

ANALISIS DAN SIMULASI HASIL PERANCANGAN JARINGAN FTTH UNTUK LAYANAN TRIPLE PLAY DI APARTEMEN CIUMBULEIT DENGAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI GPON

ANALYSIS AND SIMULATION DESIGN RESULT OF FTTH NETWORK FOR TRIPLE PLAY SERVICE IN CIUMBULEIT APARTEMEN WITH GPON TECHNOLOGY

Harry Rachmatsyah¹, Dr.Rendy Munadi,Ir.,MT.², Akhmad Hambali,Ir.,MT.³

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

¹harry_rachmatsyah@gmail.com, ²rnd@telkomuniversity.ac.id ³hbl@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Apartemen Ciumbuleit yang terletak di Kota Bandung merupakan Apartemen yang cukup mewah dan sudah dilengkapi dengan teknologi tinggi seperti layanan *triple play* yang dimiliki oleh jaringan *Fiber To The Home* (FTTH). Namun, belum ada analisa khusus terhadap jaringan FTTH yang telah dibangun pada apartemen. Untuk itu, penulis ingin membantu dalam menganalisis jaringan link optik tersebut agar pihak apartemen bisa memasarkan sesuai standar yang telah ditentukan. Pada tugas akhir ini akan menganalisa kinerja jaringan FTTH STO Hegarmanah ke Apartemen Ciumbuleit berdasarkan beberapa parameter yaitu *Link Power Budget*, *Rise Time Budget*, *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Bit Error Rate* (BER) dan *Quality of Service* (QoS) serta menganalisa secara langsung masalah yang terjadi di lapangan. Berdasarkan hasil uji link yang dilakukan, terbukti bahwa jaringan yang telah terimplementasi FTTH ini telah layak dan memenuhi standar jaringan yang ditetapkan oleh PT. Telkom dengan parameter uji yang digunakan yaitu *Link Power Budget*, *Rise Time Budget*, SNR, dan BER. Dari hasil pengujian kualitas layanan berdasarkan parameter QoS untuk layanan *triple play* yang diimplementasikan pada Apartemen Ciumbuleit bahwa dengan *bandwidth* yang telah diberikan untuk tiap layanan tersebut masih memenuhi standar ketentuan ITU-T dan memberikan hasil kualitas layanan dengan kategori nilai 1 hingga 5 didapat yaitu 4 atau termasuk dalam kategori baik. Dengan 1010 pelanggan yang akan menempati dengan jumlah 34 *core* serat optik yang diimplementasi maka tiap pelanggan dapat meningkatkan total layanan mereka hingga 77 Mbps.

Kata kunci: *Link Power Budget*, *Rise Time Budget*, SNR, BER, QoS.

Abstract

Ciumbuleit apartment located in Bandung is a fairly luxurious apartments and is equipped with high technology like triple play services owned by Fiber To The Home (FTTH). However, no specific analysis of the FTTH network that has been built in the apartment. To that end, the author would like to assist in analyzing the optical link networks in order to market the apartments according to standards that have been determined. In this final project will be the analysis of network performance on Apartment Ciumbuleit with several parameters, namely Link Power Budget, Rise Time Budget, Signal to Noise Ratio (SNR), Bit Error Rate (BER), Quality of Service (QoS) and analyze problem that occur in the field. Based on the test results conducted link, it is evident that the FTTH network that have been implemented have been feasible and meets the standards set by PT. Telkom with test parameters were used that Link Power Budget, Rise Time Budget, SNR, and BER. From the results of testing the quality of service based on the QoS parameters for triple play services are implemented in Apartment Ciumbuleit that the bandwidth that has been given to each of these services still meet the standards of the ITU-T and provide the results of quality of service with a category value of 1 to 5 obtained are 4 or included in good categories. With 1010 customers who will occupy the number 34 fiber optic cores are implemented so each customer can increase their total service up to 77 Mbps.

Keywords : *Link Power Budget*, *Rise Time Budget*, SNR, BER

1. Pendahuluan

PT Telkom Indonesia sebagai salah satu operator telekomunikasi di Indonesia dituntut untuk selalu handal dalam menangani berbagai permasalahan agar dapat memuaskan pelanggannya, salah satu masalah yang sering dihadapi adalah permintaan jaringan yang membutuhkan bit rate yang sangat tinggi, untuk mengatasi masalah tersebut PT Telkom Indonesia bekerja sama dengan PT Telkom Akses melakukan proyek yang bertujuan untuk membangun jaringan *link* optik hingga ke pelanggan atau disebut FTTH di sekitar kota Bandung. Salah satu pelanggan yang menjadi target proyek tersebut adalah Apartemen Ciumbuleuit.

