringan fiber optik tanpa EDFA menggunakan simulasi perangkat lunak *Optisystem*. Hasil penelitian menyatakan bahwa empat saluran CWDM menunjukkan potensi teknologi dengan kecepatan tinggi dan biaya rendah serta *bandwidth* besar. Selain itu penelitian tersebut menyimpulkan bahwa panjang gelombang mempengaruhi nilai Q-faktor, BER, dan *Eye diagram* yang dihasilkan dari sebuah jaringan fiber optik. Semakin panjang serat gelombang yang digunakan semakin menurun hasil nilai yang dihasilkan [7].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi dan performansi panjang gelombang terhadap

performansi jaringan fiber optik yang menggunakan teknologi CWDM 8 *channel*. Analisis performansi penggunaan teknologi CWDM pada jaringan fiber optik yang dilakukan dilihat dari nilai *power link budget*, *signal noise to ratio* dan *bit error rate*.

II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode analisis eksperimen. Analisis eksperimen adalah penelitian yang menentukan hubungan kausal atau sebab akibat variabel tertentu terhadap variabel lain secara akurat. Penelitian tersebut dilakukan secara sistematis, terencana, dan dilihat dari alur penelitian, *design*, dan *funksional* [8], [9], [10]. Berikut ini tahapan penelitian yang dilakukan:



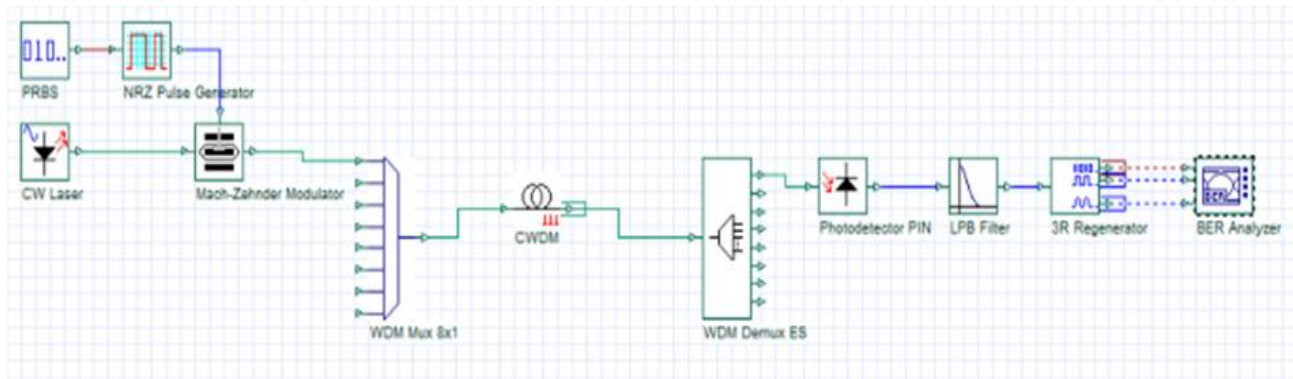
Gambar 1 Tahapan Penelitian

Deskripsi parameter dilakukan untuk mendeskripsikan besaran parameter yang digunakan pada jaringan fiber optik CWDM. Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui parameter apa yang digunakan. Hasil deskripsi parameter akan digunakan dalam melakukan pengukuran dan mengevaluasi performansi jaringan fiber optik.

Pengukuran performansi dilakukan untuk mengetahui performansi jaringan fiber optik CWDM. Pengukuran performansi dilakukan dengan menggunakan instrumen alat ukur. Pengukuran dilakukan pada pemodelan jaringan fiber optik CWDM menggunakan *software* Optisystem. Pengukuran tersebut dilakukan untuk mengetahui performansi jaringan CWDM agar dapat dievaluasi.

Analisis data dilakukan untuk mengetahui performansi jaringan fiber optik yang menggunakan teknologi CWDM. Data hasil analisis akan dibandingkan dengan dokumentasi kelayakan dari regulasi ITU-T untuk menentukan kelayakan jaringan fiber optik CWDM terhadap performansi jaringan fiber optik CWDM.

Penelitian ini menggunakan jaringan fiber optik berkapasitas 8 *channel* di tingkat metro. Panjang gelombang yang digunakan ialah 1310nm, 1350 nm, 1370 nm, 1390 nm, 1410 nm, 1430nm, dan 1450nm. Sistem jaringan fiber optik terdiri dari beberapa blok seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2 Blok Sistem Jaringan CWDM

Sistem tersebut terdiri dari blok *transmitter*, *transmission* dan *receiver*. Berikut ini penjelasan dari setiap blok:

1. Blok Transmitter

Blok *transmitter* merupakan sisi pengirim yang mengatur besaran frekuensi, daya, jenis pengkodean kanal, dan *bitrate* yang digunakan. Pada jaringan fiber optik CWDM yang digunakan berjumlah 8 *transmitter* (8 TX) dengan masing-masing *transmitter* terdapat tiga komponen. Komponen tersebut terdiri dari sumber informasi, sumber optik, generator penghasil gelombang, dan modulator. Komponen yang digunakan pada blok tersebut ialah *Continuous wave laser* (CW laser), *Mach-Zehnder Modulator*, *Pseudo-Random Binary Sequence* (PRBS) dan *NRZ Pulse Generator* [11].

Blok *transmitter* bekerja dengan mengirimkan bit-bit informasi dalam bentuk sinyal elektrik menuju *NRZ pulse generator*. Kemudian *NRZ pulse generator* mengkodekan bit-bit tersebut menjadi sinyal yang akan dikirimkan ke *Mach-Zehnder Modulator*. Sedangkan dilain sisi, CW laser yang berperan sebagai sumber optik mengirimkan sinyal optik dengan besaran frekuensi dan daya yang berbeda-beda setiap kanalnya. Besar frekuensi yang digunakan mempengaruhi panjang gelombang yang dihasilkan dan frekuensi yang digunakan setiap kanal berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan. Panjang gelombang yang dihasilkan dan sinyal dari PRBS akan diteruskan ke *Mach Zehnder Modulator* kemudian digabungkan ke dalam *WDM multiplexing* yang tersambung dengan konektor sebelum ditransmisikan [12], [13].

