

# Perancangan dan Analisis Sistem Komunikasi Serat Optik *Link* Samarinda-Penajam Paser Utara Menggunakan Teknologi DWDM

1<sup>st</sup> Donny Hidayatullah  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

donnyhidayatullah@student.telkomuni-  
versity.ac.id

2<sup>nd</sup> Akhmad Hambali  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

ahambali@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Brian Pamukti  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

brianpam@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** — Di era modern ini, teknologi telekomunikasi telah dikembangkan dengan menawarkan proses pengiriman dan menerima data dengan kecepatan tinggi dan dapat mencapai jarak jauh dengan biaya murah dibandingkan dengan mengirim data menggunakan tembaga. Teknologi tersebut yaitu kabel serat optik. Salah satu teknologi dari teknik transmisi menggunakan serat optik adalah DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal-kanal informasi. Pada Tugas Akhir ini menganalisis performansi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) Jaringan *Backbone link* Tenggarong hingga Penajam Paser Utara sebagai daerah yang ditetapkan sebagai Ibukota baru Republik Indonesia, panjang link dari Tenggarong hingga ke Penajam Paser Utara adalah 234 km. Pada proses perancangan dan simulasi ini juga menggunakan parameter-parameter seperti parameter input yang meliputi *bit rate*, *bandwidth*, dan *margin system*. Selain itu juga menggunakan parameter-parameter performansi seperti CW Laser, serap optik SMF, EDFA, dan juga photodetektor. Nilai *Bit Error Rate* terbesar yang diperoleh dari hasil simulasi ini adalah  $8,21 \times 10^{-8}$  pada kanal 1, sedangkan nilai *Bit Error Rate* terkecil yang diperoleh dari hasil simulasi adalah  $1,85 \times 10^{-8}$  yang diperoleh dari kanal 2. Sedangkan untuk memperoleh nilai *bit error rate* yang ideal, diperlukan nilai SNR yang berkisar antara 18 hingga 22.

**Kata kunci** — *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM)

## I. PENDAHULUAN

Wilayah di Kalimantan Timur telah ditetapkan menjadi Ibu Kota Negara (IKN) baru Negara Kesatuan Republik Indonesia. Sebagai ibu kota baru (yang tidak hanya akan mendukung fungsinya sebagai pusat administrasi pemerintahan) jumlah penduduk kota tersebut dipastikan nantinya akan meningkat, di sekitar wilayah ibu kota akan tumbuh berbagai macam kegiatan ekonomi yang akan terus berkembang. Semua itu akan bermuara pada peningkatan kebutuhan sumber daya, termasuk energi [1], tak terkecuali kebutuhan peningkatan layanan telekomunikasi. Pada hal ini dipilih rute Tenggarong – Penajam Paser Utara untuk

memenuhi kebutuhan layanan telekomunikasi yang akan meningkat di wilayah tersebut.

## II. KAJIAN TEORI

### A. Teknologi DWDM

*Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) merupakan suatu teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal-kanal informasi, sehingga setelah dilakukan proses multiplexing seluruh panjang gelombang tersebut dapat ditransmisikan melalui sebuah serat optik [2].

### B. Komponen Penting Pada DWDM

Pada teknologi DWDM, terdapat beberapa komponen utama yang harus ada untuk mengoperasikan DWDM dan agar sesuai dengan standar *channel* ITU sehingga teknologi ini dapat diaplikasikan pada beberapa jaringan optik seperti SONET dan yang lainnya. Komponen-komponennya adalah *transmitter*, *receiver*, DWDM terminal *multiplexer*, *amplifier*, DWDM terminal *demux* [3].

### C. Jenis-jenis Serat Optik

Berdasarkan mode yang dirambatkan maka jenis serat optik secara garis besar dapat dibagi menjadi 2 yaitu *Single Mode* dan *Multimode*. Namun dapat dibagi lagi menjadi *Single Mode Step Index*, *Multi Mode Step Index*, *Multi Mode Graded Index* [4].