Apartemen Ciumbuleuit merupakan apartemen yang terletak di Bandung dan sudah terimplementasi oleh jaringan FTTH. Sentral yang digunakan adalah STO Hegarmanah. Pemilik apartemen ingin segera memasarkan apartemen tersebut kepada pembeli. Tetapi, belum ada analisa khusus terhadap jaringan yang telah dibangun pada apartemen. Untuk itu, penulis ingin membantu dalam menganalisis jaringan *link* optik tersebut agar pihak apartemen bisa memasarkan sesuai standar yang telah ditentukan.

Pada tugas akhir ini akan dianalisis performansi terhadap teknologi jaringan FTTH pada STO Hegarmanah ke Apartemen Ciumbuleuit dengan parameter uji berupa nilai *Link Power budget*, *Rise Time Budget*, *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Bit Error Rate* (BER) dan *Quality of Service* (QoS).

2. Dasar Teori

2.1 Jaringan Lokal Akses Fiber (Jarlokaf) ^[2]

Jaringan Lokal Akses Fiber (Jarlokaf) atau *Optical Access Network* adalah sekumpulan jaringan akses yang menggunakan secara bersama suatu antarmuka jaringan dan diimplementasikan menggunakan serat optik. Sistem Jarlokaf setidaknya memiliki 2 buah perangkat opto elektronik, yaitu satu perangkat opto elektronik di sisi sentral dan satu perangkat opto elektronik di sisi pelanggan. Lokasi perangkat opto elektronik di sisi pelanggan selanjutnya disebut Titik Konversi Optik (TKO). Secara praktis TKO berarti batas terakhir kabel optik ke arah pelanggan yang berfungsi sebagai lokasi konversi sinyal optik ke sinyal elektronik. FTTH merupakan sepenuhnya jaringan optik dari provider ke pelanggan dimana keberadaan kabel tembaga dihilangkan sama sekali hingga ke perangkat ONT yang dipasang diruangan pelanggan.

2.2 Parameter Kinerja Sistem

2.2.1 Link Power Budget

Tujuannya adalah untuk menghitung besar daya yang diperlukan sehingga *level* daya yang diterima tidak kurang dari *level* daya minimum agar dapat dideteksi di penerima. Persamaan daya dapat dituliskan^[7]:

$$\alpha_{total} = L \cdot \alpha_{serat} + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + \alpha_{sp} \quad (2.1)$$

$$P_{TX} = P_{RX} + \alpha_{total} - SM \quad (2.2)$$

2.2.2 Rise Time Budget

Perhitungan *rise time budget* diperlukan untuk menentukan batasan dispersi suatu *link* serat optik, karena bila dispersi di luar standar yang telah ditentukan maka sinyal informasi yang dikirim akan terganggu. Tujuannya adalah untuk menganalisis apakah kinerja sistem secara keseluruhan adalah baik. *Rise time budget* sistem ditunjukkan dengan rumus persamaan ^[7]:

$$t_{sys}^2 = t_{tx}^2 + t_{intra}^2 + t_{inter}^2 + t_{rx}^2 \quad (2.3)$$

2.2.3 Signal To Noise Ratio

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan perbandingan daya sinyal terhadap daya *noise* pada satu titik yang sama. Semakin besar nilai SNR maka sistem akan menandakan sistem tersebut bekerja dengan baik. SNR dapat dirumuskan sebagai berikut ^[7]:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Daya sinyal dari arus foto}}{\text{Daya noise detektor foto} + \text{Daya noise penguat}} \quad (2.4)$$

2.2.4 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) merupakan sejumlah bit digital bernilai tinggi pada jaringan transmisi yang ditafsirkan sebagai keadaan rendah atau sebaliknya ^[7].

$$BER = \frac{\text{Error } (E_b)}{\text{Jumlah nomor bit } (N_0)} \quad (2.5)$$

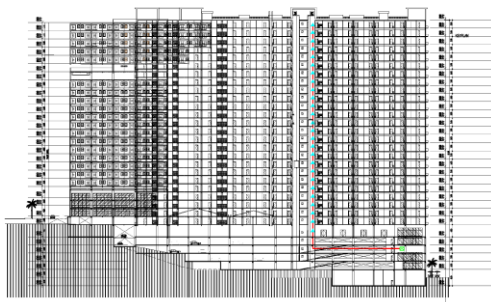
2.2.5 Quality of Service (QoS)

Parameter QoS menggolongkan kualitas transfer yang diberikan oleh suatu koneksi yang diperoleh dengan membandingkan unit data pada sisi masukan dan keluaran *interface*. Parameter QoS adalah *throughput*, *jitter*, *delay*, dan *packet loss*.

