

Perancangan dan Analisis Kinerja Jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) dengan Teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) Menggunakan Software *OptiSystem*

Afrizal Yuhane^{*)1}, Aprinal Adila Asril², Dini Oktri Yanti³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang

^{*)}Corresponding author, email: afrizal@pnp.ac.id

Abstrak

Fiber optik adalah media transmisi yang memenuhi persyaratan dengan kapasitas *bandwidth* yang besar. Penggunaannya pada jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) dapat secara efektif mengirimkan berbagai jenis konten digital, termasuk suara, video, dan data. Hal ini memungkinkan penyediaan layanan *Triple Play* yang ditawarkan oleh PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisa perbandingan antara pengukuran jaringan FTTH yang dilakukan di lapangan dengan hasil simulasi yang didapat melalui Software *OptiSystem*. Performansi sistem jaringan FTTH ditentukan dari perhitungan parameter *rise time budget* agar sesuai dengan standar yang ditetapkan, dengan nilai maksimal 0,219 ns. Nilai *Bit Error Rate* pada simulasi harus memenuhi standar yang dipersyaratkan maksimal 10^{-9} , dan nilai SNR minimal 21,5 dB. Hasil simulasi menggunakan software *Optisystem* menunjukkan bahwa *rise time budget* didapat dengan perhitungan 00.0050438404 ns menjadi 0.00527393627 ns, nilai tersebut sudah memenuhi syarat tidak melebihi 0.219 ns, untuk nilai *Bit Error Rate* dari hasil simulasi 2.71856×10^{-49} dan 2.27036×10^{-65} nilai tersebut memenuhi syarat kelayakan tidak melebihi 10^{-9} . Nilai SNR 50,053279 dB hingga 50,050211 dB sudah memenuhi standar SNR minimal yang disyaratkan yaitu 21,5 dB. Hasil penelitian ini layak karena berada diatas nilai yang distandarkan pada jaringan FTTH dengan teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON).

INFO.

Info. Artikel:

No. 407

Received. July, 11, 2023

Revised. July, 31, 2023

Accepted. August, 02, 2023

Page. 482 – 489

Kata kunci:

- ✓ Bit Error Rate
- ✓ FTTH
- ✓ GPON
- ✓ OptiSystem
- ✓ Rise Time Budget
- ✓ Signal-to-Noise Ratio

Abstract

Optical fiber is a transmission media which fulfills the requirement with a big bandwidth capacity. Its usage on Fiber To The Home (FTTH) network can send various digital contents effectively including voice, video, and data. This enables the provision of Triple Play service offered by PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. The purpose of this research was to analyze the comparison between FTTH network measurement carried out in the field with the simulation result obtained using OptiSystem. The performance of FTTH network system was determined from the calculation of rise time budget parameter in order to be suitable with the determined standard with maximal value of 0,219 ns. The value of Bit Error Rate in the simulation must fulfill the required standard namely 10^{-9} maximally and SNR Value of 21,5 dB minimally. The simulation result using Optisystem Software showed that the rise time budget obtained through the calculation of 00.0050438404 ns became 0.00527393627 ns. This value had fulfilled the requirement not to exceed 0.219 ns. For the value of Bit Error Rate from the simulation result of 2.71856×10^{-49} and 2.27036×10^{-65} also fulfilled the requirement not to exceed 10^{-9} . SNR value 50,053279 dB until 50,050211 dB had fulfilled the minimal standard of SNR namely 21,5 dB. The results of this research were feasible because they were above the value standardized on FTTH network with Gigabit Passive Optical Network (GPON) technology.

PENDAHULUAN

Teknologi informasi dan komunikasi yang demikian pesat kemajuannya, memungkinkan orang untuk menerima informasi dari seluruh dunia secara cepat dan efisien [1]. Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan berbagai layanan informasi dan komunikasi, diperlukan sarana telekomunikasi yang berkualitas [2]. Sebagai *Internet Service Provider* (ISP), PT Telkom sedang berupaya memperluas jaringan akses fiber optik ke berbagai daerah[3], salah satunya Desa Bungo Timur, Kecamatan Muara Bungo, Kabupaten Bungo, Propinsi Jambi, yang rencananya akan membangun jaringan akses *Fiber To The Home* (FTTH) menggunakan teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON).

