

ANALISIS MIGRASI MEDIA TRANSMISI RADIO KE FIBER OPTIK DI JARINGAN BACKHAUL BTS PERUM MANGLAYANG

*ANALYSIS OF RADIO TRANSMISSION MEDIUM MIGRATION TO FIBER OPTIC ON BACKHAUL
NETWORK AT BTS PERUM MANGLAYANG*

Jodie Satria Effendi¹, Sugito², M. Irfan Maulana³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹Jodie.satriaeffendi@gmail.com, ²sugito@telkomuniversity.ac.id,

³muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Untuk meningkatkan performansi dalam melayani dan memenuhi pelanggan, PT.Telkomsel melakukan penggantian media transmisi. Dengan mengganti media microwave link ke jaringan akses FO melalui proyek Fiber modernization (FIMO) yang bekerja sama dengan PT.Telkom Dalam tugas akhir ini, dilakukan penelitian mengenai peningkatan packet loss pada BTS milik PT.Telkomsel. penentuan lokasi dilakukan pada site Perum Manglayang. Hasil analisa untuk data payload downlink setelah dilakukan FIMO naik menjadi 101.79 Gbps untuk 3G dan 197.46 untuk 4G, kemudian disisi uplink 14.41 Gbps untuk 3G dan 14.78 Gbps untuk 4G. Hasil analisa data throughput downlink setelah dilakukan FIMO naik menjadi 1848.56 Kbps untuk 3G dan 13.76 Mbps untuk 4G, pada disisi uplink 63.25 Kbps untuk 3G dan 1.72 Mbps untuk 4G. penurunan nilai rata-rata delay dalam pengiriman packet data sebesar 1.75 ms. Untuk nilai packet loss menurun hingga 0 atau tidak ada data yang hilang. Analisa perangkat dari hasil pengukuran kemampuan pengiriman jumlah packet pada perangkat sebesar 8000 packet untuk 3G dan 4G.

Kata Kunci : Fiber To The Tower (FTTT), Fiber moderenization (FIMO), packet loss.

Abstract

For improving service for containing customers needs through effective performance, Telkomsel Corporate making change the transmission media from microwave link to FO access network over with project modernization fiber (FIMO) that works with Telkom Corp. In this final assignment, the author conducted a research to relate about upgrading packet loss of Telkomsel Corporate's BTS in Perum Manglayang. The result of analysis for payload downlink data after FIMO increased to 101.79 Gbps in 3G and 197.46 Gbps in 4G. In the other side of uplink increased to 14.41 Gbps in 3G and 14.78 Gbps in 4G. The result of throughput downlink data after FIMO increased to 1848.56 Kbps in 3G and 13.76 Mbps in 4G. In the other side of uplink increased to 63.25 Kbps in 3G and 1.72 Mbps in 4G. decrease the average value of delay in the data packet delivery size is 1.75 ms. Whereas, value of packet loss decreased to 0% or in the other hand no packet loss will be dropped. The device analysis of the delivery capability measurement result of the number of packet in a device size is 8000 packet in 3G and 4G.

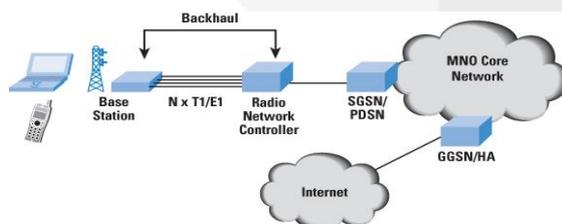
Keywords: Fiber To The Tower (FTTT), Fiber moderenization (FIMO), packet loss.