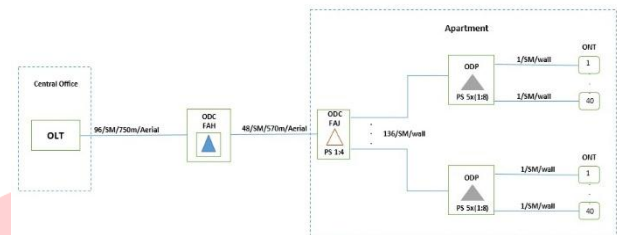
3. Kondisi Jaringan Existing

3.1 Penentuan Lokasi

Lokasi studi kasus pada tugas akhir ini yaitu berada di STO Hegarmanah PT Telkom Indonesia ke Apartemen Ciumbuleuit yang beralamat di jalan Ciumbuleuit No. 42a Bandung. Apartemen Ciumbuleit merupakan salah satu apartemen di Bandung yang baru terimplementasi oleh jaringan FTTH. Pengadaan layanan internet yang memiliki layanan teknologi *broadband* dibutuhkan untuk menarik minat pelanggan. Berikut adalah gambar jaringan FTTH yang terimplementasi pada Apartemen Ciumbuleit.



Gambar 1. Bentuk Apartemen dan Posisi ODP dan ODC



Gambar 2. Konfigurasi Umum Peletakan Perangkat FTTH (OLT-ONT)

Jenis *passive splitter* yang digunakan merupakan *two-stage* yaitu *passive splitter* 1:4 dan dilanjut dengan *passive splitter* 1:8 dengan total akhirnya ada 1010 buah keluaran. Pada sentral terdapat OLT yang akan mengeluarkan sumber cahaya yang kemudian diteruskan ke ODC. Pada ODC terdapat *passive splitter* 1:4 untuk membagi daya keluaran yang masing-masing akan diteruskan ke ODP. Pada ODP terdapat *passive splitter* 1:8 yang akan diteruskan ke unit pelanggan (ONT).

4. Pengujian dan Analisis

4.1 Analisis Perhitungan

4.1.1 Link Power Budget

Perhitungan *link power budget* digunakan untuk mengetahui besar nilai redaman total yang diperbolehkan antara daya pemancar dan sensitivitas penerima. Menurut ketentuan ITU-T, daya terima yang diizinkan dalam teknologi GPON adalah sebesar -28 dBm.

Dalam implementasinya, teknologi GPON yang diimplementasikan pada jaringan FTTH Apartemen Ciumbuleit memakai panjang gelombang 1490 nm untuk *downstream* dan 1310 nm untuk *upstream*.

Downstream

Untuk perhitungan *link power budget* dengan menggunakan persamaan 2.1 didapatkan nilai redaman total (α_{tot}) sebesar $19,582$ dB. Maka, *link* optik ini memenuhi syarat dari sisi total redaman. Dengan menggunakan persamaan 2.2 didapatkan nilai daya terima (P_{rx}) sebesar $-21,852$ dBm. Hal ini membuktikan bahwa jaringan optik telah memenuhi syarat perangkat yang digunakan oleh PT. Telkom, yaitu sebesar -29 dBm.

Upstream

Untuk perhitungan *link power budget* dengan menggunakan persamaan 2.1 didapatkan nilai redaman total (α_{tot}) sebesar $19,711$ dB. Maka, *link* optik ini memenuhi syarat dari sisi total redaman. Pada hasil perhitungan dengan persamaan 2.2 didapatkan nilai P_{rx} sebesar $-22,741$ dBm. Hal ini membuktikan bahwa jaringan optik telah memenuhi syarat perangkat yang digunakan oleh PT. Telkom, yaitu sebesar -28 dBm.

4.1.2 Rise Time Budget

Analisis *rise time budget* merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi suatu *link* serat optik. Tujuan dari metode ini adalah untuk menganalisis apakah untuk 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 periode bit NRZ (*Non-Return-to-Zero*), data yang diperoleh PT.Telkom Indonesia menggunakan *line coding* NRZ. Satu periode bit didefinisikan sebagai resiprok dari *data rate*.