Fiber optik merupakan media komunikasi yang memanfaatkan cahaya sebagai alat transmisi data dengan memberikan kecepatan data yang lebih baik dalam jarak yang lebih jauh [4]. Sistem komunikasi fiber optik memiliki beberapa kelebihan, antara lain ukurannya yang kecil, *bandwidth* yang luas, jaringan yang lebih stabil, serta memiliki kinerja yang lebih efisien [5].

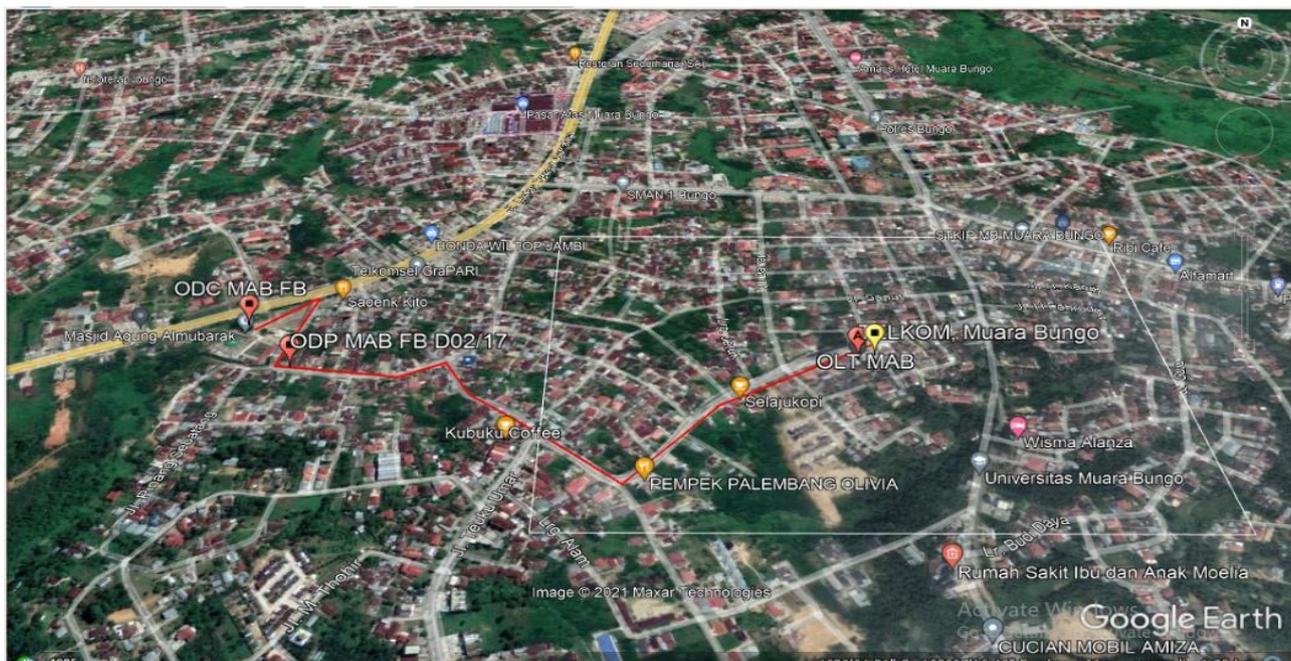
FTTH adalah struktur jaringan akses fiber optik yang memungkinkan transmisi langsung sinyal optik dari kantor pusat (Central Office/CO) ke rumah pelanggan [5]. Jenis konfigurasi jaringan fiber optik ini menggunakan standar ITU-T G.984 untuk mengirimkan sinyal dari ISP ke pelanggan[6]. Pengaturan jaringan FTTH mencakup berbagai elemen dan area operasi, salah satunya perangkat aktif seperti *Optical Line Terminal* (OLT) dan *Optical Network Terminal* (ONT) [5],[7].

FTTH saat ini menggunakan teknologi GPON sebagai teknologi utama sistem jaringannya[8]. Adapun evaluasi kelayakan akses jaringan FTTH berbasis GPON dipastikan dengan memeriksa parameter kinerja jaringan seperti *link power budget*, *rise time budget*, *signal-to-noise ratio* (SNR), dan *bit error rate* (BER) [9].

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan mengevaluasi kinerja jaringan FTTH dengan teknologi GPON di Desa Bungo Timur, Kecamatan Muara Bungo, Kabupaten Bungo, Propinsi Jambi, berdasarkan parameter yang telah ditetapkan. Perencanaan jaringan dilakukan melalui pemanfaatan perangkat lunak *Google Earth*, dan untuk evaluasi dan simulasi menggunakan software *OptiSystem*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Bungo Timur, Kecamatan Muara Bungo, Kabupaten Bungo, Propinsi Jambi. Dapat dilihat pada Gambar 1, lokasi jaringan FTTH terletak pada posisi dimana perangkat berada, yaitu di Desa Bungo Timur.