1.PENDAHULUAN

Kenyamanan dalam memakai jasa telekomunikasi adalah tantangan tersendiri untuk penyedia layanan yaitu operator. Tidak sedikit komplain dari pengguna jasa telekomunikasi seperti sering terjadi kegagalan dalam melakukan panggilan atau dalam pengiriman data. Untuk menangani permasalahan tersebut operator telekomunikasi melakukan identifikasi permasalahan, baik dari segi *QoS* dan juga dari segi media *transport* yang digunakan. *Packet loss* didefinisikan sebagai kegagalan transmisi paket data mencapai tujuan. Kegagalan paket data tersebut disebabkan oleh beberapa kemungkinan yang terjadi, Antara lain terjadi nya *overload traffic* dalam jaringan yang berdampak pada kapasitas yang tersedia, terjadi nya *congestion* dimana kongesti adalah perlambatan yang terjadi pada jalur paket-paket data..Penyebab terjadinya kongesti salah satunya *bandwidth* yang kecil dan berdampak tidak seimbang dengan banyak lalu lintas data yang terjadi sehingga mengakibatkan *overload*. Dalam tugas akhir ini, dilakukan penelitian mengenai peningkatan *packet loss* pada BTS milik PT.Telkomsel. penentuan lokasi dilakukan pada site Perum Manglayang. Penelitian dilakukan berdasarkan data sebelum dan sesudah FIMO dan Parameter yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain *link power budget (LPB)*, *rise time budget (RTB)* dan *bit error rate (BER)* berdasarkan hasil simulasi. Dalam penelitian yang akan dilakukan ini dengan di simulasikan menggunakan software simulasi optik untuk mempermudah dalam proses analisa data.

2.JARINGAN BACKHAUL

2.1 Backhaul

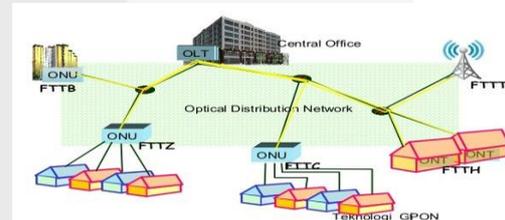


Gambar 1 jaringan *backhaul*

Pengertian *backhaul* secara umum adalah suatu jalur / jaringan yang digunakan untuk menyalurkan data maupun informasi dari *source point* ke *destination point*. Dalam penyaluran data informasi, *source point* akan melakukan *handover* data dengan jaringan *backhaul*, kemudian jaringan *backhaul* tersebut akan membawa informasi data tersebut menuju *destination source* yang melakukan serah terima data pada *handover point* antara jaringan *backhaul* dengan *destination point*. Dalam hal ini implementasi *backhaul* yang dimaksud adalah mengacu pada jaringan yang menghubungkan antara *NODE-B* base transceiver station dengan jaringan base station Controller (BSC).

2.2Gigabit Passive Optical Network (GPON) [3]

GPON merupakan evolusi dari teknologi PON. GPON adalah salah satu teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T via G.984 . ITU-T G.984 merupakan standar yang dikeluarkan oleh ITU-T untuk teknologi *Gigabit Passive Optical Network (GPON)*. GPON merupakan evolusi dari strandar BPON. Teknologi ini mendukung kecepatan yang besar, peningkatan dalam pengamanan dan pilihan 2 layer *protocol* (ATM,GEM,Ethernet). Tetapi pada kenyataannya ATM tidak diimplementasikan. Teknologi ini memiliki *bandwidth* 2.5 Gbps dengan efisiensi 93% *GPON Encapsulated Method (GEM)* merupakan *frame segmentation* untuk *QoS (Quality of Service)* yang lebih besar. Standar teknologi ini memeperbolehkan beberapa pilihan kecepatan, tetapi untuk 5 industri segaram 2,488 Mbps untk *downstream* dan 1,244 untuk *upstream*.



Gambar 2 Arsitektur GPON

Tabel 1 karakteristik Teknologi GPON [3]

Parameter	Spesifikasi	Unit
Downstream Rate	2.488	Gbps
Upstream Rate	1.244	Gbps
Downlink Wavelength	1490	Nm
Uplink Wavelength	1310	Nm
Video Wavelength	1550	Nm
Max Transmission Distance	20	Km
Power Consumption	≤ 16	Watt
Sensitivity	-29	dBm
Optical Rise Time	200	Ps
Optical Fall Time	200	Ps
Max Work Temperature	45	°C
Min Work Temperature	-5	°C

2.3 Parameter Kelayakan [3]

2.3.1 Link Power Budget [3]

Link power budget dihitung sebagai syarat agar link yang dirancang dayanya melebihi batas ambang dari daya yang dibutuhkan. Untuk mengetahui link power budget perancangan yang dibutuhkan dapat diperoleh dengan menghitung besar daya yang dibutuhkan lalu membandingkannya dengan sensitivitas daya di penerima. Daya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan bentuk persamaan untuk perhitungan redaman total pada link power budget yaitu [3].