Perhitungan *rise time budget* dilakukan pada ONT dengan **jarak terjauh** yaitu ONT-20 yang terhubung pada ODP-1 dengan total jarak dari STO sampai ke ONT adalah 1,661 km.

Downstream

Bit rate downlink (Br) = 2,488 Gbps, sehingga dengan menggunakan pengkodean NRZ:

$$tr = \frac{0.7}{Br} = \frac{0.7}{2,488 \times 10^9} = 0,28135 \text{ ns}$$

Menentukan $t_{intermodal}$:

$$t_{mat} = 1nm \times 1,661km \times 0,01288 \frac{ns}{km.nm} = 0,021394 \text{ ns}$$

Karena menggunakan serat optik *single mode*, maka $t_{intermodal} = 0$. Sehingga, perhitungan untuk t_{sys} adalah sebagai berikut:

$$t_{sys} = \sqrt{0,15^2 + 0,021394^2 + 0^2 + 0,2^2} = 0,25 \text{ ns}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai t_{sys} adalah sebesar 0,25 ns. Nilai ini berada di bawah waktu batasan maksimum yang bernilai 0,28135 ns untuk pengkodean NRZ. Melihat hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem *downstream* memenuhi kelayakan *rise time budget*.

Upstream

Bit rate uplink (Br) = 1,244 Gbps, sehingga dengan menggunakan pengkodean NRZ:

$$tr = \frac{0.7}{Br} = \frac{0.7}{1,244 \times 10^9} = 0,5627 \text{ ns}$$

Dengan menggunakan penguraian yang sama pada perhitungan *link downstream*, maka didapat nilai t_{sys} sebesar 0,25 ns. Nilai ini berada jauh di bawah waktu batasan yang bernilai 0,5627ns untuk pengkodean NRZ. Melihat hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem *upstream* memenuhi kelayakan *rise time budget*.

4.1.3 Analisis Performansi Sistem

Dalam menentukan kualitas transmisi, digunakan parameter *Signal to Noise Ratio* (S/N) dan *Bit Error rate* (BER). S/N merupakan perbandingan antara daya sinyal terhadap daya *noise* pada satu titik yang sama. Perhitungan dengan jarak terjauh, yaitu 1,661 km dari OLT yang berada di STO Hegarmanah sampai ke ONT-20.

Downstream

Dengan persamaan 2.4 dan 2.5 didapatkan nilai SNR adalah 32,7 dB dan BER $2,0051 \times 10^{-235}$.

Upstream

Dengan persamaan 2.4 dan 2.5 didapatkan nilai SNR adalah 40 dB dan BER 0.

Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai SNR maka semakin baik kualitasnya. Oleh karena itu, PT. Telkom memiliki yang memiliki standar sistem SNR untuk komunikasi serat optik sebesar 21.5 dB atau BER = 10^{-9} , sehingga dapat dikatakan bahwa sistem yang telah diimplementasikan ini sangat baik

4.2 Analisis Simulasi

4.2.1 Bit Error Rate (BER)

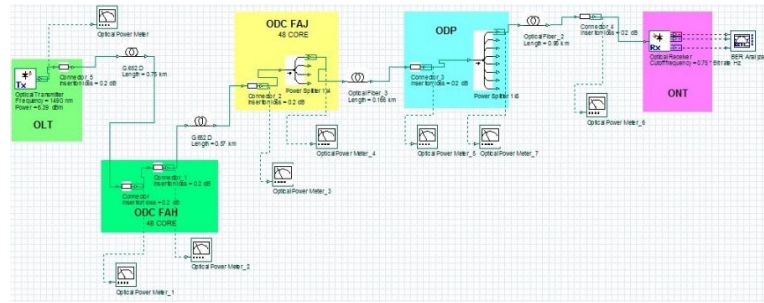
Elemen yang digunakan pada simulasi adalah sebagai berikut:

- Transmitter (Tx) dari OLT dengan daya senilai 3,73 dBm untuk *downstream* dan 2,97 dBm daya dari ONT untuk *upstream*.
- Serat optik single mode G.652.D sebagai kabel *feeder* dan single mode G.657 sebagai *drop cable*.
- Konektor sebanyak 6 buah untuk link OLT sampai dengan ONT.
- Receiver (Rx) sebagai ONT pada *downstream* dan OLT pada *upstream*.