Gambar 1. Denah Lokasi Jaringan FTTH

Penelitian ini diawali dengan identifikasi wilayah pengukuran dan mengirimkan surat izin untuk melakukan penelitian di PT. Telkom Muaro Bungo. Setelah itu, dilakukan survei dan pengumpulan data real di lapangan pada pelanggan. Adapun data pengukuran yang diperlukan untuk desain adalah area OLT menuju ONT. Selanjutnya, pengukuran dilakukan untuk masing-masing perangkat. Kemudian dilakukan simulasi hasil rancangan jaringan FTTH dengan *OptiSystem* yang dimulai dari sentral sampai ke pelanggan berdasarkan data lapangan.

Selanjutnya, perhitungan dilakukan dengan menggunakan *power link budget* yang dapat dihitung dengan persamaan (1) dan (2). Redaman total dalam dB direpresentasikan dengan α_{tot} , panjang fiber optik dalam kilometer = L, redaman kabel fiber optik dalam satuan dB/km = α_{fiber} , jumlah konektor yang digunakan = N_c , redaman konektor dalam dB/buah = α_c , jumlah sambungan yang digunakan = N_s , redaman sambungan dalam dB = α_s , jumlah pembagi = N_{sp} , pelemahan pembagi dalam dB = α_{sp} , daya terima dalam dBm = P_{rx} , dan daya keluaran pemancar optik dalam dBm = P_{tx} [3].

$$\alpha_{tot} = L \cdot \alpha_{fiber} + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + N_{sp} \cdot \alpha_{sp}, \quad (1)$$

$$P_{rx} = P_{tx} - \alpha_{tot}. \quad (2)$$

Selain itu, dilakukan juga perhitungan nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang didapatkan dari perbandingan daya sinyal terhadap daya *noise* di titik yang sama sesuai dengan ketentuan pada standar SNR, yaitu minimum 21.5 dBm. SNR dihitung menggunakan persamaan (3), dimana SNR dalam dB; P_{rx} adalah daya terima dalam W; dan PN adalah kekuatan *noise* dalam W.

$$SNR = 10 \log (P_{rx}/PN) \quad (3)$$

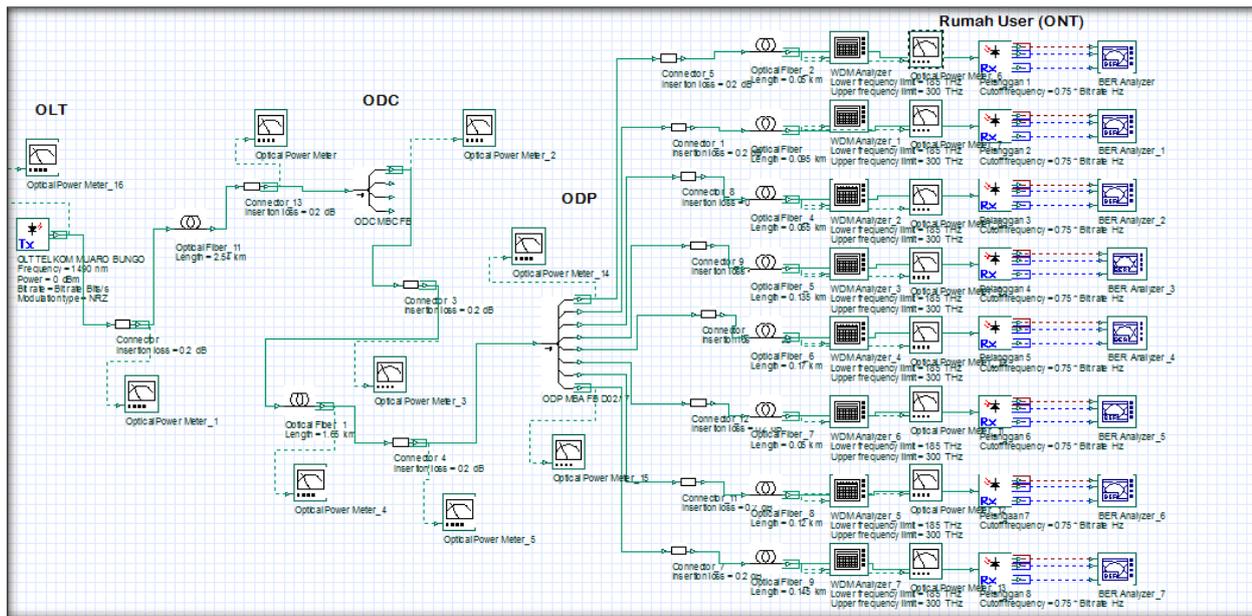
Pada penelitian ini, dilakukan juga perhitungan nilai *Bit Error Rate* (BER) dan Q-Factor. Dalam konteks jaringan komunikasi fiber optik, batas BER yang ditentukan adalah di bawah 10^{-9} , menyiratkan bahwa dari setiap 10^9 bit yang ditransmisikan, hanya satu bit yang salah. Nilai BER dapat ditentukan dengan menerapkan persamaan (4), yang mana jumlah *bit error* = NE dan jumlah bit yang ditransmisikan = NT. Nilai BER harus ditekan sekecil mungkin hingga nilai 0 supaya data yang ditransmisikan dapat diterima dengan baik, sedangkan parameter Q-Factor merupakan faktor kualitas yang menentukan baik tidaknya kualitas suatu jaringan.

