

Analisis Dan Perancangan *Point Of Presence* (POP) Kota Bandar Lampung Ditinjau Dari *Beach Manhole* (BMH) Kalianda

Analysis And Design Of Point Of Presence (POP) Bandar Lampung City Reviewed From Beach Manhole (BMH) Kalianda

1st Mega Ayu Indriani
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
megaindriani@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Akhmad Hambali
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ahambali@telkomuniversity.ac.id

3rd Muhammad Irfan Maulana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Digitalisasi di Indonesia dewasa ini bergerak dengan cepat, terlebih semenjak pandemi Covid-19 hampir semua kegiatan dilakukan secara daring. Internet yang baik sangat diperlukan dalam melaksanakan kegiatan *online* dan digitalisasi. Penyedia layanan data harus membangun infrastruktur jaringan untuk memenuhi permintaan yang tinggi terhadap layanan internet. Penelitian ini dilakukan di Kota Bandar Lampung untuk merancang *Point of Presence* dan menguji performansi rancangan tersebut. Terdapat dua skema pengujian performansi, yakni perhitungan dengan metode komputasi dan simulasi dengan simulator optik dengan dua skenario yakni segmen dengan penguat optik dan tanpa penguat optik. Penelitian ini akan merancang dua *Point of Presence* baru, yakni di Kedaton dan Sukarame. Pengujian performansi dilakukan terhadap segmen dengan penguat optik, yakni STO Tanjung Karang-POP Kedaton mendapatkan hasil untuk skema perhitungan didapat BER 8×10^{-14} dan untuk skema simulasi BER $5,96 \times 10^{-7}$. Untuk segmen tanpa penguat optik, yakni POP Kedaton-STO Langkapura mendapatkan hasil untuk skema perhitungan didapat BER $5,56 \times 10^{-9}$ dan untuk skema simulasi BER $7,01 \times 10^{-7}$.

Kata kunci : digitalisasi, internet, *point of presence*, penguat optik, pengujian Performansi.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semua kalangan kini diwajibkan paham dengan teknologi, karena hampir semuanya digital. Digitalisasi yang semakin cepat mendorong manusia untuk selalu mengakses internet, terlebih di era pandemi Covid-19 ini

Abstract

Digitalization in Indonesia today is moving rapidly, especially since the Covid-19 pandemic almost all activities are carried out online. A good internet is very necessary in carrying out online activities and digitization. Data service providers must build network infrastructure to meet the high demand for internet services. This research was conducted in Bandar Lampung City to design a Point of Presence and to test the performance of the design. There are two performance testing schemes, namely calculations using computational methods and simulations with optical simulators with two scenarios, namely segments with optical amplifiers and without optical amplifiers. This research will design two new Point of Presence, namely in Kedaton and Sukarame. Performance testing was carried out on segments with optical amplifiers, namely Tanjung Karang CO-Kedaton POP. The results for the calculation scheme were BER 8×10^{-14} and for the simulation scheme BER 5.96×10^{-7} . For the segment without optical amplifier, namely Kedaton POP-Langkapura CO, the results for the calculation scheme are BER 5.56×10^{-9} and for the simulation scheme BER 7.01×10^{-7} .

Keywords: digitalization, internet, *point of presence*, optical amplifier, performance testing.

akses menuju internet menjadi lebih tinggi. Faktor tersebut mendorong penyedia layanan internet harus bisa menyediakan layanan internet yang baik. Berdasarkan referensi Survei Penetrasi dan Perilaku Pengguna Internet di Indonesia yang dilakukan APJII, terdapat total 210.026.769 jiwa

penduduk Indonesia yang telah terkoneksi dengan internet dari total populasi 272.682.600 penduduk Indonesia pada tahun 2021 [1]. Ini berarti internet, di Indonesia telah mencapai tingkat penetrasi sebesar 77,02%, meningkat sekitar 3,32% dari tahun sebelumnya dan pengguna internet terbanyak ada dikalangan pelajar dan mahasiswa dari semua kalangan yakni sebesar 99,26% [1].

Seiring dengan peningkatan penetrasi internet dan layanan data, pemerintah melakukan upaya dengan membangun jaringan transmisi serat optik yang mampu membawa data dengan bandwidth besar dan memiliki kecepatan tinggi. Jaringan *backbone* dapat membawa data hingga mencapai kecepatan 10 Gbps dan jangkauan hingga 100 km [2]. Perangkat aktif DWDM digunakan untuk pentransmisi data, suara, dan gambar/video jarak jauh melalui banyak kanal berkapasitas tinggi dan efektif. Perangkat transmisi dan perangkat aktif DWDM terletak di *Point of Presence*. *Point of Presence* merupakan suatu titik penghubung antara penyedia layanan data ke pengguna layanan.

Penelitian ini melakukan perancangan *Point of Presence* (PoP) di Kota Bandar Lampung dengan mempertimbangkan pelanggan potensial, seperti kantor pemerintahan, rumah sakit, pusat pendidikan, dan hunian penduduk. Perancangan jaringan dilakukan dengan meninjau keberadaan jaringan eksisting, termasuk *Beach Manhole* yang terdapat di Kota Kalianda terhubung dengan jaringan *backbone* STO Tanjung Karang, Bandar Lampung. Pada perancangan ini, dilakukan juga perhitungan performansi, yakni perhitungan *Link Power Budget*, *Rise Time Budget*, *Signal-to-Noise Ratio*, *Q-Factor*, dan *Bit Error Rate* untuk melihat kelayakan jaringan rancangan. Selain itu, dilakukan simulasi perancangan pada aplikasi simulator optik yang menyesuaikan dengan keadaan lapangan (*real*). Perhitungan dan simulasi menggunakan nilai parameter yang disesuaikan dengan kebutuhan.