2. Blok Transmission

Blok transmisi merupakan blok penghubung antara blok *transmitter* dengan blok *receiver*. Blok transmisi terdiri dari serat optik dan amplifier yang dihubungkan oleh konektor. Serat optik digunakan sebagai media transmisi yang menghubungkan

pengirim dan penerima. Sedangkan *amplifier* berfungsi sebagai penguat daya sinyal optik karena selama prosesnya mengalami pelemahan. Pada jaringan fiber optik CWDM yang dibuat menggunakan kabel fiber optik jenis *single-mode* dan penguat *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) [14], [15].

Panjang gelombang yang telah digabungkan menjadi satu oleh *WDM Multiplexer* akan ditransmisikan melalui serat optik menuju ke sisi penerima. Sebelum ditransmisikan menuju *WDM Demultiplexer*, panjang gelombang yang ditransmisikan akan dikuatkan oleh *amplifier* EDFA dengan cara mengatur besaran *gain* pada *amplifier* [16], [17].

3. Blok Receiver

Sisi penerima atau blok *receiver* merupakan tujuan akhir dari gelombang yang ditransmisikan. Blok penerima terdiri dari *WDM demultiplexer*, perangkat *receiver*, dan perangkat pengukuran. Pada jaringan yang dibuat menggunakan *WDM demultiplexer 8 channel*, *photodetector PIN*, *filter* Low Pass Bessel, 3R regenerator dan *BER analyzer* [18].

WDM demultiplexer akan memisahkan panjang gelombang yang ditransmisikan melalui serat optik untuk diteruskan ke setiap *channel* pada blok *receiver*. Sehingga satu panjang gelombang akan menempati satu *channel*. Gelombang yang telah dipisahkan oleh *WDM demultiplexer* akan diterima oleh *photodetector PIN* dan diubah menjadi gelombang elektrik. Selanjutnya gelombang tersebut diterima oleh *low pass bessel filter* untuk menyaring *noise* yang dihasilkan dari berkas cahaya ketika proses transmisi berlangsung. 3R Generator digunakan sebagai penghubung antara *low pass bessel* dengan alat ukur *BER analyzer*. Alat tersebut digunakan untuk mengukur besaran nilai *Q-factor*, *Bit Error Rate*, dan *Eye diagram* pada sebuah jaringan fiber optik [19].

Berikut ini parameter yang digunakan pada pemodelan, seperti pada Tabel I:

Tabel I. Parameter yang digunakan

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	<i>Length</i>	9,80	Km
2	<i>Trasmitter Power</i>	-2,8730	dBm
3	<i>Modulation Type</i>	NRZ	Type
4	<i>Bit Rate</i>	10	Gbps
5	<i>Bandwidth</i>	10	GHz
6	<i>Channel Spacing</i>	20	nm
8	<i>Wavelength</i>	1310, 1330, 1350, 1370, 1390, 1410, 1430, 1450	nm
9	<i>Wavelength References</i>	1550	nm
10	<i>Connector Loss</i>	0,5	dB
11	<i>Optical Attenuator</i>	0,25	dB
12	Redaman Sambungan	0,1	dB
15	Jumlah Konektor	8	Buah
16	Jumlah Sambungan	8	Buah
17	Jumlah Attenuator	3	Buah

Data hasil penelitian diperoleh dan dikumpulkan melalui analisis eksperimen menggunakan *software* Optisystem. Data yang didapatkan berupa nilai parameter *power link budget*, *signal to noise ratio* dan *bit error rate* untuk mengukur performansi.

Analisis data hasil dilakukan menggunakan model matematis dan simulasi menggunakan *software optisystem*. Data utama yang diukur dalam penelitian ini adalah data hasil perhitungan dan pengukuran parameter *power link budget*, *signal to noise ratio*, dan *bit error rate*. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software* Optisystem untuk mengolah data pendukung analisis performansi.

A. Power Link budget

Power link budget adalah sebuah metode perhitungan yang digunakan untuk menghitung daya dan level daya yang diterima melebihi level daya minimum agar dapat dideteksi oleh penerima [20]. Perhitungan *power link budget* bertujuan untuk mengetahui besaran daya yang diperlukan *receiver* dengan harapan level daya yang diterima tidak berkurang dari sensitivitas minimal yang telah ditentukan. *Power link budget* menghitung semua parameter transmisi sinyal seperti *gain*, *losses* dan daya. Redaman total saluran yang ada sepanjang serat optik seperti redaman pada serat, konektor dan sambungan perlu dihitung untuk mengukur kinerja transmisi fiber optik. Total *losses* maksimumnya ialah 28 dB, sehingga lebih dari itu dapat dikatakan jaringan tersebut kurang baik [21] [22] [23].

Perhitungan *power link budget* dilakukan berdasarkan standarisasi ITU-T G.984 dengan tidak melebihi jarak sebesar 20 km serta redaman total tidak lebih dari 28 dB dan level daya terima

(Pr) lebih besar dari -28 dB. Berikut ini persamaan untuk menghitung Power Link Budget:

$$P_R = P_T - \alpha T + G \quad (1)$$

Keterangan:

P_R = Power Receiver (dBm)
 P_T = Power Transmit (dBm)
 αT = Redaman atau Loss total (dB)
 G = Gain (dB)

Redaman total direpresentasikan oleh persamaan berikut:

$$\alpha_{tot} = L \cdot \alpha_{serat} + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + \alpha S_p \quad (2)$$

Keterangan:

α_{tot} =Redaman Total (dB)
 L = Panjang kabel serat optik (km)
 α_{serat} = Redaman kabel serat optik (dB/km)
 N_c =Jumlah connector
 α_c =Redaman connector (dB)
 N_s =Jumlah sambungan
 α_s =Redaman sambungan (dB)
 αS_p =Redaman splitter (dB)