$$BER = \frac{NE}{NT} \quad (4)$$

Kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisa terhadap semua data yang didapatkan baik data di lapangan maupun data dari hasil simulasi *OptiSystem*. Hingga akhirnya seluruh hasil data yang diperoleh disimpulkan sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun instrumen yang digunakan pada penelitian ini adalah laptop, *Optical Power Meter* (OPM), *patch core*, software *OptiSystem* dan *Google Earth*. Jaringan yang dibangun menggunakan *OptiSystem* adalah jaringan *Downlink/Downstream* FTTH dengan memanfaatkan teknologi GPON dengan menggunakan fiber optik sebagai media transmisinya. Distribusi informasi dimulai dari *Optical Distribution Point* (ODP) hingga ke pelanggan, dimana akan ada *source light* pada sisi pengirim yang berperan sebagai *Optical Line Termination* (OLT) yang akan menjadi sumber informasi berupa cahaya, dan juga *receiver* pada sisi pelanggan, dimana *receiver* akan menerima sinyal yang telah disalurkan oleh *source light* melalui jaringan kabel optik yang telah di instalasi ke ODP. Kabel fiber optik ini berfungsi untuk mendistribusikan sinyal dari pengirim ke banyak pengguna dengan menggunakan *Passive Splitter* 1:8 yang umum digunakan di ODP pada jaringan FTTH [10].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan FTTH di Desa Bungo Timur pada penelitian ini menggunakan *software* aplikasi *OptiSystem*. Untuk melihat performansi jaringan FTTH dalam perancangannya menggunakan parameter yang diterapkan dalam pembangunan FTTH pada keadaan sebenarnya. Pengukuran di lapangan dilakukan dengan mengukur redaman total menggunakan *power meter* dan dihitung menggunakan *power link budget* sehingga hasil yang didapat akan menjadi acuan dalam menilai performansi suatu jaringan FTTH. Hasil rancangan *OptiSystem* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan *OptiSystem*

Daya keluaran OLT

Pada jaringan FTTH, perangkat *transmitter* merupakan perangkat utama dan titik awal dalam arsitektur[11], yang berfungsi merubah sinyal listrik menjadi cahaya. Pada perancangan ini dilakukan 3 kali percobaan dengan input daya yang berbeda-beda yaitu 2 dBm, 4 dBm, dan 5 dBm. Hasil keluaran dari *transmitter* dengan daya kirim 0dBm atau 1mW adalah sebesar -2.652dBm atau 0.546 mW redaman yang dihasilkan sebesar 2.628 dBm, pada saat daya input 3 dBm atau 1.995 mW daya keluarannya sebesar 0.348 dBm atau 1.0834 mW redaman yang dihasilkan sebesar 2.625 dBm, sedangkan pada saat daya input 5 dBm atau 3.162 mW daya keluaran yang dihasilkan 2.347 dBm atau 1.716 mW redaman yang dihasilkan sebesar 2.652 dBm. Dapat dilihat terjadi ketidaksamaan dengan daya pengirim yang kita atur dengan daya yang keluar setelah diukur, hal ini terjadi karena transmitter disambungkan dengan sistem jaringan dan memancarkan cahaya pertama kali sudah terjadi redaman yang disebabkan oleh perbedaan indeks bias, jenis pembangkit/sumber cahaya yang digunakan, dan juga lebar spektrum cahaya pada *transmitter*. Semakin kecil lebar spektrum, semakin tajam dan kuat cahaya, sehingga mengecilkan redaman yang mungkin terjadi.