1.2 Rumusan Masalah

Kota Bandar Lampung merupakan Ibukota Provinsi Lampung dengan jumlah populasi penduduk sebanyak 1.116.066 jiwa pada tahun 2021 dengan laju pertumbuhan penduduk sebesar 2,7% dan Indeks Pembangunan Manusia sebesar 77,44% [3] terus meningkat dari tahun ke tahun. Tercatat ada total 1.011 fasilitas pendidikan, 885 fasilitas kesehatan, 64 kantor pemerintahan, 563 perusahaan, 63 objek wisata [3], dan masih banyak fasilitas publik lainnya. Semenjak pandemi Covid-19, hampir semua kegiatan dilakukan secara daring, kegiatan luring pun turut terlaksana dengan berbasis digital. Digitalisasi harus diiringi dengan ketersediaan jaringan internet agar dapat terlaksana. Kota Bandar Lampung termasuk dalam wilayah Provinsi Lampung yang memiliki tingkat penetrasi internet sebesar 77,2% berdasarkan Survey APJII terhadap Penetrasi Internet Berdasarkan Provinsi di

Indonesia Tahun 2022 [1].

Data-data yang tersaji diatas menunjukkan bahwa tingkat kebutuhan terhadap internet dan layanan data sangat tinggi. Selain itu juga, sebagian besar wilayah Kota Bandar Lampung adalah perbukitan dan menyebabkan sering terjadinya ketidakstabilan internet. Hal-hal tersebut dapat menjadi pertimbangan untuk dilakukannya suatu perancangan *Point of Presence* (PoP) di wilayah Kota Bandar Lampung.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah merancang *Point of Presence* (PoP) yang terhubung dengan jaringan eksisting di Kota Bandar Lampung untuk memenuhi kebutuhan layanan data dan internet kepada pengguna layanan.

II. KAJIAN TEORI

2.1 Infrastruktur Telekomunikasi

Suatu jaringan memiliki mekanisme pentransmisi yang disebut dengan arsitektur jaringan. Dalam telekomunikasi, mekanisme tersebut disebut infrastruktur telekomunikasi yang merupakan suatu model yang merepresentasikan alur pentransmisi suatu layanan data, suara, gambar dalam suatu jaringan telekomunikasi. Infrastruktur telekomunikasi terdiri atas tiga jaringan, yakni jaringan *backbone*, jaringan *middle mile*, dan jaringan *last mile* [4].

2.1.1 Jaringan Backbone

Jaringan *Backbone* merupakan suatu jaringan yang berperan sebagai pusat pentransmisi data dalam suatu jaringan telekomunikasi. Jaringan *backbone* diperuntukkan dalam pentransmisi data skala besar karena mampu mentransmisikan data dengan kecepatan tinggi. Jaringan *backbone* menghubungkan banyak segmen jaringan seperti *Local Area Network* (LAN), *Metropolitan Area Network* (MAN), dan *Wide Area Network* (WAN) [5].

- *Local Area Network* (LAN)

Menghubungkan pengguna di area lokal seperti ruangan, bangunan, kantor, atau kampus. Biasanya digunakan dan dioperasikan secara privat oleh suatu organisasi seperti *enterprise*.

- *Metropolitan Area Network* (MAN)

Mencakup area yang lebih luas daripada LAN. Dapat menghubungkan antar bangunan di suatu kota atau menghubungkan seluruh kota, biasanya disebut dengan jaringan *metro*.

- *Wide Area Network* (WAN)

Mencakup area geografis yang luas. Dapat menghubungkan antar kota, pulau, maupun negara dengan saluran transmisi jarak jauh.

2.1.2 Jaringan Middle Mile

Jaringan *Middle Mile* dapat disebut sebagai *backhaul* merupakan jaringan distribusi yang menghubungkan *backbone* dengan *last mile* atau jaringan akses yang terdiri dari jaringan optik dan

jaringan radio.

2.1.3 Jaringan Last Mile

Jaringan *Last Mile* dapat disebut sebagai jaringan akses yang menjangkau pengguna akhir. Jaringan akses menjangkau perangkat pengguna akhir seperti *smartphone*, *laptop*, komputer, atau perangkat berkemampuan internet.

2.2 POP (Point of Presence)

Secara garis besar, POP adalah suatu titik akses lokal untuk suatu penyedia layanan data ke pelanggan. Suatu POP terdiri dari komponen telekomunikasi berkecepatan tinggi yang memungkinkan penggunanya terhubung dengan layanan data dari penyedia layanan, fungsi tersebut biasa disebut fungsi terminasi dan demarkasi [6]. Sebelum melakukan perancangan POP, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, setelah syaratnya terpenuhi maka POP dapat dirancang. Syarat yang harus diperhatikan antara lain:

- Lokasi penempatan sebaiknya berada di dekat jalan raya utama, karena kabel optik *backbone* biasanya berada di jalan raya utama.
- Terdapat pelanggan potensial disekitar lokasi penempatan, misalnya fasilitas publik.
- Terdapat lokasi yang bisa dijadikan sebagai tempat mendirikan menara transmisi
- Memiliki Izin Mendirikan Bangunan (IMB)

2.3 WDM (Wavelength Division Multiplexing)

WDM merupakan suatu teknologi yang dapat mengkombinasikan beberapa panjang gelombang pada satu serat yang sama. WDM dipilih karena dapat mengurangi kemacetan lalu lintas jaringan dengan meningkatkan bandwidth yang ada pada kecepatan berbeda secara bersamaan. WDM menggunakan panjang gelombang yang tetap (*fixed*). Perangkat WDM terdiri dari *Multiplexer* (MUX) dan *Demultiplexer* (DMUX).