B. Signal Noise to Rasio (SNR)

Signal Noise to Rasio adalah perbandingan antara kekuatan sinyal dengan kekuatan derau pada suatu titik dalam waktu yang sama. SNR digunakan untuk mengindikasikan seberapa besar gangguan derau terhadap sinyal yang sedang ditransmisikan [24]. Menurut standar ITU-T G.984, SNR minimal yang diperlukan adalah sekitar 21,5dB. SNR melakukan perbandingan antara kekuatan sinyal dengan tingkat kebisingan. Semakin tinggi nilai SNR maka kualitas SNR akan

semakin baik, dan sebaliknya semakin rendah nilai SNR maka kualitas SNR akan semakin buruk [25], [26]. SNR dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S/N = 10 \log \left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} \right) \quad (3)$$

Keterangan:

S/N =Signal to Noise Ratio (dB)

P_{signal} =Kekuatan sinyal (watt)

P_{noise} =Kebisingan sinyal (watt)

C. Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate adalah laju dari kesalahan pada bit melalui transmisi sinyal secara digital. Batas minimum dari BER untuk sistem komunikasi optik yang direkomendasikan sebesar 10^{-9} [4]. Sedangkan untuk komunikasi data batas minimum BER sebesar 10^{-12} dan untuk komunikasi suara sebesar 10^{-10} . Besaran tersebut dapat disesuaikan dengan penerapannya agar kualitas *link* tersebut baik kualitasnya [27]. Analisis BER dapat dilakukan dengan menggunakan alat seperti *BER analyzer* pada aplikasi *Optisystem* [15] [16] [30]. Adapun secara matematis *bit error rate* dapat dihitung dengan Persamaan berikut:

$$BER = \frac{N_e}{N_t} \quad (4)$$

Keterangan:

N_e = Jumlah Bit Error

N_t = Bit total terkirim

D. Rekomendasi Kelayakan

Rekomendasi kelayakan performansi memerlukan data acuan agar standar kelayakan yang sesuai. Standar yang digunakan berdasarkan standar ITU-T. Rekomendasi kelayakan digunakan untuk mengevaluasi jaringan Fiber Optik. Berikut ini standar yang digunakan, seperti pada **Tabel II**:

Tabel II. Rekomendasi Kelayakan

Parameter	Nilai
Q-factor	≥ 6
Power Link Budget	> -28
BER	$\leq 10^{-9}$
SNR	$> 21,5 \text{ dB}$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian diperoleh melalui analisis eksperimen menggunakan *software optisystem*. Hasil analisis untuk mengevaluasi jaringan fiber optik CWDM 8 *channel* dengan panjang

gelombang bervariasi dilihat dari parameter *power link budget*, *signal to noise ratio* dan *bit error rate*.

A. Power Link Budget

Besaran *power link budget* didapatkan melalui perhitungan dan pengukuran. Hal tersebut dilakukan sebagai perbandingan dan validasi data hasil. Pengukuran *power link budget* dilakukan menggunakan *power meter* pada *software Optisystem*. Berikut ini hasil pengukuran dan perhitungan *power link budget* pada *link SCTV tower – IVM Daan Mogot*:



Gambar 3. Hasil Pengukuran Power Link Budget

Berdasarkan **Gambar 3** besaran *power link budget* pada jaringan fiber optik *link SCTV Tower – IVM Daan Mogot* sebesar $-10,364 \text{ dBm}$ atau $9,963 \times 10^{-6} \text{ W}$. Parameter yang digunakan dalam perhitungan *power link budget* disajikan pada tabel berikut ini:

Tabel III. Parameter Power Link Budget

Parameter	Nilai
Fiber Length (Km)	9,8 Km
Redaman Serat Optik	0,35 dB/Km
Nilai Konektor	0,5 dB
Jumlah Konektor	8 buah
Nilai Sambungan	0,1 dB
Jumlah Sambungan	8 buah
Insert loss Demux	3,5 dB
Output Demux	8 Output
Power Transmit (TX)	-2,873 dBm
Gain	5 dB

Berikut ini perhitungan *power link bidget* pada jaringan fiber optik *link SCTV Tower – IVM Daan Mogot* :

Berikut ini perhitungan redaman total menggunakan persamaan (2):

$$\begin{aligned}
 \alpha T &= L \cdot \alpha_{\text{serat}} + N_C \cdot \alpha_C + N_S \cdot \alpha_S + N_{Sp} \cdot \alpha_{Sp} \\
 \alpha T &= (9,8 \times 0,35) + (8 \times 0,5) + (8 \times 0,1) + (8 \times 0,4375) \\
 &= 3,43 + 4 + 0,8 + 3,5 \\
 &= 11,73 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Perhitungan *power link budget* menggunakan persamaan (1) seperti berikut ini:

$$\begin{aligned} Pr &= P_T - \alpha T + G \\ &= (-2,873) - 11,73 + 5 \\ &= -9,603 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengukuran, *power link budget* yang dihasilkan pada jaringan fiber optik CWDM *link* SCTV tower – IVM Daan mogot sebesar -9,407 dBm atau $114,641 \times 10^{-6}$ W. Sedangkan hasil perhitungan *power link budget* pada jaringan tersebut sebesar -9,603 dBm. Hasil pengukuran dan perhitungan *power link budget* berada diatas nilai minimum standar *power link budget* yaitu, -28 dB. Sehingga dapat diketahui bahwa *link* tersebut memenuhi standar rekomendasi kelayakan yang telah ditetapkan.