Downstream

Simulasi *link* optik untuk *downstream* menggunakan panjang gelombang 1490 nm. Gambar 3 menunjukkan daya pancar pada *transmitter* untuk *link downstream* adalah 3,738 dBm. Total daya ini disesuaikan dengan daya yang terdapat di lapangan.

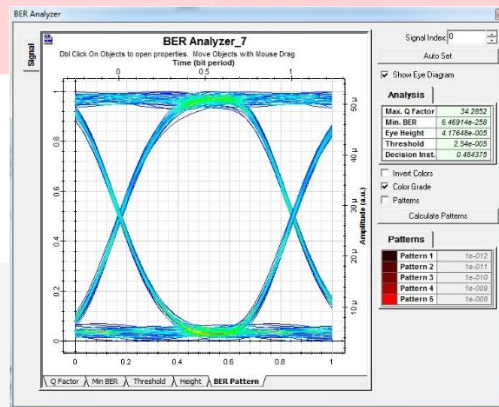
Serat optik diberi redaman 0,28 dB pada masing-masing jenis serat optik. Jumlah konektor adalah 6 buah dengan masing-masing redaman 0,2 dB sehingga total redaman konektor adalah 1,2 dB. Gambar simulasi *link downstream* dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 3. *Link downstream* pada Optisystem

Gambar 3 menunjukkan *link* optik dari OLT yang terdapat *transmitter* sebagai sumber cahaya, ODC yang terdapat *passive splitter* 1:4 dan ODP yang terdapat *passive splitter* 1:8. Pada blok ONT terdapat *receiver* yang akan merubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik sehingga dapat digunakan oleh pelanggan. Daya terima yang terukur pada Optisystem yaitu $-15,596$ dBm .

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, didapatkan nilai BER sebesar $6,46914 \times 10^{-258}$. Performansi yang baik juga ditunjukkan oleh diagram mata yang menunjukkan perbedaan yang jelas antara informasi bit “1” dan bit “0”. Diagram mata untuk *link downstream* dapat dilihat pada gambar selanjutnya.

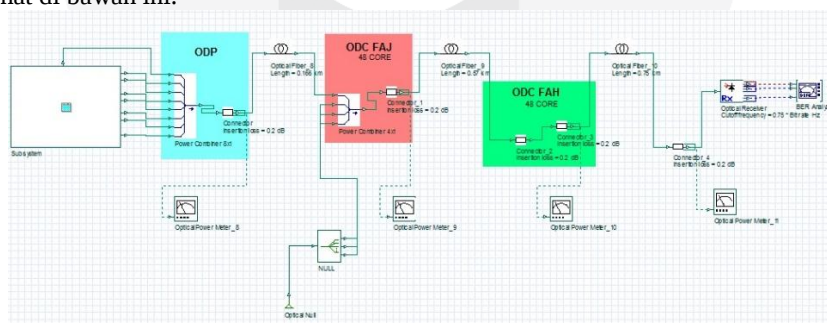


Gambar 4. BER Analyzer Optisystem pada *link downstream*

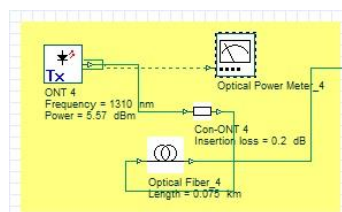
Upstream

Simulasi *link* optik untuk *upstream* menggunakan panjang gelombang 1310 nm. Daya pancar pada ONT yang berupa *transmitter* untuk *link upstream* adalah 2,974 dBm. Total daya ini disesuaikan dengan daya di lapangan.

Serat optik diberi redaman 0,35 dB pada masing-masing jenis serat optik. Jumlah konektor adalah 6 buah dengan masing-masing redaman 0,2 dB sehingga total redaman konektor adalah 1,2 dB. Gambar simulasi *link upstream* dapat dilihat di bawah ini.

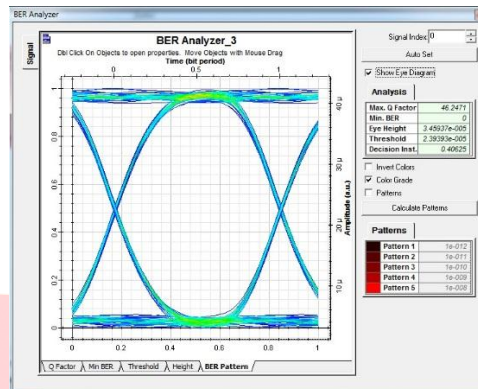


Gambar 5. *Link upstream* pada Optisystem



Gambar 6. Transmitter pada *Link upstream* pada Optisystem

Daya terima yang terukur pada Optisystem di bagian Rx yaitu $-16,471$ dBm. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, didapatkan nilai BER sebesar 0. Nilai tersebut menunjukkan diagram mata BER yang nyaris sempurna yaitu dapat dilihat dari perbedaan yang sangat jelas antara informasi bit “1” dan bit “0”. Maka dari itu, performansi sistem pada *link* optik ini dapat dikatakan sangat baik. Diagram mata untuk *link upstream* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 7. BER Analyzer Optisystem pada *link upstream*