2.3.1 Dense Wavelength Division Multiplexing

Setiap panjang gelombang pada DWDM harus ditempatkan dengan benar dan diberi sela agar tidak terjadi interferensi antar panjang gelombang [5]. DWDM merupakan teknologi yang sangat efektif untuk diaplikasikan pada jaringan transmisi jarak jauh. Biasanya menggunakan panjang gelombang 1310 nm atau 1550 nm. Perangkat DWDM mencakup satu atau lebih pita spektral.

2.4 Single Mode Optical Fiber

Kabel optik *single mode* umum digunakan pada jaringan telekomunikasi untuk komunikasi jarak jauh dan transmisi dengan *data rate* tinggi. Rekomendasi ITU-T G.652 menjelaskan mengenai karakteristik kabel optik *single-mode* [7]. Kabel optik jenis ini beroperasi pada kisaran panjang gelombang 1310 nm dan dapat juga digunakan pada panjang gelombang 1550 nm tanpa redaman performansi [8].

2.5 Penguat Optik

Sinyal optik yang dipancarkan di sepanjang serat pada suatu jarak tertentu akan melemah dikarenakan kehilangan daya saat bertransmisi. Sinyal optik yang melemah harus diberi penguatan agar tidak terjadi kemacetan transmisi. Pada penguat optik terdapat pompa laser yang berkisar antara 100 hingga 500 mW bergantung pada pengaplikasiannya [5].

1. In Line Amplifier

Pengaplikasian penguat optik untuk mengkompensasi kerugian transmisi dan meningkatkan jarak antara *repeater* regeneratif.

2. Preamplifier

Pengaplikasian penguat optik di sisi sebelum penerima optik. Sinyal optik yang melemah selama proses transmisi akan diperkuat sebelum masuk ke fotodetektor. Pengaplikasian ini memberikan penguatan yang lebih besar dan *bandwidth* yang lebih lebar.

3. Postamplifier

Pengaplikasian penguat optik di sisi setelah *transmitter* dan berfungsi untuk meningkatkan jarak transmisi 10 hingga 100 km dan mengurangi kerugian transmisi.

2.6 Line Coding

Hal pertama yang harus diperhatikan dalam merancang suatu sistem jaringan optik adalah menentukan cara mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik atau bisa [6]. Terdapat dua format *line coding* yakni *Return to Zero* (RZ) dan *Non-return to Zero* (NRZ) [9].

• Return to Zero (RZ)

Format *line coding* jenis ini setiap bit pulsa optik yang dikirimkan akan kembali ke amplitude 0 (nol) sebelum durasi bit selesai, sehingga lebar pulsanya cenderung sama atau tetap.

• Non-return to Zero (NRZ)

Format *line coding* jenis ini setiap bit pulsa optik yang dikirimkan tidak Kembali ke amplitude 0 (nol) sebelum durasi 1-bit selesai (*unipolar*), sehingga lebar pulsa yang dihasilkan cenderung bervariasi. Jenis format modulasi ini paling sering digunakan pada sistem jaringan optik.

2.7 Perhitungan Performansi Jaringan

2.7.1 Link Power Budget

Perhitungan *Link Power Budget* dilakukan untuk menentukan besar level daya pada sisi penerima pada suatu jaringan optik dengan menentukan daya keluaran sisi pengirim dengan mengalokasikan rugi-rugi kabel optik, sambungan, konektor, dan *margin system* [5]. Formula untuk menghitung *link power budget* ada pada Formula 2.1. Sebelum menghitung *link power budget* untuk menentukan daya terima pada sistem jaringan, hal yang harus diperhatikan adalah menentukan jumlah sambungan kabel pada segmen jaringan yang akan dirancang. Perhitungan yang digunakan ada pada Formula 2.2. Selain itu, panjang kabel yang

digunakan harus diketahui dengan cara menjumlahkan panjang lintasan atau jarak antar titik jaringan dengan *slack* kabel optik. Formula yang digunakan ada pada Formula 2.3.

$$P_{rx} = P_{tx} - (N_c \cdot \alpha_c + \alpha_f \cdot L_{kabel} + \alpha_{sp} \cdot N_{sp} + M_s) \quad (2.1)$$

$$N_{sp} = (L_{kabel}/haspel) - 1 \quad (2.2)$$

$$L_{kabel} = L_{lintasan} + (L_{lintasan} \cdot 7\%) \quad (2.3)$$

2.7.2 Rise Time Budget

Perhitungan *Rise Time Budget* dilakukan untuk menentukan batasan atau limitasi dispersi pada suatu jaringan optik [3]. Untuk menentukan *Rise Time Budget* dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{mod}^2 + t_{CD}^2 + t_{PMD}^2 + t_{rx}^2} \quad (2.5) [5]$$

Nilai *rise time* suatu sistem jaringan tidak boleh melebihi *bit rate* maksimum, agar bisa mendapatkan hasil pentransmisian yang baik [9]. Untuk tipe *line coding nonreturn to zero* (NRZ), *rise time* sistem maksimumnya adalah 70% dari total *bit rate* maksimum dan untuk tipe *line coding return to zero* (RZ), *rise time* sistem maksimumnya adalah 35% dari total *bit rate* maksimum.