Hasil perhitungan *power link budget* merupakan nilai estimasi redaman total dari hasil daya keluaran pada jaringan yang diukur. Berdasarkan hasil pengukuran, besaran nilai *power link budget* yang terukur pada suatu jaringan fiber optik dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya: kekuatan sumber cahaya, total redaman, komponen aktif dan pasif dan penguat optik. Besaran *power link budget* dipengaruhi oleh redaman dan daya yang diberikan dari sisi pengirim. Pada penelitian menggunakan CW laser sebagai sumber cahaya. Laser tersebut berjenis laser dioda yang bersifat stabil, efisiensi dan kontinu pancarannya. Pancaran CW laser stabil untuk memancarkan panjang gelombang tertentu sehingga terhindar dari pergeseran panjang gelombang yang dapat menghasilkan gangguan transmisi sinyal. Daya keluaran yang dihasilkan dari sumber cahaya sebesar -2,873 dbm dapat mempengaruhi besaran *power link budget* karena daya keluarannya akan berbanding lurus dengan besaran *power link budget*. Semakin tinggi daya dari sumber cahaya maka akan semakin meningkat nilai *power link budget* pada suatu jaringan. Daya pada sisi penerima dipengaruhi oleh besaran daya pada sisi pengirim. Semakin besar daya dari sisi pengirim yang digunakan maka akan semakin baik daya yang dapat diterima pada sisi penerima. Semakin kecil daya yang diberikan dari sisi pengirim maka daya yang dapat diterima oleh sisi penerima akan kurang baik.

Redaman total yang dihasilkan pada jaringan fiber optik mempengaruhi nilai *power link budget*. Pada penelitian ini total redaman yang dihasilkan sebesar 11,73 dBm. Total redaman tersebut mengurangi daya yang dihasilkan dari sumber cahaya. Sehingga semakin besar nilai total redaman pada suatu jaringan maka akan semakin besar daya yang hilang dan daya yang dapat diterima di sisi penerima akan semakin kecil. Gain

EDFA sebesar 5 dB pada sisi transmisi mengganti kerugian yang disebabkan oleh redaman yang berasal dari redaman serat, redaman konektor dan redaman sambungan yang terjadi karena jarak yang harus ditempuh cukup panjang. Selain itu, gain memperkuat sinyal yang lemah dan mempertahankan kualitas sinyal dengan meningkatkan daya sinyal yang melemah akibat redaman untuk mencapai jarak yang lebih jauh sesuai dengan kebutuhan tanpa kehilangan integritas. Sehingga dapat disimpulkan kualitas daya yang digunakan pada sisi pengirim dan besaran redaman total serta besaran gain pada suatu jaringan fiber optik akan mempengaruhi besaran nilai *power link budget* pada jaringan fiber optik tersebut.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa jaringan fiber optik CWDM *link* SCTV Tower – IVM Daan Mogot memenuhi standar kelayakan jaringan fiber optik dengan nilai *power link budget* pada jaringan tersebut berada pada batas minimum antara 28 dB hingga -28 dB.

B. Signal Noise to Rasio (SNR)

Besaran *signal noise to rasio* pada jaringan fiber optik CWDM didapat melalui pengukuran. menggunakan alat ukur WDM Analyzer pada *software Optisystem*. Berikut hasil pengukuran *signal noise to rasio*:

Wavelength (nm)	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
1450	-18.66967	-56.284614	37.614944
1430	-18.753887	-56.223705	37.469818
1410	-18.751028	-56.163639	37.412611
1390	-18.712565	-56.101125	37.38856
1370	-18.666226	-56.036278	37.370052
1350	-18.838852	-55.972385	37.133532
1330	-18.75361	-55.909418	37.155808
1310	-18.754706	-55.841193	37.086488

Gambar 4. Hasil Pengukuran Signal to Noise Ratio

Hasil pengukuran menunjukkan besaran SNR pada setiap panjang gelombang jaringan tersebut bervariasi. Hal tersebut dikarenakan perbandingan kekuatan sinyal yang dihasilkan dengan *noise* pada jaringan tersebut. Setiap panjang gelombang menerima kekuatan sinyal dan *noise* yang berbeda-beda. Berdasarkan data hasil pengukuran dan perhitungan daya paling tinggi terjadi pada panjang gelombang 1370 nm dengan daya sebesar -18,666226 dBm. Sedangkan daya paling rendah terjadi pada panjang gelombang 1350 nm dengan daya sebesar -18,838852 dBm. Sedangkan besaran *noise* paling tinggi sebesar -55,841193 dBm yang terjadi pada panjang gelombang 1310 nm dan *noise* paling rendah sebesar -56,284614 dBm pada panjang gelombang 1450 nm. Rasio *noise* yang

dihasilkan pada jaringan fiber optik CWDM *link* SCTV tower - IVM Daan Mogot sebesar 0,44342062 dBm dan rasio *power* sebesar 0,17262636 dBm. Berikut ini besaran *SNR* didapatkan melalui perhitungan matematis menggunakan persamaan (3) :

Tabel IV. Hasil Perhitungan SNR

No	Panjang Gelombang	Signal to Noise Ratio (dB)
1	1310 nm	37,08648773
2	1330 nm	37,15580792
3	1350 nm	37,1335323
4	1370 nm	37,37005163
5	1390 nm	37,38855988
6	1410 nm	37,41261115
7	1430 nm	37,46981808
8	1450 nm	37,6149443

Setiap bertambahnya panjang gelombang *noise* yang dihasilkan juga semakin berkurang. Sehingga semakin panjang gelombang yang digunakan maka *noise* pada daya yang dihasilkan akan semakin kecil. Seperti pada Gambar 4 *noise* pada panjang gelombang 1310 nm sebesar -55,84 dBm, begitu pun pada panjang gelombang 1330 nm dan panjang gelombang 1350 nm sebesar -55,90 dBm dan -55,97 dBm. Begitu juga pada panjang gelombang 1370 nm, 1390 nm, 1410 nm, 1430 nm dan 1450 nm berkurang berturut-turut sebesar -56,03 dBm, -56,10 dBm, -56,16 dBm, -56,22 dBm dan -56,28 dBm.