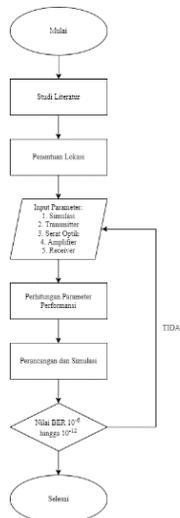
### D. Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

*Erbium doped fiber amplifier* (EDFA) adalah suatu jenis penguat sinyal dalam komunikasi optik yang mampu meningkatkan kualitas jaringan optik. EDFA merupakan *optical amplifier* (OA) yang dapat bekerja baik pada panjang gelombang 1550 nm, sehingga cocok digunakan untuk komunikasi *long haul*. OA ini mampu melakukan proses penguatan tanpa perlu melakukan konversi sinyal tersebut menjadi sinyal elektrik. EDFA merupakan serat optik aktif

yang diberi doping unsur Erbium (Er<sup>3+</sup>). Dalam pengaplikasiannya, EDFA dapat ditempatkan setelah *transmitter (booster amplifier)*, ditempatkan diantara pengirim dan penerima (*in-line amplifier*) dan ditempatkan sebelum *photodetector (pre amplifier)* [5].

### III. METODE

#### A. Metode Penelitian



GAMBAR 1  
DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Tahap pertama yang dilakukan adalah studi literatur dari penelitian terdahulu dan mata kuliah yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir ini. Tahap ke dua adalah penentuan lokasi penelitian yang berada di Tenggarong – Penajam Paser Utara. Tahap ke tiga adalah pengumpulan data parameter yang akan digunakan. Tahap ke empat adalah perhitungan performansi dengan menggunakan parameter yang telah terkumpul. Tahap ke lima adalah melakukan simulai dengan menggunakan software optisystem. Jika hasil yang didapatkan memenuhi standar kelayakan performansi, yaitu nilai BER antara  $10^{-6}$  hingga  $10^{-12}$  maka simulasi selesai, namun jika tidak memenuhi standar kelayakan performansi, maka kembali ke tahap ke tiga.

#### B. Parameter Sistem

Dalam proses perancangan dan simulasi membutuhkan parameter yang digunakan untuk melakukan perancangan dan simulasi.

##### 1. Parameter Simulasi

Parameter simulasi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam tabel berikut:

TABEL 1  
PARAMETER UMUM  
Parameter Simulasi

<i>Bit rate</i> (Gbps)	10
<i>Bandwidth</i> (Ghz)	20
Format modulasi	NRZ
<i>Margin system</i> (dB)	3

##### 2. Parameter Transmitter

Parameter *transmitter* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut:

TABEL 2  
PARAMETER TRANSMITTER

Parameter <i>Transmitter</i>	
<i>Jenis Optical Source</i>	CW Laser
Frekuensi (nm)	1550, 1551, 1552, 1553
<i>Rise Time</i> (ps)	35
<i>Power</i> (dBm)	5
Lebar spektral (nm)	0,02

##### 3. Parameter Serat Optik

Parameter serat optik yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut:

TABEL 3  
PARAMETER SERAT OPTIK

Parameter Serat Optik	
Jenis serat optik	SMF G.655
Panjang <i>link</i> (km)	234
Atenuasi (dB/km)	0,2
Dispersi kromatik (ps/nm.km)	0,07
Redaman <i>splice</i> (dB/ <i>splice</i> )	0,1
Redaman <i>connector</i> (dB/ <i>connector</i> )	0,3

##### 4. Parameter Amplifier

Parameter *amplifier* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut:

TABEL 4  
PARAMETER AMPLIFIER

Parameter <i>amplifier</i>	
<i>Gain EDFA in-line</i> (dB)	40
<i>Noise figure</i> (dB)	1

##### 5. Parameter Receiver

Parameter *receiver* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut:

TABEL 5  
PARAMETER RECEIVER

Parameter <i>Receiver</i>	
<i>Jenis photodetector</i>	PIN
<i>Resposivity</i>	1
Frekuensi (nm)	1550, 1551, 1552, 1553

### C. Penentuan Jumlah Penguat

Penentuan jumlah penguat yang dibutuhkan dapat ditentukan melalui persamaan berikut [6]:

$$N = \frac{Loss_{actual} - Loss_{acceptable}}{G_{EDFA}} \quad (1)$$

### D. Kelayakan Performansi

#### 1. Link Power Budget (LPB)

Link power budget (LPB) atau power budget bertujuan untuk menghitung daya yang diperlukan receiver sehingga level daya terima tidak kurang dari sensitivitas minimum. Tujuan dilakukannya perhitungan adalah untuk menentukan apakah komponen dan parameter desain yang dipilih dapat menghasilkan daya sinyal hingga di pelanggan sesuai dengan syarat performansi berlaku [7], Berikut adalah persamaan untuk menentukan link power budget (LPB):

$$P_{Tx} - P_{Rx} = M_s + \alpha Total$$

$$\alpha Total = n_c \alpha_c + \left( \frac{L_{sistem}}{L_{kabel}} - 1 \right) \alpha_s + Link \alpha_f \quad (2)$$

$$L_{sistem}(km) = \frac{\alpha Total (dB) + \alpha_s (dB) - n_c \alpha_c (dB)}{\alpha_f \frac{\alpha_s}{L_{kabel}}}$$