Masukan dan keluaran ODC

Pada perancangan FTTH, terdapat perangkat *Optical Distribution Cabinet (ODC)* yang digunakan untuk distribusi sentral yang melayani suatu daerah dengan cakupan yang besar. Nilai masukan dan keluaran ODC didapatkan berdasarkan konsep distribusi pada teknologi GPON, berdasarkan kualitas setiap sinyal ditransmisi dan dipecah oleh *Passive Splitter*. Pengukuran masukan dan keluaran ODC ini dilakukan sebanyak 3 kali percobaan dengan input daya berbeda, yaitu percobaan pertama 0 dBm, kedua 3 dBm, dan ketiga 5 dBm. Pada perancangan jaringan FTTH di lapangan, input daya yang digunakan adalah 3 dBm. Daya masukan pada ODC dipengaruhi oleh total redaman komponen yang berada antara OLT menuju ODC, untuk daya 0 dBm atau 0.546 mW daya masuk ke ODC -3.560 dBm atau 0.4405 Mw.

Masukan dan Keluaran ODP

Pada perancangan FTTH, terdapat perangkat ODP yang digunakan untuk membagi informasi yang telah dibagi oleh ODC menuju ke sisi pelanggan, yang mana dalam ODP terdapat *splitter* yang memungkinkan satu ODP melayani beberapa pelanggan [12],[13]. Pada perancangan jaringan FTTH, nilai masukan dan nilai keluaran ODP adalah pada daya 0 dBm. Daya masukan pada ODP dipengaruhi

oleh total redaman komponen yang berada diantara ODC menuju ODP. Nilai daya masuk dan keluar pada saat input 0 dBm, nilai redaman yang dihasilkan 10.56 dBm.

Nilai redaman yang dihasilkan dipengaruhi oleh *loss* yang diberikan pada *splitter*, *loss connector*, dan jumlah *connector* yang digunakan. Nilai *loss* semakin besar digunakan pada *splitter* maka nilai redaman yang timbul semakin besar. Pada ODP menggunakan *splitter* 1:8 yang dapat didistribusikan kepada 8 pelanggan, untuk standar redaman yang diperbolehkan 8.8 dB sampai 11.0 dB. Dari daya masuk dan keluar diperoleh nilai redaman sebesar -10.56 dBm, redaman yang didapat sudah tergolong baik karena dibawah nilai standar maksimum redaman *passive splitter* 1:8.

Daya terima pelanggan

Pada perancangan FTTH, daya yang diterima pelanggan digunakan untuk melihat performansi yang dihasilkan dari sebuah jaringan. Pengukuran dilakukan pada ONT yang berada dirumah pelanggan. ONT berfungsi mengubah sinyal cahaya kembali menjadi sinyal listrik, dan sebagai titik akhir dari informasi yang dikirim ke *provider*. Daya yang masuk pada ONT dipengaruhi oleh total redaman komponen yang berada diantara ODP dan ONT. Dari data pengukuran didapatkan daya input 0 dBm pada pelanggan dengan jarak paling jauh, yaitu 0.17 km, didapatkan hasil daya yang diterima sebesar -22.310 dBm atau setara dengan 0,0058 mW. Hasil ini sesuai dengan hasil pengukuran *OptiSystem* pada pelanggan dimana daya terima terdekat diperoleh -22,262 dBm atau 0,0059 mW. Pada input 3 dBm, pelanggan dengan daya terima jarak terdekat adalah -19.262 dBm atau 0.0118 mW dan daya terima terjauh -19.310 dBm atau 0.0117 mW. Sedangkan pada daya input 5 dBm pelanggan dengan daya terima jarak terdekat adalah -17.262 dBm atau 0,0187 Mw dan dengan daya terima pelanggan terjauh sebesar -17.310 dB atau 0,0185 mW.