Besaran daya pada setiap panjang gelombang bervariasi cenderung naik turun, karena besaran dispersi pada setiap gelombang yang berbeda-beda. Selain itu daya yang diterima dipengaruhi oleh penguat optik yang memiliki spektrum gain yang dapat berubah berdasarkan panjang gelombang yang digunakan. Semakin besar *noise*, kekuatan daya relatif akan semakin berkurang pada suatu panjang gelombang.

Besaran *noise* mempengaruhi kualitas *SNR* pada sebuah jaringan, semakin tinggi nilai *SNR* maka kualitas *SNR* akan semakin baik, dan sebaliknya semakin rendah nilai *SNR* maka kualitas *SNR* akan semakin buruk. Panjang gelombang yang digunakan mempengaruhi besaran *SNR* yang dihasilkan. Semakin bertambah panjang gelombang yang digunakan maka semakin naik nilai *SNR* yang dihasilkan. Kenaikan tersebut dikarenakan besaran *noise* yang cenderung mengalami penurunan setiap bertambahnya panjang gelombang. Sehingga semakin panjang gelombang yang digunakan maka akan semakin tahan suatu jaringan terhadap gangguan.

Berdasarkan hasil penelitian, panjang gelombang yang digunakan pada jaringan fiber optik CWDM *link* SCTV tower – IVM Daan Mogot menghasilkan *signal noise to ratio* di atas standar ITU-T G.984 dengan nilai minimal sekitar 21,5 dB.

C. Pengukuran Bit Error Rate (BER)

Pengukuran BER dilakukan agar dapat mengetahui seberapa besar kesalahan bit ketika melakukan satu kali pengiriman. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur *BER Analyzer* yang tersedia pada *software Optisystem*. Berikut ini hasil pengukuran *bit error rate*:

Tabel V. Hasil Pengukuran BER

No.	Panjang Gelombang	Bit Error Rate
1	1310 nm	$6,22606 \times 10^{-10}$
2	1330 nm	$3,35937 \times 10^{-11}$
3	1350 nm	$9,80795 \times 10^{-11}$
4	1370 nm	$6,42417 \times 10^{-10}$
5	1390 nm	$7,87297 \times 10^{-10}$
6	1410 nm	$2,78373 \times 10^{-11}$
7	1430 nm	$9,82202 \times 10^{-11}$
8	1450 nm	$6,22606 \times 10^{-10}$

Nilai *bit error rate* merupakan nilai yang menunjukkan kesalahan bit yang terjadi ketika proses transmisi sinyal pada sebuah jaringan fiber optik. Berdasarkan hasil pengukuran, panjang gelombang yang menghasilkan BER paling tinggi ialah panjang gelombang 1390 nm sebesar $7,87297 \times 10^{-10}$ atau $0,787297 \times 10^{-9}$. Artinya setiap 10^9 bit data yang terkirim terjadi error data sejumlah 0,79 bit. Sedangkan nilai bit error rate paling rendah dihasilkan oleh panjang gelombang 1410 nm sebesar $2,78373 \times 10^{-11}$ atau $0,0278373 \times 10^{-9}$. Terjadi kesalahan pengiriman data sebesar 0,02 bit setiap 10^9 bit data yang terkirim.

Besaran BER dipengaruhi oleh *noise*, dispersi, dan daya. *Noise* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap BER karena semakin besar *noise* daya, besaran *bit error rate* semakin meningkat. *Noise* yang terjadi dihasilkan dari *Thermal Noise*, *Shot Noise* dan *Amplifier Noise*.

Penggunaan *amplifier* sebagai penguat optik dapat menghasilkan *noise* pada komunikasi optik. Besaran *noise* yang terjadi sangat berpengaruh sama halnya terhadap *SNR*. Hal tersebut dikarenakan besaran *SNR* memiliki hubungan langsung dengan BER pada suatu komunikasi optik. *SNR* yang tinggi akan menghasilkan BER rendah yang artinya lebih sedikit kesalahan dalam proses transmisi. Jika nilai *SNR* lebih tinggi artinya daya panjang gelombang lebih besar dibandingkan

noise, sehingga menghasilkan BER yang lebih rendah. Sebaliknya, jika nilai SNR rendah dan lebih tinggi *noise* maka nilai BER yang dihasilkan akan tinggi.

Dispersi pada setiap panjang gelombang menyebabkan pelebaran pulsa optik saat merambat pada serat optik. Pulsa yang lebar dapat saling tumpang tindih menyebabkan distorsi ketika *bit rate* yang digunakan tinggi. Distorsi dapat menyebabkan peningkatan kesalahan *bit* yang mengakibatkan meningkatnya nilai BER. Panjang gelombang dengan daya rendah juga dapat meningkatkan besaran BER karena panjang gelombang dengan daya rendah lebih rentan terhadap *noise*. Peningkatan daya pada SNR dapat meningkatkan SNR dan BER yang terukur menjadi rendah. Namun ketika daya terlalu tinggi, distorsi dapat terjadi sehingga meningkatkan BER.

Selain mempengaruhi SNR, BER juga mempengaruhi besaran nilai *q-factor* yang dihasilkan pada setiap panjang gelombang. Berikut ini hasil pengukuran *q-factor* pada setiap panjang gelombang:

Taabel VI. Hasil Pengukuran *Q-Factor*

No.	Panjang Gelombang	<i>Q-Factor</i>
1	1310 nm	6,07421
2	1330 nm	6,52472
3	1350 nm	6,36421
4	1370 nm	6,0692
5	1390 nm	6,03651
6	1410 nm	6,55488
7	1430 nm	6,36295
8	1450 nm	6,24158

Tabel VI merupakan tabel hasil pengukuran *q-factor* yang menunjukkan hubungan antara panjang gelombang terhadap *q-factor*. *Q-factor* merupakan representasi kualitas sinyal optik dan berhubungan dengan BER. *Q-factor* memberikan perbedaan gambaran rasio antara bit 1 dan bit 0. *Q-factor* yang tinggi dapat menghasilkan BER yang rendah dan sebaliknya *q-factor* yang rendah menghasilkan BER yang tinggi. Sehingga dapat dikatakan semakin besar nilai *q-factor* maka kualitas suatu jaringan semakin baik dan sebaliknya.