2.7.3 Signal-to-Noise Ratio

Perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dilakukan untuk membandingkan level daya terima suatu jaringan optik yang dengan *noise* pada sistem perangkat. *Noise* merupakan komponen yang tidak diinginkan pada suatu sinyal yang dapat mengganggu proses transmisi dan pemrosesan sinyal pada suatu sistem jaringan [5].

Sumber *noise* dapat berasal dari *noise* utama terdiri dari *shot noise* dan *dark current* yang berkaitan dengan fotodetektor. *Dark current* merupakan arus yang bergerak pada detektor yang tidak mendapat cahaya. *Dark current* dapat diabaikan dalam perhitungan SNR, apabila nilai *dark current* dibawah 10 nA [9]. Selain itu, sumber *noise* dapat berasal dari *thermal noise* karena adanya pergerakan elektron yang bervariasi pada suhu tertentu [5]. Perhitungan SNR didefinisikan pada Formula 2.10 sebagai berikut:

$$SNR = \frac{(P_{rx} \cdot R \cdot M)^2}{2 \cdot q \cdot (P_{rx} \cdot R + I_D) \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot B_e + \frac{4 \cdot K_B \cdot T \cdot B_e}{R_f}} \quad (2.10)$$

2.7.4 Q-Factor

Perhitungan *Q-Factor* dilakukan untuk melihat kelayakan suatu sinyal optik dalam suatu jaringan. Nilai *Q-Factor* dipengaruhi oleh nilai SNR. Berikut ini adalah formula yang digunakan pada perhitungan:

$$Q = \frac{10^{\frac{SNR}{20}}}{2} \quad (2.11)$$

2.7.5 Bit Error Rate

Untuk memastikan suatu sistem jaringan dapat mengirimkan sinyal dengan baik, maka dilakukan perhitungan terhadap *Bit Error Rate* [5]. *Bit Error Rate* adalah nilai kesalahan bit yang terjadi dalam proses transmisi sinyal digital terhadap selang waktu tertentu. Nilai *Bit Error Rate* dipengaruhi oleh *Q-factor*. *Bit Error Rate* juga dapat disebut sebagai Probabilitas Error (P_e). Rentang *Bit Error Rate* yang harus dipenuhi pada suatu sistem jaringan telekomunikasi berkisar antara 10^{-9} sampai 10^{-15} [5]. Formula 2.12 mendefinisikan perhitungan terhadap *Bit Error Rate*.

$$BER = \frac{\exp\left(-\frac{Q^2}{2}\right)}{Q\sqrt{2\pi}} \quad (2.12)$$

2.7.6 Eye Diagram

Eye Diagram merupakan suatu metode pengukuran sederhana untuk menunjukkan kemampuan suatu sistem transmisi digital dalam membawa data. *Eye Diagram* diterapkan untuk mengevaluasi kinerja suatu sistem kawat (*wire*) dan dapat juga diterapkan pada sistem serat optik [5]. *Eye Diagram* diukur dalam *domain* waktu dan ditampilkan dalam bentuk gelombang pada alat uji BER. Hasil yang ditampilkan pada *Eye Diagram* dapat mengindikasikan banyak hal terkait kinerja sistem, beberapa diantaranya adalah [5]:

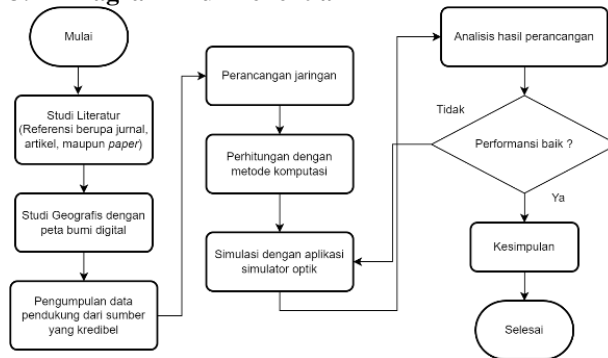
1. *Eye Width* atau lebar bukaan mata mengindikasikan interval waktu saat sinyal terima tidak mengalami kesalahan akibat interferensi antar simbol
2. *Eye Opening Height* atau ketinggian bukaan mata mengindikasikan semakin kecilnya distorsi amplitudo sinyal. Semakin tinggi bukaan mata, maka semakin mudah membedakan sinyal 0 dan 1.
3. *Eye Jitter* atau dapat disebut distorsi fasa mengindikasikan *noise* yang muncul di penerima dan distorsi pada serat optik.

2.8 PIN Photodetector

Fotodetektor merupakan bagian dari penerima optik yang berfungsi untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal listrik. Terdapat dua tipe fotodetektor yakni PIN dan APD, namun jenis PIN yang paling umum digunakan dalam perangkat jaringan optik. Fotodetektor bekerja pada panjang gelombang tertentu dengan responsivitas tertentu pada material penyusun yang berbeda-beda. Material penyusun fotodetektor paling umum antara lain Si, Ge, dan InGaAs. Fotodetektor juga digunakan untuk menentukan nilai SNR suatu sistem jaringan.