#### 2. Rise Time Budget

Rise time budget (RTB) merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi pada saluran transmisi, dispersi adalah proses pelebaran pulsa optik ketika mereka berjalan melewati serat optik. Tujuannya adalah untuk menganalisis kerja sistem secara keseluruhan dan memenuhi kapasitas kanal yang diinginkan [8]. Berikut adalah persamaan untuk menentukan rise time budget (RTB):

$$t_{sistem}^2 = t_{tx}^2 + t_{intra}^2 + t_{inter}^2 + t_{rx}^2$$

$$t_{intra} = \sigma \cdot \lambda \cdot t_{rx}^2 \quad (3)$$

#### 3. Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to noise ratio (SNR) merupakan perbandingan tingkat daya sinyal dengan daya noise pada sistem jaringan. Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan signal to noise ratio (SNR):

$$SNR = \frac{(P_{Rx} RM)^2}{2 \cdot q \cdot P_{Rx} \cdot RM^2 \cdot F(M) \cdot B_e + \frac{4 \cdot K_B \cdot T \cdot B_e}{RL}} \quad (4)$$

#### 4. Q-Factor

Q-Factor adalah faktor kualitas yang akan menentukan kelayakan suatu link bagus atau tidak. Nilai Q-factor yang ideal pada suatu link optik adalah 4 sampai 8. Berikut formula untuk mengetahui nilai Q-Factor pada sebuah link optik [9]:

$$Q = \frac{SNR}{2}, \quad (5)$$

#### 5. Bit Error Rate (BER)

Bit error rate (BER) adalah laju kesalahan bit yang terjadi dalam sistem transmisi digital, BER merupakan parameter

kunci yang digunakan untuk menilai sistem yang mengirimkan data digital dari suatu tempat ke tempat lain. Sistem yang memiliki nilai BER rendah diantaranya link radio, sistem komunikasi optik, Ethernet. Pada setiap jenis link komunikasi memiliki standar maksimal BER yang berbeda-beda, misalnya untuk link optik adalah  $10^{-6}$  hingga  $10^{-12}$  [9]. Berikut adalah persamaan untuk menentukan nilai bit error rate (BER):

$$BER = \frac{EXP(-\frac{Q^2}{2})}{Q\sqrt{2\pi}}, \quad (6)$$

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Perhitungan Jarak Penguat

Berdasarkan pada panjang sistem yang akan dirancang cukup jauh, yaitu 234 km, maka dibutuhkan penguat untuk menambah daya kirim pada sistem transmisi agar daya yang sampai tetap memenuhi standar minimal performansi sistem.

#### 1. Jarak Maksimum Transmisi Tanpa Penguat

Untuk memperoleh nilai jarak maksimum tanpa penguat, perhitungan dilakukan dengan persamaan (2) berikut:

$$L_{sistem}(km) = \frac{\alpha Total (dB) + \alpha_s (dB) - n_c \alpha_c (dB)}{\alpha_f + \frac{\alpha_s}{L_{kabel}}}$$

$$L_{sistem}(km) = \frac{P_{Tx} (dBm) - P_{Rx} (dBm) - M_s + \alpha_s (dB) - n_c \alpha_c (dB)}{\alpha_f + \frac{\alpha_s}{L_{kabel}}}$$

$$L_{sistem}(km) = \frac{5 - (-27) - 3 + 0,1 - 2(0,3)}{0,2 + \frac{0,1}{234}}$$

$$L_{sistem}(km) = 142,19$$

#### 2. Jumlah Kebutuhan Penguat

Untuk memperoleh jumlah kebutuhan penguat, perhitungan dilakukan dengan persamaan (2) berikut:

$$Loss_{acceptable} = n_c \alpha_c + \left( \frac{L_{sistem}}{L_{kabel}} - 1 \right) \alpha_s + Link \alpha_f + M_s$$