$$at_{tot} = L. a_{serat} + N_c. a_c + N_s. a_s + S_p \quad (2.1)$$

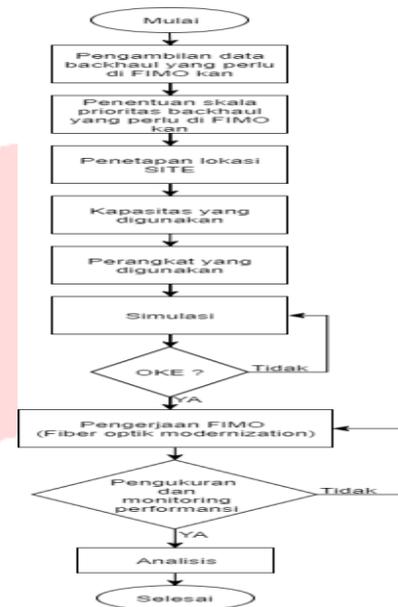
2.3.2 Rise Time Budget [3]

Rise time budget merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi suatu link serat optik. Metode ini sangat berguna untuk menganalisis sistem transmisi digital. Tujuan dari metode ini adalah untuk menganalisis apakah unjuk kerja jaringan secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi kapasitas kanal yang diinginkan. Umumnya degradasi total waktu transisi dari link digital tidak melebihi 70 persen dari satu period bit NRZ (Non-Return-to-Zero) atau 35 persen dari satu periode bit untuk data RZ (Return-to-Zero). Rise time budget dapat dihitung dengan rumus: [3]

$$t_{total} = (t_{tx}^2 + t_{intermodal}^2 + t_{intermodal}^2 + t_{rx}^2)^{1/2} \quad (2.2)$$

3. PENGUMPULAN DATA MEDIA TRANSMISI

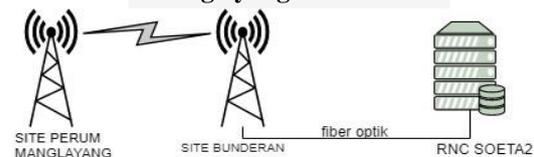
3.1 Sistematika Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada gambar 3.1 sistematika penelitian terdapat enam tahap yaitu pengambilan data dan penentuan skala prioritas backhaul yang perlu di FIMO kan, penentuan lokasi site, kapasitas dan perangkat yang digunakan, simulasi, pengerjaan site yang di FIMO kan, pengukuran dan monitoring performansi serta analisis.

3.2 Konfigurasi Jaringan Backhaul Eksisting Site Perum Manglayang



Gambar 3.2 Jaringan site Perum Manglayang

Gambar diatas adalah konfigurasi jalur komunikasi dari source menuju central. Pada gambar diatas komunikasi yang terimplementasi antara site Perum Manlayang sebagai near end dan site Bunderan Cibiru sebagai far end, pada jaringan eksisting ini komunikasi dilakukan menggunakan media transmisi gelombang elektromagnetik dengan memanfaatkan media udara dalam mentransmisikan informasi yang dikirimkan dengan bantuan perangkat antenna microwave/radio. Pada site Perum Manglayang dan Bunderan Cibiru ini perangkat yang digunakan adalah tipe ALCplus2 yang dibuat oleh perusahaan

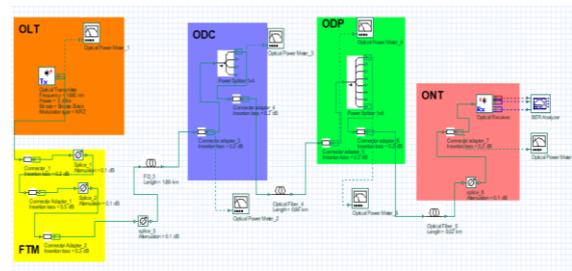
Seluruh elemen perangkat yang digunakan dalam simulasi disesuaikan dengan spesifikasi perangkat asli dari PT.Telkom.