III. METODE

3.1 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan alur penelitian yang dilakukan. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan *desktop study* yang terdiri dari studi literatur melalui referensi terkait dan studi geografis dengan menentukan titik jaringan pada peta bumi digital, kemudian mengumpulkan data pendukung yang akan dijadikan parameter perancangan jaringan. Uji performansi juga dilakukan dengan dua skema yakni perhitungan dengan metode komputasi dan simulasi menggunakan aplikasi simulator optik. Hasil perancangan jaringan yang dilakukan kemudian dianalisis kelayakannya dan ditarik kesimpulan.

3.2 Gambaran Umum Perancangan

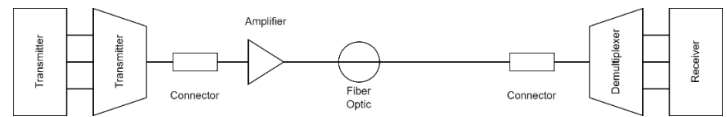
Penelitian ini melakukan uji performansi untuk mendapatkan *Link Power Budget*, *Rise Time Budget*, *Signal-to-Noise Ratio*, *Q-Factor*, dan *Bit Error Rate* dengan dua skema penelitian yakni perhitungan dengan metode komputasi dan simulasi sistem jaringan pada aplikasi simulator optik berdasarkan keadaan *real* terhadap jaringan baru yang akan dirancang untuk Kota Bandar Lampung dengan spesifikasi parameter yang dibutuhkan.

3.2.1 Skema 1: Perhitungan dengan Metode Komputasi

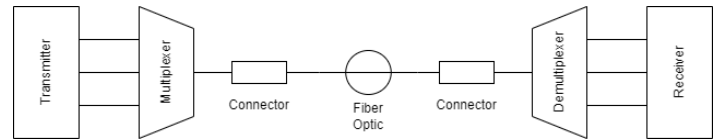
Perhitungan dilakukan dengan menggunakan parameter tertentu sesuai kebutuhan untuk melihat performansi jaringan secara teoritis.

3.2.2 Skema 2: Simulasi Perancangan Jaringan

Simulasi perancangan jaringan dimulai dengan merancang sistem yang akan dijalankan. Simulasi sistem jaringan dilakukan persegmen, dengan masing-masing segmen jaringan terdiri atas perangkat *transmitter*, perangkat DWDM, konektor, kabel serat optik, dan perangkat *receiver*. Perancangan jaringan menggunakan dua skenario, yakni skenario jaringan dengan penguat optik dan skenario jaringan tanpa penguat optik. Model skenario jaringan pertama ditunjukkan oleh Gambar 3.2 dan model skenario jaringan kedua ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Model Rancangan Skenario Dengan Penguat Optik



Gambar 3.3 Model Rancangan Skenario Tanpa Penguat Optik

3.3 Pengumpulan Data Perancangan

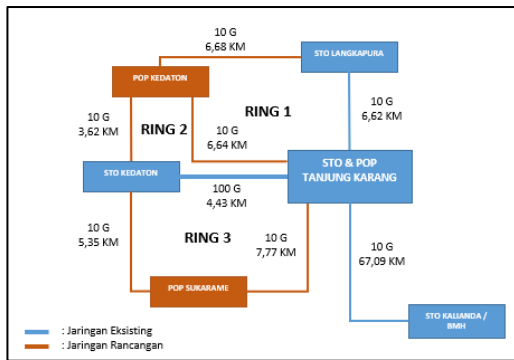
Pokok penelitian ini adalah melakukan perancangan *Point of Presence* (POP) baru di Kota Bandar Lampung. Akan ada dua POP rancangan di lokasi berbeda, yakni di Kecamatan Kedaton dan Sukarame. POP rancangan tersebut akan terhubung dengan STO eksisting terdekat yakni STO Langkapura, dan STO Kedaton. POP rancangan juga akan terhubung dengan STO Tanjung Karang sebagai STO pusat. Pertimbangan dalam merancang *Point of Presence* di dua titik tersebut adalah:

1. POP Kedaton
 - Terdapat banyak fasilitas pendidikan, seperti kampus dan sekolah
 - Banyak dibangun perumahan baru
 - Banyak tempat wisata baru bermunculan
2. POP Sukarame
 - Sedang berlangsung proyek pembangun Kotabaru Lampung dan kedepannya akan menjadi pusat ekonomi dan pemerintahan baru Provinsi Lampung.
 - Banyak dibangun perumahan baru
 - Terdapat banyak fasilitas pendidikan, seperti kampus dan sekolah

Masing-masing segmen jaringan direpresentasikan kedalam bagan topologi jaringan seperti pada Gambar 3.5. Jarak masing-masing segmen ditunjukkan pada Tabel 3.3. Panjang kabel optik yang digunakan untuk masing-masing segmen didapat dari perhitungan menggunakan Formula 2.3.

Tabel 3.1 Tabel Jarak Segmen Jaringan

Segmen	Lintasan (km)	Kabel (km)
STO Tanjung Karang–POP Kedaton	6,22	6,66
POP Kedaton–STO Langkapura	6,25	6,69
POP Kedaton–STO Kedaton	3,39	3,63
POP Sukarame–STO Kedaton	5,04	5,4
STO Tanjung Karang–POP Sukarame	7,28	7,79



Gambar 3.4 Topologi Rancangan

Bagian ini membahas mengenai hasil perhitungan terhadap uji performansi jaringan rancangan. Perhitungan dilakukan dengan metode komputasi untuk mencari nilai *Link Power Budget*, *Rise Time Budget*, *Signal-to-Noise Ratio*, *Q-Factor*, dan *Bit Error Rate* dengan parameter yang dibutuhkan terhadap segmen dengan tambahan penguat optik (*optical amplifier*) yakni segmen yang terhubung dengan STO Tanjung Karang dan segmen tanpa penambahan penguat optik yakni segmen yang terhubung dengan POP rancangan. Contoh perhitungan dilakukan terhadap STO Tanjung Karang-POP Kedaton dan POP Kedaton-STO Langkapura.