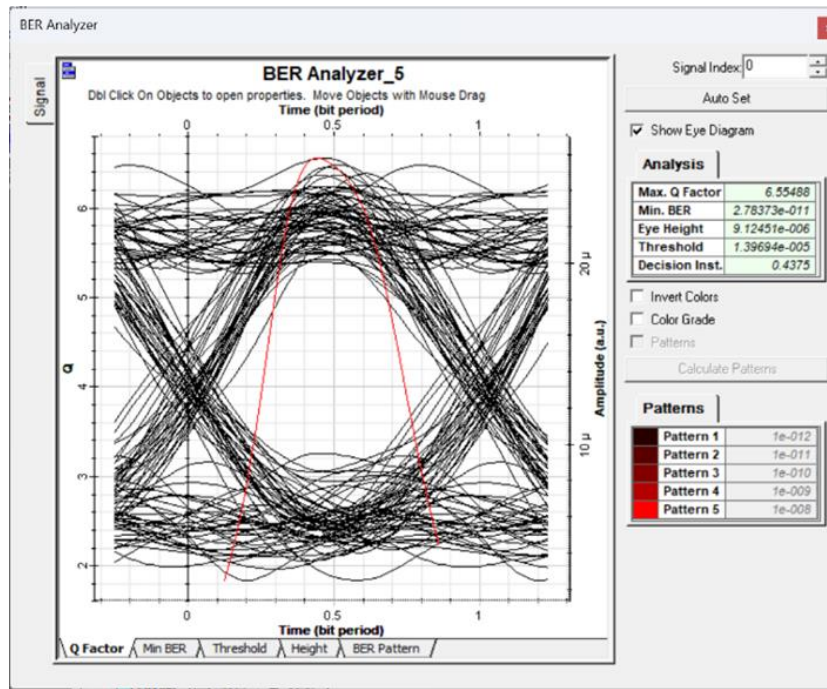
Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa setiap panjang gelombang menghasilkan nilai *q-factor* yang berhubungan satu sama lain dengan nilai BER. Panjang gelombang 1410 nm menghasilkan *q-factor* paling besar dengan nilai 6,55488. Sedangkan *q factor* paling rendah dihasilkan oleh panjang gelombang 1390 nm sebesar 6,03651. Kedua panjang gelombang tersebut merupakan panjang gelombang yang

menghasilkan nilai BER paling tinggi dan paling rendah berdasarkan. Hal tersebut sesuai dengan teori bahwa semakin tinggi nilai *q-factor* maka akan menghasilkan BER yang semakin rendah dan sebaliknya. Keduanya dapat menentukan kualitas suatu panjang gelombang, karena keduanya memiliki pengaruh secara langsung atau sebab akibat. Hal tersebut dikarenakan *Q-factor* merupakan ukuran suatu kualitas sinyal dalam komunikasi digital. Sedangkan BER merupakan ukuran suatu kesalahan bit dalam sebuah sistem dari sebuah frekuensi. Bit tersebut dapat dibandingkan antara bit yang diterima dengan total bit yang dikirim.

Hubungan antara panjang gelombang terhadap *q-factor*. dapat diketahui bahwa *q-factor* yang terukur pada *link* tersebut naik turun dengan. Nilai yang dihasilkan pada setiap panjang gelombang pada *link* tersebut berada di atas nilai minimum standar fiber optik yaitu 6. *Q-factor* paling tinggi sebesar 6,55 yang dihasilkan oleh panjang gelombang 1410 nm dan paling rendah sebesar 6,03 pada panjang gelombang 1390 nm. Sehingga dengan rentang tersebut dapat diketahui panjang gelombang yang digunakan pada jaringan fiber optik *link* SCTV Tower – IVM Daan Mogot memenuhi standar. Selain *q-factor*, BER juga mempengaruhi *eye diagram*. Berikut ini salah satu *eye diagram* yang terukur pada BER Analyzer:

Eye diagram merupakan metode visual untuk menganalisis kualitas sinyal digital dengan cara menumpuk segmen-segmen gelombang yang berulang secara berkala. Penumpukan tersebut membentuk pola seperti mata atau disebut *eye pattern*. *Eye diagram* dapat diukur menggunakan BER Analyzer.

Gambar 5 merupakan *eye diagram* panjang gelombang 1410 nm yang terukur pada BER Analyzer. Gambar tersebut menunjukkan hubungan antara *eye diagram* dengan *q-factor* dan BER. Semakin rendah BER yang terjadi maka semakin lebar *eye diagram* yang dihasilkan. *Eye diagram* yang terbuka lebar menunjukkan gelombang dengan kualitas tinggi dan BER rendah dan *q-factor* tinggi. Hal tersebut menandakan sinyal bit 1 dan bit 0 mudah dibedakan oleh penerima karena *jitter* dan *noise* margin optimal. Sedangkan *eye diagram* tertutup menandakan gelombang yang digunakan memiliki kualitas yang buruk dengan BER yang tinggi dan *q-factor* rendah. Hal tersebut menandakan bit 1 dan bit 0 sulit dibedakan oleh penerima sehingga meningkatkan kemungkinan kesalahan bit karena *jitter* dan *noise* yang buruk.