$$Loss_{acceptable} = (2 \cdot 0,3) + \left( \frac{142,19}{2} - 1 \right) 0,1 + (143,19 \cdot 0,2) + 3$$

$$Loss_{acceptable} = 39,0475 \text{ dB dB}$$

Setelah memperoleh nilai  $Loss_{acceptable}$ , maka selanjutnya menentukan  $Loss_{actual}$  dengan persamaan (1) berikut:

$$Loss_{actual} = n_c \alpha_c + \left( \frac{L_{sistem}}{L_{kabel}} - 1 \right) \alpha_s + Link \alpha_f + M_s$$

$$Loss_{actual} = (2 \cdot 0,3) + \left( \frac{234}{2} - 1 \right) 0,1 + (234 \cdot 0,2) + 3$$

$$Loss_{actual} = 62 \text{ dB}$$

Setelah mendapatkan nilai  $Loss_{acceptable}$  dan  $Loss_{actual}$ , penentuan jumlah penguat yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan persamaan (1) dimana perhitungan jumlah penguat yang diperlukan sebagai berikut.

$$N = \frac{Loss_{actual} - Loss_{acceptable}}{G_{EDFA}}$$

$$N = \frac{62 - 39,0475}{40}$$

$N = 0,5738125 \approx 1$  buah amplifier tambahan.

### 3. Titik Pemasangan OA

Setelah jumlah OA diketahui, maka titik pemasangan OA dapat diketahui melalui perhiungan sebagai berikut:

$$L_{EDFA} = \frac{L_{Link}}{(N + 1)}$$

$$L_{EDFA} = \frac{234}{(1 + 1)}$$

$$L_{EDFA} = 117 \text{ km}$$

#### B. Perhitungan Rise Time Budget

Perhitungan dilakukan dengan menentukan *equivalent rise time* terlebih dahulu, dengan persamaan berikut.

$$t_{eq} = \frac{0,7}{\text{Bit Rate}}$$

$$t_{eq} = \frac{10 \cdot 10^9}{0,7}$$

$$t_{eq} = 70 \text{ ps}$$

Setelah mendapatkan nilai equivalent rise time, maka nilai rise time budget dapat ditentukan melalui persamaan (3) dengan nilai  $t_{inter} = 0$  karena menggunakan serat optik *single mode*, sehingga:

$$t_{Tx-Rx} = \sqrt{t_{Tx}^2 + (D \cdot \sigma_\lambda \cdot L)^2 + t_{Rx}^2}$$

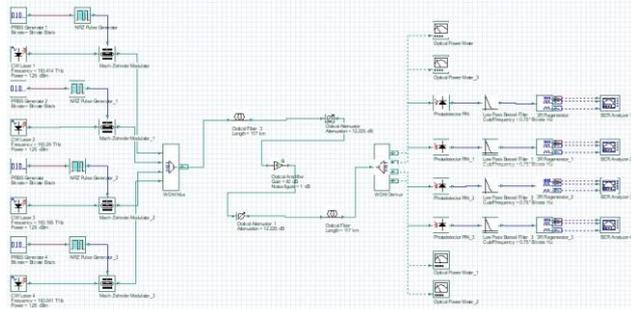
$$t_{Tx-Rx} = \sqrt{35^2 + (4 \cdot 0,02 \cdot 234)^2 + 15^2}$$

$$t_{Tx-Rx} = 42,426 \text{ ps}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai *rise time budget* telah memenuhi syarat pengkodean NRZ karena nilai *equivalent rise time* > *rise time total*.

#### C. Perancangan pada optisystem

Pada tugas akhir ini, analisis dilakukan dari hasil simulasi rangkaian perancangan jaringan optik pada software optisystem untuk menganalisa sistem yang telah dirancang. Rancangan sistem menggunakan 4 buah panjang gelombang dengan sumber power berasal dari CW laser. Berikut merupakan skema rangkaian yang digunakan:



GAMBAR 2  
RANGKAIAN PADA OPTISYSTEM

#### E. Hasil Simulasi Perancangan

Analisis hasil simulasi dilakukan terhadap nilai *power received*, SNR, *Q-factor* dan BER. Simulasi perancangan

menggunakan *software optisystem*. Berikut adalah hasil simulasi perancangan pada link akses terjauh:

##### a. Power Received

Berikut adalah nilai *power received* yang didapatkan dari hasil simulasi perancangan untuk link Samarinda-Penajam Paser Utara untuk masing-masing kanal:

TABEL 6  
HASIL SIMULASI POWER RECEIVED

Kanal	Nilai Power Received
Kanal 1	-19,792
Kanal 2	-19,367
Kanal 3	-19,573
Kanal 4	-19,775

Setiap panjang gelombang memiliki daya terima yang berbeda-beda, namun masih diatas sensitivitas photodetector pin, yaitu diatas -27 dBm. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi layak untuk digunakan.