- OLT sebagai transmitter (Tx) dengan daya senilai 3 dBm untuk downlink kearah pelanggan. OLT sebagai transmitter (Tx) uplink memiliki sensitivitas sebesar -28 dBm.
- ONT sebagai receiver (Rx) downlink memiliki sensitivitas -28 dBm, ONT sebagai receiver (Rx) uplink dengan sensitivitas -28 dBm.
- Fiber Optik sebagai serat optic single mode G.525.D dan G657 dengan spesifikasi seperti yang telah dijabarkan pada tabel 3.18 dan 3.19.
- Konektor dengan rata-rata satu konektor memiliki redaman 0,2 dB.
- Sambungan dengan kisaran tiap sabungan sebesar 0,1 dB.
- Passive splitter 1:4 dengan redaman 7.25 dB dan passive splitter 1:8 dengan redaman sebesar 10.38 dB.

4.1.1 Konfigurasi Simulasi Downlink

pada simulasi downlink maka yang harus pertama kali dilakukan adalah mengatur parameter layout dengan dengan bitrate 2.488 Gbps dan sensitivitas -28dBm.

- Atur OLT dengan panjang gelombang 1490 nm, power sebesar 3 dBm, bit rate 2,488 Gbps, pengkodean NRZ, rise time 150 ps dan fall time 150 ps.
- Panjang koneksi kabel diatur sesuai dengan jarak pantauan lapangan dengan redaman kabel sebesar 0,24 dB/km.
- Konektor sebanyak 8 buah dengan loss masing-masing 0.2 dB.
- Splitter 1:4 dengan loss sebesar 7.25 dB dan splitter 1:8 dengan loss sebesar 10.38 dB.
- Fiber Optik dari OLT sampai ODC sepanjang 1,88 km, dari ODC ke ODP sepanjang 0.84 km dan dari ODP ke ONT sepanjang 0.02 km dengan redaman masing-masing sebesar 0.24 dB.



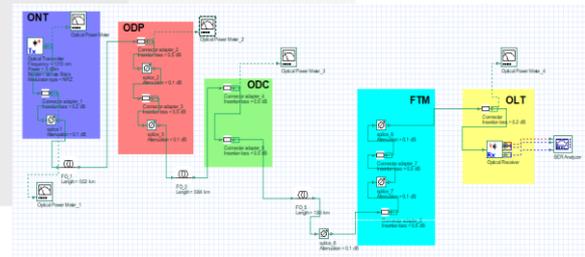
Gambar 4.1 Konfigurasi *Downlink*

Berdasarkan hasil perancangan tersebut didapatkan nilai Bit Error Rate (BER) adalah $1,30663542 \times 10^{-88}$, nilai tersebut lebih kecil dari nilai BER ideal transmisi serat optik yaitu 10^{-9} dan daya yang terukur diterima pada *Optical Power Meter* (OPM) adalah sebesar -19,161 dBm.

4.1.2 Konfigurasi Simulasi Uplink

Pada simulasi Uplink maka yang pertama harus dilakukan adalah mengatur layout dengan nominal bit-rate 1,244 Gbps, dan sensitivitas -28 dBm. Kemudian parameter yang harus disiapkan adalah :

- Mengatur OLT dengan panjang gelombang 1310 nm, power sebesar 3 dBm, bit rate 1,244 Gbps, pengkodean NRZ, rise time 150 ps dan fall time 150 ps.
- Panjang koneksi kabel diatur sesuai dengan jarak pantauan lapangan dengan redaman kabel sebesar 0,35 dB/km.
- Splitter 1:4 dengan loss sebesar 7,25 dB dan splitter 1:8 dengan loss sebesar 10,38 dB.
- Konektor sebanyak 7 buah dengan redaman masing-masing 0,2 dB.
- Fiber Optik dari OLT sampai ODC sepanjang 1,88 km, dari ODC ke ODP sepanjang 0,84 km dan dari ODP ke ONT sejauh 0,02 km dengan redaman masing-masing sebesar 0,24 dB.



Gambar 4.3 konfigurasi *Uplink*

Berdasarkan hasil simulasi tersebut didapatkan nilai *Bit Error Rate* (BER) adalah 0, nilai tersebut lebih kecil dari nilai BER ideal serat optik yaitu 10^{-9} dan daya yang terukur dipenerima pada *Optical Power Meter* (OPM) adalah sebesar - 5.411 dBm.