4.3 Analisa Kebutuhan Bandwidth

PT. Telkom dapat melakukan instalasi perangkat tambahan sesuai dengan permintaan dari pihak manajemen Apartemen Ciumbuleit seiring dengan bertambahnya pengguna layanan FTTH. Dari 1010 unit kamar akan diberikan layanan *triple play* yang terdiri dari televisi (video), telepon (voice), dan internet (data) yang di *bundling* dengan *bandwidth* up to 5 Mbps. Berikut merupakan pembagian *bandwidth* untuk tiap layanan:

Tabel 1. Pembagian Bandwith

Layanan	Bandwidth yang digunakan
IPTV	3 Mbps
VoIP	1 Mbps
Internet	512 Kbps
Total	4,512 Mbps / kamar

Maka dari itu besar *bandwidth* yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

$$1010 \text{ unit} \times 4,512 \text{ Mbps} = 4557 \text{ Mbps} \approx 5 \text{ Gbps}$$

$$34 \text{ core} \times 2,488 \text{ Gbps} = 84,589 \text{ Gbps}$$

Dari kebutuhan 5 Gbps, serat optik yang dipasang yaitu 34 *core* dengan perhitungan asumsi untuk *link downstream* adalah 2,488 Gbps maka kebutuhan telah terpenuhi. Namun, layanan yang diberikan tersebut merupakan layanan minimum yang diberikan oleh pihak Telkom kepada pelanggan di apartemen. Tiap pelanggan dapat meminta dan menambah tingkat layanannya sendiri kepada pihak Telkom sesuai keinginan.

Dengan asumsi tiap *core* mampu memenuhi 2,488 Gbps untuk *link downstream* dengan perangkat yang diimplementasikan pada Apartemen Ciumbuleit yaitu splitter 1:4 dan splitter 1:8, maka dapat dihitung besar *bandwidth* yang dapat diterima oleh tiap pelanggan sebagai berikut :

$$2,488 \text{ Gbps} / 4 = 0,622 \text{ Gbps}$$

$$0,622 \text{ Gbps} / 8 = 0,07775 \text{ Gbps} = 77,75 \text{ Mbps / kamar}$$

Berdasarkan Perhitungan tersebut, tiap pelanggan dapat meningkatkan layanannya hingga 77 Mbps.

4.4 Analisis Hasil

Dari hasil perhitungan, simulasi, dan pengukuran dapat di lihat perbandingan daya pada Tabel 4.2:

Tabel 2. Hasil Perbandingan Daya

Hasil Daya Terima	Perhitungan (dBm)	Simulasi (dBm)	Pengukuran (dBm)
Downstream	-21,852	-15,596	-18,664
Upstream	-22,741	-16,471	-22,365

Perbandingan daya terjadi cukup besar antara perhitungan dengan pengukuran dan simulasi. Hal ini disebabkan karena perbedaan safety margin yang digunakan, pada perhitungan yaitu 6 dBm berdasarkan standar ITU-T.

4.5 Analisis Quality of Service (QoS)

4.5.1 Hasil Pengukuran IPTV

Hasil pengukuran QoS pada IPTV dengan alat ukur Anacise CSN dimana parameter yang dapat diukur *throughput*, MDI-DF, MDI-MLR, *jitter*, dan *packet loss*.

Tabel 3. Hasil Pengukuran QoS pada IPTV

Throughput	MDI-DF	MDI-MLR	Jitter	Packet Loss
2.7 Mb	18 ms	0.00 %	5.55 ms	0.00 %
2.7 Mb	22 ms	0.00 %	6.59 ms	0.00 %
2.7 Mb	20 ms	0.00 %	5.82 ms	0.00 %

Dari hasil pengukuran tersebut didapat nilai *throughput* untuk layanan IPTV yaitu 2.7 Mb atau 90% dari kapasitas *bandwidth* yang diberikan dan dapat dilihat nilai MDI-DF adalah 18-22 ms, dimana nilai tersebut berada diantara standar yang ada yaitu 9 ms hingga 50 ms. MLR (*Media Loss Rate*) berbanding lurus terhadap paket hilang. Nilai MLR yang didapat adalah 0, maka dapat diasumsikan bahwa tidak ada paket yang hilang pada saat pengiriman konten. Dari pengukuran tersebut diperoleh jitter dengan rata-rata sebesar 5.88 ms. Berdasarkan standar ITU-T, nilai jitter yang masih ditoleransi adalah 30 ms.