##### b. Q-Factor

Simulasi mengenai Q-factor pada rangkaian yang telah dibuat menghasilkan nilai sebagai berikut.

TABEL 7  
HASIL SIMULASI Q-FACTOR

Kanal	Nilai Q-Factor
Kanal 1	5,23458
Kanal 2	5,50418
Kanal 3	5,49859
Kanal 4	5,33392

Nilai Q-Factor dari simulasi dan perhitungan manual menunjukkan hasil yang berbeda, namun masih memenuhi standar nilai Q-Factor yang ideal, yaitu antara 4 sampai 8.

##### d. BER

Simulasi mengenai Q-factor pada rangkaian yang telah dibuat menghasilkan nilai sebagai berikut.

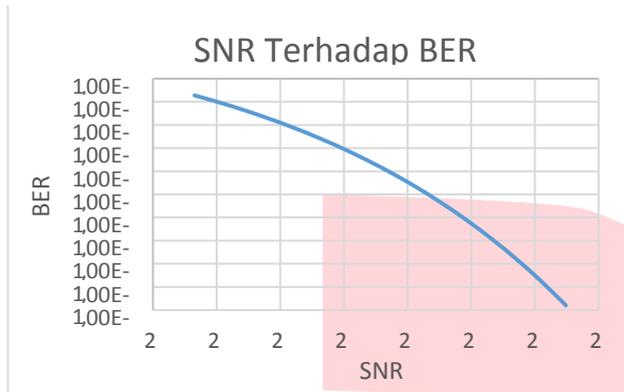
TABEL 8  
HASIL SIMULASI BER

Kanal	Nilai BER
Kanal 1	$8,21 \times 10^{-8}$
Kanal 2	$1,85 \times 10^{-8}$
Kanal 3	$1,89 \times 10^{-8}$
Kanal 4	$4,75 \times 10^{-8}$

Nilai BER dari keempat kanal telah memenuhi standar yaitu antara  $10^{-6}$  hingga  $10^{-12}$ . Berdasarkan hasil simulasi, keempat kanal memiliki nilai BER yang beragam. Ketika dibandingkan, nilai BER hasil simulasi menunjukkan hasil yang berbeda dengan nilai BER hasil perhiungan manual, namun masih memenuhi standar, yaitu antara  $10^{-6}$  hingga  $10^{-12}$ .

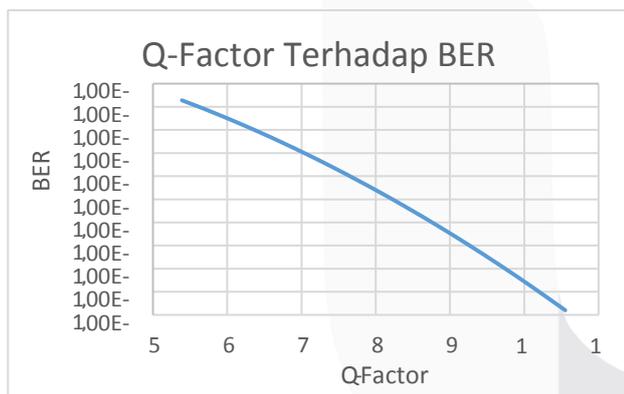
#### F. Grafik SNR dan $Q$ -Factor Terhadap BER

Setelah dilakukan perhitungan dan simulasi, didapatkan hasil *signal to noise ratio* (SNR) dan *bit error rate* (BER) yang kemudian dilakukan perbandingan *antara signal to noise ratio terhadap bit error rate*, dan hasil dari perbandingan antara keduanya menunjukkan hasil dimana semakin besar nilai *signal to noise ratio*, maka akan semakin kecil nilai *bit error rate* yang dihasilkan.



GAMBAR 3  
GRAFIK SNR TERHADAP BER

Perbandingan nilai  $Q$ -factor terhadap nilai *bit error rate* setelah melakukan perhitungan dengan mengubah parameter power transmitter menghasilkan kesimpulan bahwa semakin besar nilai  $Q$ -factor maka nilai *bit error rate* semakin kecil.