3.4 Perhitungan dengan Metode Komputasi

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan dengan Metode Komputasi

Segmen	Nsp	LPB (dBm)	RTB (ps)	SNR (dB)	Q-Factor	BER
STO Tanjung Karang-POP Kedaton	2	-1,371	44,25	23,38	7,38	8×10^{-14}
STO Tanjung Karang-POP Sukarame	3	-1,8665	44,7	22,58	6,78	$8,5 \times 10^{-12}$
POP Kedaton-STO Langkapura	2	-7,4125	44,26	21,16	5,71	$5,56 \times 10^{-9}$
POP Kedaton-STO Kedaton	1	-6,2415	43,38	22,36	6,56	$2,65 \times 10^{-11}$
POP Sukarame-STO Kedaton	2	-7,4565	43,38	21,11	5,68	$6,62 \times 10^{-9}$

Segmen dengan Penguat Optik

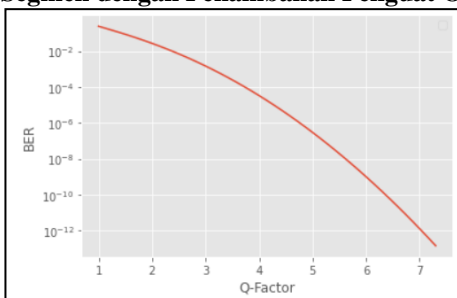
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis pada bagian ini dilakukan terhadap perbandingan *Bit Error Rate* terhadap *Q-Factor* yang didapat dari hasil perhitungan pada bab sebelumnya dan simulasi sistem jaringan rancangan yang dilakukan pada aplikasi simulator optik. Selain itu dilakukan juga analisis perbandingan hasil perhitungan terhadap hasil simulasi.

4.1 Analisis Perbandingan Bit Error Rate terhadap Q-Factor Perhitungan

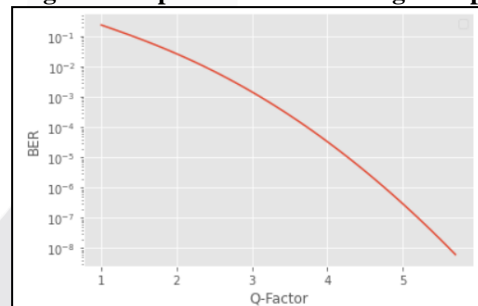
Berdasarkan Formula 2.12, nilai BER sangat dipengaruhi oleh nilai *Q-factor*. Perhitungan *Q-Factor* dan *Bit Error Rate* yang telah dilakukan terhadap masing-masing segmen pada bab sebelumnya kemudian dibandingkan. Grafik yang disajikan adalah grafik untuk segmen dengan penambahan penguat optik dan grafik untuk segmen tanpa penambahan penguat optik.

- Segmen dengan Penambahan Penguat Optik



Gambar 4.1 Grafik BER Terhadap Q-Factor

- Segmen Tanpa Penambahan Penguat Optik



Gambar 4.2 Grafik BER Terhadap Q-Factor Segmen Tanpa Penguat Optik

Kedua grafik diatas menunjukkan hasil perbandingan BER terhadap *Q-Factor*. Gambar 4.1 adalah segmen STO Tanjung Karang-POP Kedaton yang merupakan segmen dengan penambahan penguat optik. Gambar 4.2 adalah segmen POP Kedaton-STO Langkapura yang merupakan segmen tanpa penambahan penguat optik. Hasil perbandingan yang didapat menunjukkan bahwa semakin besar nilai *Q-Factor* maka nilai BER akan semakin mendekati 0 (nol). Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, nilai BER telah memenuhi syarat yang harus dipenuhi pada suatu sistem jaringan telekomunikasi, karena berada pada rentang 10⁻⁹ sampai 10⁻¹⁵ [5].

4.2 Analisis Rise Time Budget

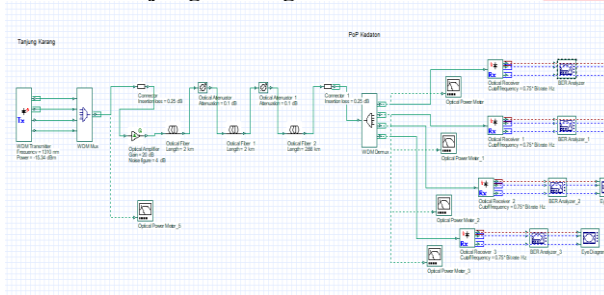
Hasil perhitungan *rise time budget* yang telah

dilakukan pada bab sebelumnya menunjukkan bahwa, *rise time budget* masing-masing segmen tidak lebih dari maksimum *rise time* yang diperbolehkan untuk *line coding NRZ*. *Rise Time Budget* masing-masing segmen yang disajikan pada Tabel 3.4 menunjukkan hasil pada rentang 43,38 - 44,7 ps dan *Rise Time Budget* maksimum sistem rancangan adalah 70 ps. Artinya masing-masing segmen jaringan rancangan dapat dikatakan layak untuk diimplementasikan kedepannya, karena sistem tidak mengalami distorsi yang menyebabkan proses transmisi terganggu.