Perbandingan Data Pengukuran pada Simulasi dengan Data Pengukuran Lapangan

Hasil perbandingan data pengukuran pada penelitian ini ditemukan terdapat perbedaan. Pada daya keluaran *transmitter* di simulasi adalah sebesar 0.348 dBm, sedangkan pada pengukuran lapangan daya keluarannya sebesar 0.435 dBm. Perbedaan hasil ini disebabkan oleh perbedaan kondisi antara simulasi dengan keadaan lapangan, seperti halnya spesifikasi material yang digunakan pada perangkat. Pada pengukuran lapangan juga tidak bisa dilakukan pengukuran secara mendetail. Oleh sebab itu, keluaran daya pada *transmitter* bernilai sama dengan daya input untuk ODC. Pengukuran seharusnya dilakukan pada *port* perangkat yang digunakan seperti halnya *port* pada ODC ataupun OLT. Namun kondisi ini tidak dapat dilakukan, karena apabila konektor *port* yang menyalurkan ke pengguna tersebut dilepas dan dihubungkan dengan alat ukur maka pengguna yang tersalur tidak dapat menggunakan koneksi jaringan. Sehingga untuk perolehan data lapangan menggunakan pengukuran langsung pada *port* yang masih kosong atau belum digunakan untuk menyalurkan layanan ke pengguna. Kondisi saat pengukuran di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kondisi Saat Pengukuran di Lapangan

Pada penelitian ini didapatkan hasil data pengukuran redaman *Passive Splitter* 1:4 adalah 7.328 dB dan *Passive Splitter* 1:8 adalah 10.969 dB. Adapun nilai yang diperoleh tidak signifikan karena redaman *passive splitter* pada simulasi masih dalam jangkauan yang sama dengan nilai pengukuran lapangan dan masih memenuhi standar batas maksimum yang ditetapkan.

Margin daya

Margin daya dapat dilihat dari perhitungan *link power budget*, yaitu daya terima minimum yang diizinkan dari sistem komunikasi serat optik [14]. Kriteria ini memperhitungkan faktor redaman total dalam tautan serat optik antara sumber cahaya dan foto detektor. *Link Power Budget*, seperti yang ditentukan oleh standar ITU-T G.984, ditetapkan pada 25 dBm [15], memastikan operasi jaringan FTTH tanpa gangguan. Margin daya merupakan daya yang tersisa pada hasil transmisi parameter yang didapat dari perhitungan *link power budget*. Terlihat daya masuk 0 dBm pada pelanggan dengan jarak terdekat didapat nilai margin daya sebesar 1,4 dBm dan dengan jarak terjauh sebesar 1.376 dBm. Pada saat daya input 3 dBm, margin daya pelanggan dengan jarak terdekat sebesar 4.4 dBm dan dengan jarak terjauh sebesar 4.376 dBm. Sedangkan pada daya input 5 dBm, margin daya pelanggan dengan jarak terdekat sebesar 6.4 dBm dan dengan jarak terjauh sebesar 6.376 dBm.

SNR (*Signal to Noise Ratio*)

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan proporsi kekuatan sinyal yang diinginkan terhadap daya *noise* yang tidak diinginkan dalam sistem komunikasi digital dan dilambangkan dalam desibel (dB) [16]. Pada saat input 0 dBm, yang mana pada pelanggan dengan jarak terdekat didapatkan nilai SNR sebesar 50.053279 dB, dan pelanggan dengan jarak terjauh sebesar 50.053277 dB. Pada saat input 3 dBm, pelanggan dengan jarak terdekat didapat nilai SNR sebesar 50.054993 dB, dan pelanggan dengan jarak terjauh nilai SNR sebesar 50.054988 dB. Sedangkan nilai daya masukan *transmitter* sebesar 5 dBm, pelanggan dengan jarak terdekat didapat nilai SNR sebesar 50.050217 dBm, dan pelanggan dengan jarak terjauh nilai SNR sebesar 50.050209 dBm. Dari keseluruhan nilai SNR yang didapatkan dari rancangan jaringan tergolong sangat bagus sehingga daya *noise* masih dapat teratasi dengan besarnya daya sinyal yang ada.