GAMBAR 4  
GRAFIK  $Q$ -FACTOR TERHADAP BER

#### V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan proses perancangan sistem komunikasi backbone link Tenggarong – Penajam Paser Utara adalah sebagai berikut.:

1. Pengujian nilai PLB untuk link Tenggarong – Penajam Paser Utara menghasilkan nilai yang mampu diterima hingga ujung transmisi, dimana di setiap segmen untuk masing-masing link perangkat OA juga mampu menerima nilai daya yang diinputkan. Untuk link Tenggarong – Penajam Paser Utara dengan total panjang link 234 km dibutuhkan 1 buah *optical amplifier* berjenis *in-line amplifier* dengan *gain* sebesar 40 dB.
2. Nilai *power link budget* yang didapatkan dari hasil simulasi dan penghitungan berkisar antara -16 dB hingga -20 dB, nilai tersebut masih diatas sensitivitas

*photodetector pin*, yaitu diatas -27 dB, sehingga konfigurasi ini dapat dikatakan layak.

3. Pengujian nilai RTB dengan menggunakan teknik pengkodean NRZ untuk link Tenggarong – Penajam Paser Utara menghasilkan nilai yang diizinkan yakni dibawah 70 ps, dimana untuk link Tenggarong – Penajam Paser Utara menghasilkan rise time sebesar 42,426 ps
4. Nilai  $Q$ -Factor terbesar yang diperoleh dari hasil simulasi adalah 5,50418 sedangkan yang terkecil adalah 5,23458, nilai tersebut masih memenuhi standar nilai  $Q$ -Factor yang ideal, yakni 4 hingga 8.
5. Pengujian BER yang dilakukan menghasilkan nilai yang sudah sesuai dengan standar nilai BER yang ideal yaitu antara  $10^{-6}$  hingga  $10^{-12}$ . Nilai BER yang terbesar bernilai  $8,21 \times 10^{-8}$  dan nilai BER yang terkecil bernilai  $1,85 \times 10^{-8}$ .

#### REFERENSI

- [1] H. Nugroho, "Pemindahan ibu kota baru negara kesatuan republik indonesia ke kalimantan timur: Strategi pemenuhan kebutuhan dan konsumsi energi," Bappenas Working Papers, vol. 3, no. 1, pp. 33–41, 2020.
- [2] D. Sartika, "Efisiensi jaringan backbone serat optik pt. indosat link surabaya– banyu urip dengan teknologi metro core connect dan dwdm," JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI, vol. 2, 2021.
- [3] K. M Evan, "Analisis performansi jaringan dense wavelength division multiplexing (dwdm) backbone link: studi kasus cirebon-tegal," Ph.D. dissertation, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, 2017.
- [4] I. Umaternate, M. Z. Saifuddin, H. Saman et al., "Sistem penyambungan dan pengukuran kabel fiber optik menggunakan optical time domain reflectometer (otdr) pada pt. telkom kandatel ternate," PROtek: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, vol. 3, no. 1, pp. 26–34, 2016.
- [5] M. JANNAH, "Performansi sistem twdm-pon menggunakan nz-dsf dan dcf pada teknologi ngpon2," Ph.D. dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2018.
- [6] R. A. I. Asyari, Firdaus, E. Indarto, I. Nurcahyani, "Perancangan Jaringan Backbone dan Distribusi 4G LTE Di Sleman Berbasis Jaringan Optik," Pros. SNATIF, 2017 J. N. Downing, Fiber-optic communications. Thomson/Delmar Learning, 2005.
- [7] Ramadhana, Argymnasthiar, Erna Sri Sugesti, and Rina Pudji Astuti. "Perancangan Jaringan Serat Optik Untuk Komunikasi Lte Penumpang Pada Kereta Cepat Jakarta-surabaya Sub Jakarta-cirebon." eProceedings of Engineering 9.2 (2022).
- [8] Nugraha, Aditya Perkasa Whira, et al. "Perancangan Jaringan Backbone Optik 4G LTE DWDM Di Kabupaten Bandung Selatan." Prosiding SENIATI (2019): 141-148.
- [9] A. R. Ginanjar, A. Hambali, and M. Irfan Maulana, "Analisis dan simulasi pengaruh dispersion

compensating fiber pada link optik berdasarkan jarak dan bit rate,” eProceedings of Engineering, vol. 4, no. 2, 2017.