4.3 Simulasi Segmen Rancangan

Simulasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi simulator optik. Simulasi akan dilakukan terhadap segmen dengan penambahan penguat optik dengan model sistem ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan segmen tanpa penambahan penguat optik dengan model sistem ditunjukkan pada Gambar 3.3.

• **STO Tanjung Karang-POP Kedaton**



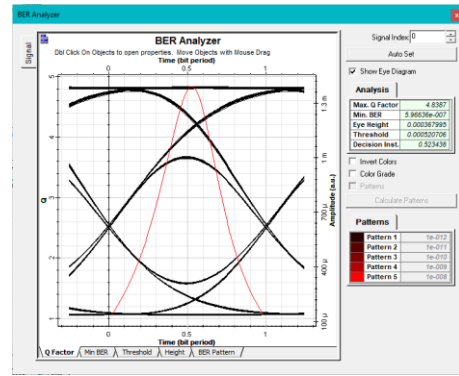
Gambar 4.3 Set Up Simulasi Segmen STO Tj.Karang-POP Kedaton

Gambar 4.3 merupakan *set-up* sistem jaringan untuk segmen STO Tanjung Karang-POP Kedaton yakni segmen dengan penambahan penguatan (*optical amplifier*). Berdasarkan simulasi yang dilakukan, hasil yang didapat adalah sebagai berikut:



Gambar 4.4 Receive Power Kanal 1 Segmen

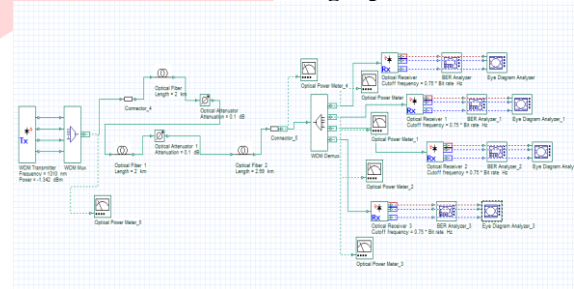
Gambar 4.4 merupakan hasil visualisasi *Optical Power Meter* pada kanal 1 segmen, yakni pada panjang gelombang 1310 nm. *Receive power* yang didapat adalah -1,342 dBm.



Gambar 4.5 Grafik Eye Diagram Kanal 1 Segmen

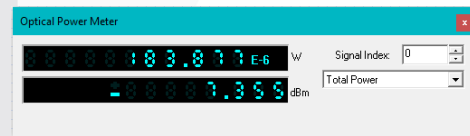
Gambar 4.5 menunjukkan grafik *eye diagram* yang ditampilkan dengan BER Analyzer untuk kanal 1 segmen dengan panjang gelombang 1310 nm. *Q-Factor* maksimum segmen menunjukkan hasil 4,8387 dan BER minimum segmen menunjukkan hasil $5,96 \times 10^{-7}$.

• **POP Kedaton-STO Langkapura**



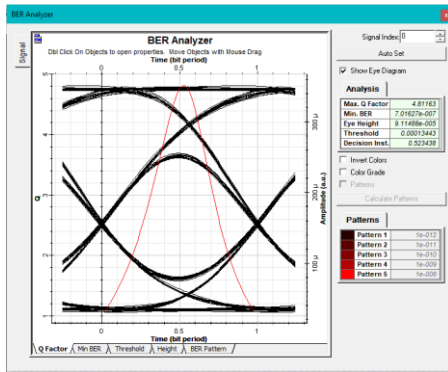
Gambar 4.6 Set Up Simulasi Segmen POP Kedaton-STO Langkapura

Gambar 4.11 merupakan *set-up* sistem jaringan untuk segmen POP Kedaton-STO Langkapura yakni segmen tanpa penambahan penguatan (*optical amplifier*). Berdasarkan simulasi yang dilakukan, hasil yang didapat adalah sebagai berikut:



Gambar 4.7 Receive Power Kanal 1 Segmen

Gambar 4.12 merupakan hasil visualisasi *Optical Power Meter* pada kanal 1 segmen, yakni pada panjang gelombang 1310 nm. *Receive power* yang didapat adalah -7,355 dBm.



Gambar 4.8 Grafik Eye Diagram Kanal 1 Segmen

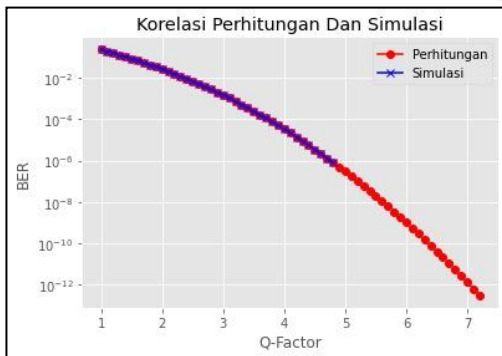
Gambar 4.13 menunjukkan grafik eye diagram yang ditampilkan dengan BER Analyzer untuk kanal 1 segmen dengan panjang gelombang 1310 nm. *Q-Factor* maksimum segmen menunjukkan hasil 4,81163 dan BER minimum segmen menunjukkan hasil $7,01 \times 10^{-7}$.

4.4 Analisis Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi yang didapat menunjukkan bahwa, *receive power* masing-masing segmen menunjukkan nilai yang lebih dari maksimum *receive power* -28 dBm. Nilai BER minimum simulasi yang dihasilkan belum berada pada rentang yang harus dipenuhi pada suatu sistem jaringan telekomunikasi, yakni antara 10^{-9} sampai 10^{-15} [5]. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan yang dimiliki oleh aplikasi simulator optik yang digunakan. Eye diagram yang ditampilkan menunjukkan sistem yang minim noise dan minim distorsi, sehingga sistem dapat diimplementasikan kedepannya karena sistem dapat mentransmisikan data dengan baik.