4.5.2 Hasil Pengukuran VoIP

Tabel 4. Hasil Pengukuran QoS pada IPTV

	Throughput	Delay	Jitter	Packet Loss
Forward Direction	62.50 ms	66.26 %	0.14 ms	0.00 %
Reserved Direction	62.50 ms	66.26 %	0.15 ms	0.00 %

Berdasarkan standar ITU-T untuk *conversational voice two way* nilai *throughput* yang dapat diterima adalah 64 Kbps, sedangkan untuk *jitter* yang masih dapat ditoleransi adalah 30 ms, dan *delay* yang dapat diterima untuk aplikasi suara yaitu 150 ms. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa layanan VoIP tersebut baik dan masih dalam rekomendasi ITU-T.

4.5.3 Hasil Pengukuran Internet

Pada pengukuran untuk kualitas internet menggunakan tool yang tersedia gratis secara online yaitu aplikasi berbasis browser www.speedtest.net dan www.pingtest.net. Berikut hasil pengukuran internet dipelanggan.

Tabel 5. Hasil Pengukuran dengan Speedtest

Throughput Download	Throughput Upload
0.45 Mbps	0.46 Mbps

Tabel 6. Hasil Pengukuran dengan Pingtest

Waktu	Jitter	Packet Loss
36 ms	2 ms	1 %

Analisis *throughput* dari hasil pengukuran dapat dipersentasikan untuk kemampuan *download* paket sukses adalah 87% dan 89% bit yang sukses untuk *upload*. Berdasarkan pengukuran *packet loss* yang didapat maka paket yang berhasil diterima oleh pelanggan hampir mendekati nilai sempurna atau hampir tidak ada yang hilang.

4.6 Analisis MOS

Tabel 7. Hasil Perhitungan Nilai R-Faktor dan Nilai MOS

Layanan	R-Faktor	MOS
IPTV	86,72	4,2506
VoIP	82,143	4,2172
Internet	85,6097	4,1023

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa hasil MOS yang diperoleh dari pengujian berkisar antara angka 4,1023 sampai 4,2506 dan berdasarkan hasil kuisioner, lebih dari 50% responden memberikan nilai baik untuk layanan triple play tersebut. Berdasarkan rekomendasi ITU-T P.800 tentang rentang nilai MOS maka hasil tersebut berada pada katagori baik, sehingga dapat dikatakan layanan *triple play* yang diimplementasikan tersebut layak dan berada dalam katagori baik.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan, simulasi dan pengukuran di lapangan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1 Berdasarkan perhitungan kelayakan sistem untuk *link power budget* pada jarak terjauh, didapatkan redaman total adalah 19,582 dB dengan nilai Prx sebesar -21,852 dBm untuk *downstream* dan 19,711 dB dengan nilai Prx sebesar -22,741 dBm untuk *upstream*. Hal ini masih berada diatas standar yang ditetapkan oleh PT. Telkom sebesar -28 dBm.