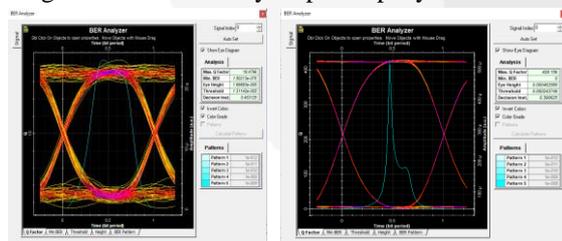
4.3.1 Analisis Simulasi

Dari hasil simulasi menggunakan optisystem, didapatkan nilai daya transmit dan nilai BER. Berikut perbandingan nilai hasil perhitungan dengan hasil simulasi menggunakan optisystem.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi dan Perhitungan

Parameter	Perhitungan		Simulasi	
	Pr	BER	Pr	BER
1490 nm	-19,14	1,30663542 x	-19,161	1,50213 x
	76	10^{-88}		
1310 nm	-	0	- 5,611	0
	5,352			

Dari hasil simulasi, didapatkan perbandingan nilai SNR dan BER dengan hasil perhitungan pada tabel diatas. System dikatakan layak dengan memenuhi syarat link power budget , karena berdasarkan perhitungan manual nilai daya terima berdasarkan perhitungan bernilai -19,1476 dBm untuk downstream dan -5,352 dBm untuk upstream, kedua nilai tersebut masih diatas batas sensitifitas dipenerima yang ditetapkan oleh PT.Telkom, yaitu -23 dBm. Jadi signal yang telah ditrasnmisikan oleh OLT di STO masih dapat sepenuhnya diterima oleh ONT disisi pelanggan. Sedangkan untuk batas maksimal BER standar link optik sebesar 10^{-6} atau 10^{-9} untuk PT.Telkom. berikut hasil eye diagram dari BER analyser pada optisystem.



Gambar 4.4 Eye Diagram (a) Downlink 1490 nm (b) Uplink 1310 nm

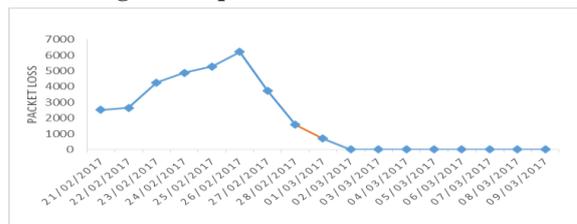
4.4 Analisis Pengukuran

Data Pada tugas akhir ini penulis melakukan pengukuran di Site Perum Manglayang dengan dua skenario yaitu:

1. Pengukuran data pada saat masih menggunakan media transmisi microwave link dengan menggunakan perangkat transmisi SIAE.
2. Pengukuran data setelah penggantian media transmisi fiber optik dengan menggunakan perangkat pendukung teknologi GPON.

Pengukuran dilakukan dengan interval sebanyak 17 hari, yaitu pada tanggal 21/02/2017 hingga 09/03/2017. *Fiber modernization* (FIMO) dilakukan pada tanggal 01/03/2017. Data yang didapatkan pada pengukuran ini akan dianalisis dengan melihat kenaikan jumlah *traffic/payload*, penurunan nilai *delay*, kenaikan nilai *throughput* dan penurunan nilai *packet loss*.

4.4.1 Pengukuran packet loss



Gambar 4.5 Perbandingan Data Packet Loss pada saat Before dan after FIMO

Pada gambar diatas merupakan hasil dari pengukuran data paket yang hilang, pengukuran dilakukan pada saat sebelum FIMO dan sesudah FIMO. Data pada tabel diatas adalah nilai rata-rata paket yang hilang selama satu hari. Hasil analisis pengukuran packet loss, secara umum besar nilai payload berdampak pada nilai rata-rata packet loss, dimana pada kondisi before FIMO jumlah packet loss meningkat karena pengaruh pada perangkat SIAE yang memiliki maksimal kapasitas dalam melayani pengiriman informasi dalam bentuk paket data. Setelah dilakukan *Fiber modernization* (FIMO) nilai data packet loss yang terukur menurun secara signifikan.