4.5 Analisis Perbandingan Perhitungan dan Simulasi

Hasil perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan kemudian dibandingkan untuk melihat korelasi antara keduanya. Perbandingan yang dilakukan terhadap perbandingan BER terhadap *Q-Factor* kedua skema tersebut. Perbandingan disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.23 berikut ini:



Gambar 4.9 Grafik Korelasi Perhitungan dan Simulasi

Berdasarkan Gambar 4.23 terlihat bahwa hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan nilai BER maksimum berada pada titik 10^{-7} , sedangkan hasil perhitungan menunjukkan nilai BER Maksimum berada pada titik 10^{-14} . Nilai BER yang dihasilkan pada simulasi belum berada pada rentang yang harus dipenuhi pada suatu sistem jaringan telekomunikasi, yakni berkisar antara 10^{-9} sampai 10^{-15} [5]. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan yang dimiliki aplikasi simulator optik yang digunakan. Namun, korelasi antara keduanya sudah baik, karena grafik saling berhimpit satu sama lain. Hasil korelasi tersebut juga memvalidasi Formula 2.12 bahwa nilai BER sangat dipengaruhi oleh nilai *Q-Factor*.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan antara lain:

1. Analisis dan perancangan *Point of Presence* Kota Bandar Lampung yang ditinjau dari BMH Kalianda telah dilakukan dengan menggunakan dua skema penelitian, yakni perhitungan dengan metode komputasi dan simulasi pada aplikasi simulator optik dengan dua skenario yakni dengan penguat optik dan tanpa penguat optik.
2. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan terhadap segmen dengan penguat optik salah satunya STO Tanjung Karang-POP Kedaton didapat nilai *Link Power Budget* -1,371 dBm, *Rise Time Budget* 44,25 ps, *Signal-to-Noise Ratio* 23,38 dB, *Q-Factor* 7,38, *Bit Error Rate* 8×10^{-14} .
3. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan terhadap segmen tanpa penguat optik salah satunya POP Kedaton-STO Langkapura didapat nilai *Link Power Budget* -7,4125 dBm, *Rise Time Budget* 44,26 ps, *Signal-to-Noise Ratio* 21,16 dB, *Q-Factor* 5,71, *Bit Error Rate* $5,56 \times 10^{-9}$.
4. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan terhadap segmen dengan penguat optik salah satunya STO Tanjung Karang-POP Kedaton didapat *Receive Power* -1,342 dBm, *Signal-to-Noise Ratio* minimum 22,09 dB, *Q-Factor* 4,8387, *Bit Error Rate* minimum $5,96 \times 10^{-7}$.
5. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan terhadap segmen tanpa diberi penguat optik, salah satunya POP Kedaton-STO Langkapura didapat *Receive Power* -7,355 dBm, *Signal-to-Noise Ratio* minimum 16,14 dB, *Q-Factor* 4,81163, *Bit Error Rate* minimum $7,01 \times 10^{-7}$.
6. Hasil yang didapat dari perhitungan dan simulasi menunjukkan bahwa
 - Nilai *link budget* kedua skema telah memenuhi syarat, yakni lebih dari maksimum *receive power* -28 dBm.
 - Nilai *rise time budget* tidak melebihi maksimum *rise time* sebesar 70 ps, begitu pula dengan hasil visualisasi eye diagram yang menunjukkan minim noise dan

minim distorsi. Dari hasil tersebut mengindikasikan bahwa sistem dapat mentransmisikan data dengan baik.

- Nilai BER hasil perhitungan telah memenuhi standar rentang BER yang harus dipenuhi pada sistem telekomunikasi yakni berada diantara 10^{-9} sampai 10^{-15} . Sedangkan nilai BER hasil simulasi belum memenuhi syarat dikarenakan keterbatasan yang dimiliki aplikasi simulator optik yang digunakan.
7. Berdasarkan hasil keseluruhan yang didapat dari perancangan ini, sistem dapat dikategorikan baik untuk melakukan proses transmisi data apabila akan diimplementasikan kedepannya.

REFERENSI

- [1] APJII, "Laporan Survei Internet Indonesia APJII 2021-2022 (Q1)," 2022.
- [2] BAKTI KOMINFO, "Pengumuman," 6 Agustus 2019. [Online]. Available: https://www.baktikominfo.id/id/informasi/pengetahuan/ketahui_apa_itu_backbone_dalam_jaringan_cara_kerja_dan_manfaatnya_dalam_transfer_data-897. [Accessed 26 November 2021].
- [3] BPS Kota Bandar Lampung, "Kota Bandar Lampung Dalam Angka 2021," 2021.
- [4] International Telecommunication Union, "The Last-Mile Internet Connectivity Solutions Guide: Sustainable connectivity options for unconnected sites," 2020.
- [5] K. Gerd, *Optical Communication Essential*, New York: McGraw-Hill, 2003.
- [6] R. L. Freeman, *Telecommunication Fundamental 2nd Edition*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [7] International Telecommunication Union, *Recommendation ITU-T G.652 : Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*, 2009.
- [8] H. Zanger and C. Zanger, *Fiber Optics Communication and Othe Application*, New York: Merrill, 1991.
- [9] G. P. Agrawal, *Fiber-Optic Communication Systems*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.