Gambar 5. Eye diagram panjang gelombang 1410nm

Berdasarkan Gambar 5 besaran *eye height* yang terukur sebesar $9,1245 \times 10^{-6}$ dengan *eye* yang terbuka lebar. Sedangkan BER yang terjadi pada panjang gelombang 1410 nm sebesar $2,78373 \times 10^{-11}$ nilai tersebut merupakan nilai BER paling rendah diantara panjang gelombang lainnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian yang telah dipaparkan mengenai Evaluasi Kinerja CWDM 8 Channel dengan Variasi Panjang Gelombang Fokus: *Power Link Budget*, SNR dan BER, dapat disimpulkan jaringan tersebut memenuhi standar kelayakan. Hal tersebut berdasarkan parameter *power link budget* menunjukkan daya sinyal yang diterima efisien. Sementara *signal to noise ratio* yang dihasilkan berada pada batas optimal dengan gangguan minimal. Sedangkan *bit error rate* yang dihasilkan rendah sehingga dapat dipastikan performansi transmisi data yang dimiliki handal. Performansi jaringan fiber optik CWDM tidak lepas dari pengaruh panjang gelombang yang digunakan. Panjang gelombang 1310 nm hingga 1450 nm dengan *channel spacing* 20 nm dapat dinyatakan baik untuk digunakan pada jaringan fiber optik yang menggunakan teknologi CWDM. Hal tersebut berdasarkan tabel kelayakan, seperti pada Tabel VII dan Tabel VIII berikut:

Tabel VII. Standar Kelayakan 1

Power Link Budget	Standar Kelayakan
✓	Layak

Tabel VIII. Standar Kelayakan 2

Panjang Gelombang	SNR	BER	Standar Kelayakan
1310 nm	✓	✓	Layak
1330 nm	✓	✓	Layak
1350 nm	✓	✓	Layak
1370 nm	✓	✓	Layak
1390 nm	✓	✓	Layak
1410 nm	✓	✓	Layak
1430 nm	✓	✓	Layak
1450 nm	✓	✓	Layak

Berdasarkan tabel kelayakan panjang gelombang yang digunakan pada jaringan fiber optik 8 channel menghasilkan nilai *power link budget*, *signal to noise ratio* dan *bit error rate* yang memenuhi standar rekomendasi kelayakan jaringan fiber optik. Sehingga panjang gelombang tersebut dapat dinyatakan layak berdasarkan parameter *power link budget*, *signal to noise ratio*, dan *Bit Error Rate*. Performansi suatu jaringan dipengaruhi oleh panjang gelombang yang digunakan pada suatu jaringan fiber optik. Performansi tersebut dilihat dari komparasi panjang gelombang terhadap parameter *Power Link Budget*, *Signal noise to ratio*, dan *Bit error rate*. Semakin bertambah panjang gelombang yang digunakan maka akan semakin besar nilai *signal noise to ratio* yang dihasilkan. Semakin besar nilai *signal noise to ratio* yang dihasilkan maka akan semakin rendah *bit error rate* yang terjadi. Sehingga semakin besar nilai *signal noise to ratio*

dan semakin rendah nilai *bit error rate* maka semakin baik performansi yang dimiliki oleh suatu jaringan.