Tabel 4.2 Pengukuran *Packet Loss* Sebelum FIMO

TEKNOLOGI	TOTAL	KONDISI
	PACKET	PACKET LOSS
3G	1000	GOOD (0%)
	2000	GOOD (0%)
	3500	GOOD (0%)
	5000	GOOD (0%)
	5200	BAD (100%)
4G	2000	GOOD (0%)
	3500	GOOD (0%)
	5000	GOOD (0%)
	5250	GOOD (0%)
	5500	BAD (100%)

Tabel 4.3 Pengukuran *Packet Loss* Sesudah FIMO

TEKNOLOGI	TOTAL	KONDISI
	PACKET	PACKET LOSS
3G	5500	GOOD (0%)
	6000	GOOD (0%)
	6500	GOOD (0%)
	7000	GOOD (0%)
	8000	GOOD (0%)
4G	6000	GOOD (0%)
	6500	GOOD (0%)
	7000	GOOD (0%)
	7500	GOOD (0%)
	8000	GOOD (0%)

Analisis pengukuran kemampuan perangkat dalam proses pengiriman packet data. Tabel 4.2 adalah pengukuran yang dilakukan pada kondisi media transmisi masih menggunakan *microwave link* dan perangkat transmisi yang digunakan adalah perangkat SIAE dengan max *bandwidth* yang digunakan sebesar 164 Mbps pembagian *bandwidth* diatas lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 3.5. Pada kondisi ini *bandwidth* tersebut digunakan untuk memenuhi kebutuhan pada teknologi 3G dan 4G. Sedangkan pada tabel 4.3 adalah pengukuran *packet loss* sesudah dilakukan FIMO. Penggunaan media transmisi optik mengharuskan

penggantian perangkat yang dapat mendukung teknologi GPON, perangkat ONT yang terpasang pada site Perum Manglayang dengan tipe ONT ZXA10 F829. Pada kondisi ini untuk penggunaan *bandwidth* pada setiap teknologi dibedakan karena dilihat dari data payload. Pembagian *bandwidth* untuk teknologi 3G sebesar 60 Mbps sedangkan untuk teknologi 4G sebesar 170 Mbps, dalam pengaturan *bandwidth* pada kondisi setelah FIMO ini dapat dilihat pada gambar 3.21.

Pada pengukuran yang disajikan pada tabel diatas ,pengukuran dilakukan untuk mengetahui kemampuan perangkat dalam mengirimkan packet data. Packet maksimal yang mampu dikirimkan pada perangkat SIAE sebanyak 5200 *packet* dalam satu jam untuk teknologi 3G dan 5500 *packet* untuk teknologi 4G. Sedangkan kemampuan ONT ZXA10 F829 dapat mengirimkan packet data sebanyak 8000 *packet* untuk setiap teknologi yang ada. jika dilihat pada grafik data payload, dan throughput dengan adanya FIMO, terjadi improvement yang baik dari sebelumnya dan pengaruh penambahan *bandwidth* disetiap teknologi adalah menurunnya nilai *delay* yang sangat signifikan karena berkurangnya antiran dalam sistem pengiriman *packet data* yang membuat waktu pengiriman *packet data* naik, seperti dalam penggunaan perangkat pada kondisi sebelum FIMO. jika dilihat pada 4.9 pengaruh pada FIMO adalah menurunnya nilai *packet loss* yang menjadi 0 *packet* yang hilang atau terbang. Maka dari itu *Fiber modernization* (FIMO) adalah solusi kedepannya untuk memenuhi kebutuhan pelanggan karena kenaikan penggunaan teknologi selalu meningkat dan diharapkan media optik dapat mampu memenuhi kebutuhan generasi teknologi kedepannya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dari perhitungan LPB, pada *downlink* dihasilkan nilai α_{total} 22,1476 dB, P_r 19,1476 dBm, dan margin daya sebesar 5,8524 dBm. Sedangkan pada *uplink* nilai α_{total} 8,352 dB, P_r -5,352 dBm dan margin daya sebesar 19,648 dBm. Hal ini

menunjukkan link memenuhi kelayakan LPB PT.Telkom yaitu α total maksimum 25 dB dan maksimum ITU-T G984.2 yaitu 28 dB dengan Prx yang masih berada pada batas sensitivitas penerima yaitu [-28;-8] dBm, dan margin data lebih dari nol.