BER dan Q-Factor

Untuk menentukan nilai kecatatan dan kegagalan dalam proses pengiriman data informasi dapat menggunakan parameter *Bit Error Rate* (BER) dan Q-Factor. BER merupakan laju kesalahan bit yang mengalami *error* ketika proses pengiriman sejumlah bit data dalam satuan waktu (s) pada satu periode dengan menggunakan sistem jaringan [17]. Hasil pengukuran dari simulasi dengan daya masukan pada *transmitter* sebesar 0 dBm, dapat dilihat bahwa nilai BER dengan nilai Q-Factor adalah berbanding terbalik, dari nilai BER tertinggi diperoleh nilai Q-Factor terendah begitu pula saat nilai BER pada titik terendah diperoleh nilai Q-Factor tertinggi, untuk daya masukan 3 dBm, tetapi nilai yang diperoleh pada BER lebih kecil dari saat saya masukan 0 dBm, dan Q-Factor lebih besar dari daya masukan 0 dBm, dan untuk daya masukan *transmitter* sebesar 5 dBm memperoleh nilai BER yang paling baik dan tidak ditemukan bit eror karena BER yang diperoleh adalah sebesar 0 dan nilai Q-Factor yang semakin tinggi dibandingkan dengan daya masukan yang sebelumnya. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi daya masukan yang diberikan pada *transmitter* maka nilai *Bit Error Rate* semakin kecil, dan nilai Q-Factor semakin besar, dari hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa nilai parameter yang terukur memenuhi standar perancangan FTTH dimana nilai BER maksimum adalah 10^{-9} dan Q-Factor minimal 6.

Rise Time Budget

Rise Time Budget, atau yang disebut sebagai alokasi waktu naik, merupakan parameter yang digunakan dalam menentukan batasan nilai *disperse* suatu lintasan yang mempengaruhi *bandwidth* pada jaringan fiber optik [18]. Untuk memenuhinya, keseluruhan penurunan waktu transisi untuk koneksi digital tidak lebih 70 persen dari durasi bit *Non-Return-to-Zero* (NRZ) dan 35 persen untuk informasi *Return-to-Zero* (RZ), di mana durasi 1-bit didefinisikan sebagai kebalikan dari kecepatan data.

Rise Time dari pemancar dan penerima umumnya diketahui oleh *link design*, berdasarkan kecepatan di mana sumber cahaya merespons arus penggerak listrik [19],[20]. Pada penelitian ini didapatkan nilai *rise time* 0.029 ns, nilai *Tsystem* yang didapat memenuhi standar dari nilai yang ditetapkan dari perhitungan yaitu sebesar 0.29 ns, sehingga nilai *rise time* yang diperoleh dapat digunakan untuk melayani pelanggan.

KESIMPULAN

Nilai kinerja jaringan FTTH dapat dilihat dari parameter *power link budget*, *rise time budget*, dan *signal to noise ratio*, serta *bit error rate*. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai *rise time budget* 0.0050438404 hingga 0.00527393627 ns, nilai ini sudah memenuhi nilai standar tidak melebihi 0.219 ns. Nilai *Bit Error Rate* dari hasil simulasi didapat 2.71856×10^{-49} dan 2.27036×10^{-65} , nilai ini memenuhi standar dimana tidak melebihi 10^{-9} . Nilai SNR 50,053279 dB sampai 50,050211 dB, nilai ini memenuhi ketentuan SNR minimal 21,5 dB. Hasil pengukuran dengan *OptiSystem* dibandingkan dengan pengukuran lapangan terdapat perbedaan nilai atenuasi. Untuk daya input 3 dBm pengukuran *OptiSystem* untuk pelanggan pada jarak paling jauh didapatkan daya terima -19,31 dBm, dan nilai hasil pengukuran lapangan pada pelanggan untuk jarak paling jauh didapat nilai daya terima -19,642 dBm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. A. Prianggita and M. Meliyawati, "Peran Media Pembelajaran Berbasis Teknologi Informasi Dan Komunikasi Di Era Pandemi Covid-19," *Aksara J. Ilmu Pendidik. Nonform.*, vol. 8, no. 1, p. 147, 2022, doi: 10.37905/aksara.8.1.147-154.2022.
- [2] G. Aceto, V. Persico, and A. Pescapé, "A Survey on Information and Communication Technologies for Industry 4.0: State-of-the-Art, Taxonomies, Perspectives, and Challenges," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 21, no. 4, pp. 3467–3501, 2019, doi: 10.1109/COMST.2019.2938259.
- [3] 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," vol. 8, no. 1, pp. 36–42, 2023.
- [4] M. Z. Chowdhury, M. T. Hossan, A. Islam, and Y. M. Jang, "A Comparative Survey of Optical Wireless Technologies: Architectures and Applications," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 9819–9840, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2792419.
- [5] S. Aulia, S. Fitri, and A. A. Asril, "Perancangan Dan Pengukuran Performansi Jaringan Fiber To the Home Dengan Teknologi Gigabit Passive Optical Network Menggunakan Aplikasi Optisystem Di Kelurahan Surau Gadang," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 11, no. 2, pp. 22–27, 2021, doi: 10.33369/jamplifier.v11i2.19079.
- [6] I. Krisnadi, "Analisa Benchmark design jaringan FTTH Operator A dibandingkan dengan design Operator X dan Operator Y Analisa Benchmark design jaringan FTTH Operator A dibandingkan dengan design Operator X dan Operator Y".
- [7] Z. Abdellaoui, Y. Dieudonne, and A. Aleya, "Design, implementation and evaluation of a Fiber To The Home (FTTH) access network based on a Giga Passive Optical Network GPON," *Array*, vol. 10, no. February, p. 100058, 2021, doi: 10.1016/j.array.2021.100058.
- [8] N. R. Putri, C. Apriono, and Y. Natali, "Increasing Residential Capacity in Gigabit-capable Passive Optical Network using High Splitting Ratio," *2020 3rd Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICOIACT 2020*, pp. 504–508, 2020, doi: 10.1109/ICOIACT50329.2020.9332009.
- [9] R. Tjut Adek, Z. Yunizar, D. T. P. Maha, and F. Fajriana, "Perancangan Desain Jaringan Fiber Optik Dengan Teknologi Gigabit Passive Optical Network Di Universitas Malikussaleh," *J. SAINTEKOM*, vol. 12, no. 2, pp. 168–175, 2022, doi: 10.33020/saintekom.v12i2.305.
- [10] M. Nurwahidah, "Analisis Jarak Jangkauan Jaringan Fiber To The Home (Ftth) dengan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) Berdasarkan Link Power Budget," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, no. September, pp. 203–207, 2021.
- [11] P. Muliandhi, E. H. Faradiba, and B. A. Nugroho, "Analisa Konfigurasi Jaringan FTTH dengan Perangkat OLT Mini untuk Layanan Indihome di PT. Telkom Akses Witel Semarang," *Elektrika*, vol. 12, no. 1, p. 7, 2020, doi: 10.26623/elektrika.v12i1.1977.
- [12] G. D. Hantoro, P. S. Priambodo, and G. Wibisono, "Analysis of Gpon Capacity By Hybrid Splitting-Ratio Base on Customer Segmentation for Indonesian Market During the Covid-19 Pandemic," *EUREKA, Phys. Eng.*, vol. 2022, no. 4, pp. 152–169, 2022, doi: 10.21303/2461-4262.2022.002054.