- 2 Berdasarkan perhitungan kelayakan sistem untuk *rise time budget*, pengkodean NRZ memiliki batas 70% dari kecepatan data yaitu 0,28135 ns untuk *downstream* dan 0,5627 ns untuk *upstream*. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai t_{sys} sebesar 0,25 ns untuk *upstream* dan *downstream*. Nilai t_{sys} tersebut masih di bawah batas pengkodean NRZ sehingga dari sisi *rise time budget* dapat dikatakan layak.
- 3 Berdasarkan hasil simulasi implementasi jaringan pada perangkat lunak OptiSystem dengan melihat nilai BER didapatkan sebesar $6,469 \times 10^{-258}$ untuk *downstream* dan 0 untuk *upstream*. Sedangkan nilai BER yang didapat dari hasil perhitungan yaitu $2,0051 \times 10^{-235}$ untuk *downstream* dan 0 untuk *upstream*. Nilai BER yang didapat dari hasil simulasi dan perhitungan masih berada dibawah nilai ideal pada transmisi serat optik yaitu 10^{-9} .
- 4 Dari hasil pengukuran untuk QoS didapat *throughput* IPTV adalah 2.7 Mbps, MDI-DF adalah 18 - 22 ms, *jitter* adalah 5.55 – 6.29 ms, MDI-MLR adalah 0%. Berdasarkan dari kapasitas *bandwidth* yang diberikan *throughput* untuk IPTV mencapai 90%, sedang pada standar untuk *jitter* adalah <75 ms, MDI-DF adalah 9-50 ms serta *packet loss* adalah <1%, maka hasil pengukuran untuk layanan IPTV dipelanggan dengan kualitas SDTV dan *bandwidth* yang diberikan sebesar 3 Mb masih bagus dan memenuhi standar.
- 5 Untuk layanan VoIP didapat hasil *throughput* untuk kedua sisi sebesar 62.50 Kbps, rata-rata *jitter* untuk *forward direction* sebesar 0.14 ms dan 0.15 ms untuk *reversed direction*, rata-rata *delay* untuk kedua sisi adalah 66.26 ms, serta *packet loss* yang terjadi 0%. Berdasarkan standar ITU-T untuk layanan VoIP pada *conversation voice two way* pada *throughput* adalah 64 Kbps, *jitter* <30 ms, *delay* <150 ms, dan *packet loss* <1%, maka hasil pengukuran untuk layanan VoIP dengan *bandwidth* sebesar 1 Mb memberikan hasil yang bagus dan memenuhi standar.
- 6 Pengukuran untuk internet dengan paket hilang kurang dari 76 Kbps masih dapat ditoleransi.
- 7 Hasil MOS untuk ketiga layanan tersebut berdasarkan hasil perhitungan dan hasil kuisioner memberikan nilai 4 dari skala 1 sampai 5.
- 8 Dari 1010 pelanggan yang akan menempati dengan jumlah 34 core serat optik yang dipasang maka tiap pelanggan dapat meningkatkan layanan mereka hingga 77 Mbps.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan agar dapat memasukkan faktor ekonomi berupa biaya perancangan dan melakukan analisis perkiraan untuk mengetahui berapa lama daya tahan jaringan link optik dan perangkat yang terpasang dapat bekerja dengan baik.

Daftar Pustaka :

- [1] Margareth, Grace. *Perancangan Jaringan Akses Fiber To The Home Menggunakan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) Di Citylight*. Telkom University, Bandung, 2014
- [2] Al-Adawiyah, Rabiah. *Evaluasi Perancangan Jaringan FTTH Dengan Teknologi GPON di Komplek Green Mansion Jakarta* [Jurnal]. Institut Teknologi Telkom, Bandung, 2010
- [3] ITU-T Recommendation G.984.1. “*Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): General Characteristics*”, 2003
- [4] Telkom Indonesia, “*Materi FTTX: Implementasi FTTx*”, 2013
- [5] Adrian, Gary. *Perancangan Jaringan Fiber To The Home Menggunakan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) Di Perumahan Dago Asri dan Cicitu Indah Bandung*. Institut Teknologi Telkom, Bandung, 2013
- [6] Keiser, Gerd. “*Optical Fiber Communications*” Mc. Graw Hill Inc. 2000
- [7] Sabika, Aghnia Fatyah (2014). *Analisis Pengujian Implementasi Perangkat Fiber To The Home (FTTH) dengan Optisystem pada Link STO Ahmad Yani ke Apartemen Gateway*. Bandung: Universitas Telkom.
- [8] Xiang Yang, Y. H. (2010). *The Application of Optisystem in Optical Fiber Communication Experiments*. China: University Jiaozuo.
- [9] Guskarini, Arlita. (2013). *Analisis Implementasi perangkat Untuk Jaringan Akses Fiber To The Home (FTTH) Menggunakan Teknologi Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) Studi Kasus Di Rumah Kos Sukabirus*. Bandung: Universitas Telkom.
- [10] Septyandini, Fitriani Wilujeng (2014). *Implementasi dan Analisis Performansi QoS dan Keamanan MPLS VPN-L2VPN Multipoint dan Point-To-Point*. Bandung: Universitas Telkom.
- [11] Pratiwi, Putri Eka. *Analisis QoS Pada Jaringan Multi Protocol Label Switching (MPLS) Studi Kasus di Pelabuhan Indonesia III Cabang Tanjung Intan Cilacap* [Jurnal]. Akatel Sandi Putra Purwokerto