2. Dari perhitungan RTB, pada *downlink* didapat *rise time* total sebesar 0.2514 ns yang masih dibawah maksimum *rise time* dari *bit rate* sinyal NRZ sebesar 0.2917 ns, tetapi diatas *bit rate* sinyal RZ sebesar 0.1458 ns. Dapat disimpulkan bahwa system hanya memenuhi *rise time budget* sinyal NRZ. Pada uplink didapat nilai RTB total sebesar 0.25002 ns. Hal ini menunjukkan link memenuhi kelayakan RTB dengan maksimum *rise time* dari bit rate sinyal NRZ sebesar 0.5833 ns dan sinyal RZ sebesar 0.2917 ns, dapat disimpulkan bahwa sistem memenuhi *rise time budget* sinyal NRZ dan RZ.

3. Dari perhitungan SNR, pada *downlink* didapat nilai SNR sebesar 32,008 dB dengan BER 1,30663542x10⁻⁸⁸. Sedangkan pada *uplink* nilai SNR sebesar 58,51407 dB dengan BER 0. Semakin tinggi SNR, maka semakin baik kualitas performansi jaringan. PT.Telkom memiliki standar sistem SNR minimal untuk komunikasi serat optik sebesar 21.5 dB atau BER maksimal untuk link optic 10-6, sehingga dapat dikatakan performansi perancangan ini sangat baik.

4. Kegiatan *Fiber modernization (FIMO)* tidak hanya dilakukan penggantian disisi media transmisi saja melainkan perangkat pendukung untuk menunjang kegiatan *transmit* dari *source* menuju *destination*. Pada perangkat ONT dilakukan penambahan *bandwidth* sebesar 60 Mbps untuk 3G dan 170 Mbps untuk 4G.

5. Dengan dilakukan *Fiber modernization (FIMO)* pada site Perum Manglayang makan terjadi improvement atau kenaikan pada setiap data yang diukur dan dibandingkan oleh kondisi sebelum dilakukan *Fiber modernization (FIMO)*. Penggantian dan penambahan *bandwidth* pada perangkat mempengaruhi penurunan nilai *delay* dan jumlah *packet* yang hilang. Serta perangkat mampu mengirimkan *packet* dalam jumlah 8000 dalam waktu satu jam. Dengan kondisi seperti ini

maka dapat menambah pendapatan untuk operator telekomunikasi.

5.2 Saran

Untuk tugas akhir kedepanya dapat melakukan perbandingan antar site lain yang juga dilakukan *Fiber modernization (FIMO)*. Perbandingan yang dilakukan bukan hanya pada parameter data seperti *payload*, *throughput*, *delay* dan *packet loss* melainkan oleh penggunaan perangkat yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ITU-T. 2003. ITU-T Recommendation G.984.2, "Series G: Transmission Systems And Media, Digital Systems And Networks".
- [2] Keiser, Gred. 1991. "Optical Fiber Communications". Singapore : The McGraw-Hill Companies, Inc
- [4] Pramanabawa, Ida Bagus. 2013. "Analisa Rise Time Budget dan Power Link Budget dari STO ke Pelanggan Infrastruktur GPON (Gigabit Passive Optical Network) PT.Telekomunikasi Divisi Access Denpasar". Bali: Universitas Udayana
- [5] PT.Telekomunikasi Indonesia Tbk, Direktorat Network dan Solution. 2010. "Pedoman Pemasangan Jaringan Akses Fiber Optik". PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. Bandung
- [6] Telkom Indonesia, PT. 2012. "Modul 9 – Fiber Termination Management System (FTMs)". PT. Telkom Indonesia
- [8] Siahaan, Muhamad Ramdhan Mardiana. 2012. "Perancangan Jaringan Akses Fiber to the Home (FTTH) Menggunakan Teknologi Gigabit Capable Passive Optical Network (GPON) di Perumahan Setra Duta Bandung". Bandung : Institut Teknologi Telkom
- [9] Telkom Indonesia, PT. 2016. "konfigurasi node b". PT. Telkom Indonesia
- [10] Derren Oliver, Creating-More-Bandwidth-for-the-Mobile-Backhaul, (<http://www.commscope.com/Creating-More-Bandwidth-for-the-Mobile-Backhaul>), diakses tanggal 10/11/2017
- [11] Siae Microtelronica, PT. "ALS IP/PDH/SDH Series". PT Siae Microtelronica.