Oleh karena itu pemilihan panjang gelombang yang akan digunakan pada jaringan fiber optik CWDM merupakan aspek penting. Hal tersebut dikarenakan panjang gelombang yang digunakan mempengaruhi performansi jaringan fiber optik tersebut. Sehingga pemilihan panjang gelombang yang sesuai merupakan indikator untuk menghasilkan performansi maksimal pada jaringan fiber optik CWDM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Danuri, "Perkembangan Dan Transformasi Teknologi Digital," *Infokam*, P. 116, Sep. 2019.
- [2] T. Sutarsih And K. Maharani, *Statistik Telekomunikasi Indonesia 2022 - Badan Pusat Statistik Indonesia*. 2023. Accessed: Jan. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/publication/2023/08/31/131385d0253c6aae7c7a59fa/statistik-telekomunikasi-indonesia-2022.html>
- [3] D. A. Rabbani And F. U. Najicha, "Pengaruh Perkembangan Teknologi Terhadap Kehidupan Dan Interaksi Sosial Masyarakat Indonesia," Nov. 2023.
- [4] W. T. Wahyudi, "Analisis Performansi Teknologi Cwdm (Coarse Wavelength Division Multiplexing) Pada Jaringan Fth (Fiber To The Home) Plasa Telkom Banjar Patroman Menggunakan Optisystem," *J. Telecomm. Electr. Control Eng.*, Vol. 3, No. 1, Pp. 16–23, Jul. 2021, Doi: 10.20895/Jtece.V3i1.149.
- [5] Y. R. Peranginangin, D. A. Fahmi, And K. Sujatmoko, "Evaluasi Kinerja Rof - Cwdm Frekuensi 3,5 Ghz Untuk Jaringan 5g," *E-Proceeding Of Engineering*, Vol. 6, No. 2, P. 3920, Agustus 2019.
- [6] N. Y. K. Ramadhan, A. Hambali, And B. Pamukti, "Analisa Performansi Wdm-Pon Dan Koheren Wdm-Pon Menggunakan Kabel Smf Dan Dcf," *E-Proceeding Of Engineering*, Vol. 8, No. 6, Desember 2022.
- [7] K. M. Kumar And B. D. V. Reddy, "A Comprehensive Analysis Of Four Channel Cwdm Network System," 2023.
- [8] Amruddin, Ns. I. L. Muskananfolo, Ns. E. Febriyanti, And F. Roynaldo Pandie, *Metodologi Penelitian Kuantitatif Dan Kualitatif*. Media Sains Indonesia, 2022.
- [9] V. Candra *Et Al.*, *Pengantar Metodologi Penelitian*. Yayasan Kita Menulis, 2021.
- [10] N. Rikatsih, R. Wuri Andary, M. Shaleh Z, And L. Pangestu Hadiningrum, *Metodologi Penelitian Di Berbagai Bidang*. Media Sains Indonesia, 2021.
- [11] H. Damara Ditya, A. Hambali, And A. Dias Pambudi, "Analisis Dan Simulasi Efek Non Linier Three Wave Mixing Pada Link Dense Wavelength Division Multiplexing (Dwdm) Sistem Komunikasi Serat Optik," *E-Proceeding Of Engineering*, Vol. 4, No. 2, P. 1839, Agustus 2017.
- [12] O. B. Pratama, A. F. Isnawati, And D. Zulherman, "Analisis Perbandingan Kinerja Pengkodean Kanal Non-Return-To-Zero (NrZ) Dan Return-To-Zero (Rz) Pada Rancangan Jaringan Long-Haul Dense Wavelength Division Multiplexing (Dwdm)," *Bul. Pos. Dan Telekomun.*, Vol. 17, No. 2, Pp. 143–154, Dec. 2019, Doi: 10.17933/Bpostel.2019.170205.
- [13] A. F. Isnawati, R. Riyanto, And A. E. Wijayanti, "Pengaruh Dispersi Terhadap Kecepatan Data Komunikasi Optik Menggunakan Pengkodean Return To Zero (Rz) Dan Non Return To Zero (NrZ)," *Infotel*, Vol. 1, No. 2, P. 1, Nov. 2009, Doi: 10.20895/Infotel.V1i2.65.
- [14] A. R. O. Putra And I. A. Hambali, "Testing And Simulation Of Hybrid Coarse Wavelength Division Multiplexing/Time Division Multiplexing-Passive Optical Network (Cwdm/Tdm-Pon) On Next Generation Passive Optical Network Stage-2," *E-Proceeding Of Engineering*, Vol. 4, No. 3, P. 3743, Desember 2017.
- [15] T. K. Yaratha, R. N, And A. G, "Wdm Optical Network Analysis Using Edfa And Raman Amplifier," *Indian Journal Of Applied Research*, No. Engineering, Physics, Jun. 2015.
- [16] M. Maad Hamdi, L. Audah, S. Abduljabbar Rashid, And M. A. Al-Mashhadani, "Coarse Wdm In Metropolitan Networks: Challenges, Standards, Applications, And Future Role," *J. Phys.: Conf. Ser.*, Vol. 1530, No. 1, P. 012062, May 2020, Doi: 10.1088/1742-6596/1530/1/012062.
- [17] S. A. Nugroho, "Analisis Perbandingan Penguat Serat Doped Erbium (Edfa) Dan Penguat Optik Raman (Roa) Di Sistem Nonlinier-Cwdm," 2018.
- [18] A. Farihin, A. Hambali, And D. Putra Setiawan, "Penggunaan Remote Fiber Test System (Rfts) Untuk Penanganan Gangguan Fiber Optic Cut Backbone Sto Kaliasem Pt. Telkom Indonesia Link Kaliasem-Gianyar," *E-Proceeding Of Engineering*, Vol. 8, No. 6, Pp. 3405–3409, Desember 2022.
- [19] S. Utami, D. Zulherman, And F. Khair, "Analisis Perbandingan Cwdm Dengan Modulasi Eksternal Menggunakan Penguat Edfa Dan Tanpa Penguat," 2017.
- [20] I. Mahjud *Et Al.*, "Perancangan Jaringan Fiber To The Home (Fth) Pt. Telkom Indonesia (Persero) Tbk Witel Makassar Di Desa Bontomanai Bulukumba," *Elekterika*, Vol. 19, No. 2, P. 123, May 2022, Doi: 10.31963/Elekterika.V6i2.3803.
- [21] A. Fauzi, *Sistem Komunikasi Fiber Optik*, Vol. 1. Media Edukasi Indonesia (Anggota Ikapi), 2022.
- [22] M. R. Hidayat, T. I. M. Fauzian, E. Alimudin, And H. Yuliana, "Analisis Power Link Budget Pada Jaringan Wireless Outdoor Menggunakan Internet Service Provider Design Center Studi Kasus Desa Kutanaganara Garut," *Telekontra*, Vol. 10, No. 2, 2022.
- [23] S. A. Putri And S. Si, "Analisis Penyebab Gangguan Transmisi Sistem Komunikasi Serat Optik Untuk Link Dwdm Bandung – Cianjur Pt Telkom, Tbk".
- [24] M. Naufal, A. Hambali, And B. Pamukti, "Perancangan Dan Analisis Sistem Komunikasi Serat Optik Link Samarinda-Penajam Paser Utara Menggunakan Teknologi Dwdm," Vol. 2, No. 2, 2023.
- [25] M. Ammar And E. D. Meutia, "Perancangan Dan Analisis Kinerja Jaringan Akses Fiber-To-The-Home Berbasis Gigabit Passive Optical Network Menggunakan Optisystem Di Kutacane," *Kitektro: Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, Vol. 8, No. 1, Pp. 36–42, 2023.
- [26] A. Yuhane, A. A. Asril, And D. O. Yanti, "Perancangan Dan Analisis Kinerja Jaringan Fiber To The Home (Fth) Dengan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (Gpon) Menggunakan Software Optisystem," Vol. 4, No. 2, 2023.
- [27] D. Hidayatullah, A. Hambali, And B. Pamukti, "Perancangan Dan Analisis Sistem Komunikasi Serat Optik Link Samarinda-Penajam Paser Utara Menggunakan Teknologi Dwdm".
- [28] P. R. Devyanti, G. Sukadarmika, And K. O. Saputra, "Pengukuran Kualitas Layanan Jaringan Kabel Serat Optik Link Benculuk-Jimbaran," *Jurnal Spektrum*, Vol. 8, No. 1, Mar. 2021.
- [29] A. Taufiqurrahman, "Perancangan Model Simulator Dan Performansi Kesalahan Bit Untuk Variasi Tipe Modulasi Digital Dalam Lingkungan Kanal Additive White Gaussian Noise (Awgn)," *Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali Dan Elektronika Terapan*, Vol. 9, No. 1, Pp. 60–70, Oct. 2021, Doi: 10.34010/Telekontran.V9i1.5610.
- [30] R. S. Gultom, A. Hambali, And B. Pamukti, "Analisis Performansi Pengaruh Efek Non-Linearitas Four Wave Mixing (Fwm) Pada Sistem Dwdm Link Singkawang-Penajam".