-
- [13] F. H. Kusumaputri, N. A. Ilmatus Sakdiyah, M. I. Riswandi, M. Ridwan, and C. Apriono, "Fiber to the Home Access Networks Housing Design in A West Semarang sub-district," *2021 8th Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. ICITACEE 2021*, pp. 195–200, 2021, doi: 10.1109/ICITACEE53184.2021.9617511.
- [14] D. Birley and A. Dufton, "Research and innovation," *An Equal Chance*, pp. 154–165, 2018, doi: 10.4324/9781315407982-10.
- [15] W. Awalia and A. B. Pantjawati, "Performance Simulation of Fiber to the Home (FTTH) Devices Based on Optisystem," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 384, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/384/1/012051.
- [16] V. U. Rani, J. J. T. Selvi, K. Ramar, and H. Shanmugasundaram, "A Hybrid MFWT Technique for Denoising Audio Signals," *Proc. - 2022 2nd Int. Conf. Innov. Sustain. Comput. Technol. CISCT 2022*, pp. 1–6, 2022, doi: 10.1109/CISCT55310.2022.10046509.
- [17] J. M. Hamamreh, A. Hajar, and M. Abewa, "Orthogonal frequency division multiplexing with subcarrier power modulation for doubling the spectral efficiency of 6G and beyond networks," *Trans. Emerg. Telecommun. Technol.*, vol. 31, no. 4, pp. 1–18, 2020, doi: 10.1002/ett.3921.
- [18] M. A. K. Adhi *et al.*, "Design of Fiber to the Home (FTTH) for Urban Housing of Griya Mukti Residence," *Proc. - IEIT 2021 1st Int. Conf. Electr. Inf. Technol.*, pp. 257–262, 2021, doi: 10.1109/IEIT53149.2021.9587339.
- [19] J. Palais, *Fiber Optic Communications Systems*. 2002. doi: 10.1201/9781420041163-49.
- [20] J. Satria Effendi and M. Irfan Maulana, "Analisis Migrasi Media Transmisi Radio Ke Fiber Optik Di Jaringan Backhaul Bts Perum Manglayang," *Maret*, vol. 5, no. 1, p. 189, 2018.