

Perancangan Dan Analisis Jaringan Akses Fiber To The Home Menggunakan Teknologi Gigabit Passive Optical Network Untuk Layanan Triple Play Di Perumahan Taman Asri Indah

1st Novian Indriani Putri
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

novianindriani putri@student.telkomuni
versity.ac.id

2nd Akhmad Hambali
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ahambali@telkomuniversity.ac.id

3rd M. Irfan Maulana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

muhammadirfanm@telkomuniversity.ac
.id

Abstrak— Penggunaan internet yang semakin meningkat, terutama dikalangan usia produktif pada masa *pandemic covid-19*, sehingga membutuhkan layanan internet yang memadai yang mendukung aktivitas. Namun, kebutuhan internet belum dipenuhi oleh *provider* karena belum tersedianya jaringan optik, sehingga dilakukan perancangan dan analisis jaringan *Fiber To The Home* menggunakan teknologi GPON untuk layanan *triple play* di Perumahan Taman Asri Indah Makassar dengan 2 metode yaitu *Single Stage* dan *Two Stage*. Tugas Akhir ini dilakukan perancangan jaringan dengan simulasi dan dilakukan perhitungan parameter-parameter kelayakan dan performansi sistem. Perancangan dilakukan berdasarkan mengukur jarak OLT terdekat menuju sisi pelanggan, menentukan jarak dari ODC ke ODP kemudian menentukan jumlah perangkat yang digunakan pada perancangan. Perancangan jaringan FTTH menggunakan teknologi GPON pada metode *Single Stage* di dapatkan hasil performansi BER pada perhitungan manual *downstream* terdekat sebesar $2,170 \times 10^{-10}$ dan simulasi sebesar $3,181 \times 10^{-10}$, hasil perhitungan manual pada *downstream* terjauh sebesar $2,386 \times 10^{-10}$ dan simulasi sebesar $4,343 \times 10^{-11}$. Sedangkan *Two Stage* di dapatkan hasil performansi BER pada perhitungan manual *downstream* terdekat sebesar $4,034 \times 10^{-12}$ dan simulasi sebesar $3,730 \times 10^{-12}$, hasil perhitungan manual pada *downstream* terjauh sebesar $4,455 \times 10^{-12}$ dan simulasi sebesar $4,109 \times 10^{-13}$. Berdasarkan hasil diatas nilai BER telah memenuhi standar ideal yaitu $\leq 10^{-9}$.

Kata kunci : FTTH, GPON, BER

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi semakin pesat, penggunaan akses data semakin meningkat dan telah menjadi bagian yang sangat penting bagi individu untuk kehidupan sehari-hari. Individu memilih untuk menggunakan teknologi informasi karena lebih praktis, mudah digunakan, dan efisien. Perkembangan teknologi yang telah berkembang saat ini, tidak terlepas dari kemajuan perkembangan serat optik sebagai pengganti penggunaan kabel tembaga. Kabel tembaga tidak dapat memenuhi kebutuhan akses data yang lebih besar,

oleh karena itu serat optik sangat penting digunakan dan menggantikan penggunaan kabel konvensional.

Perumahan taman asri indah merupakan salah satu perumahan yang berada di kota makassar, perumahan ini termasuk hunian yang nyaman letaknya jauh dari pusat industri, berada di tengah-tengah pemukiman masyarakat dan diapit oleh beberapa kampus diantaranya universitas megarezky dan uin alauddin samata. Banyak pendatang dari seluruh indonesia yang memilih untuk menetap di perumahan ini serta banyak pemilik rumah yang menyewakan rumahnya untuk ditinggali sementara oleh mahasiswa. Oleh karena itu banyak penduduk yang membutuhkan layanan internet, telepon dan tv digital. *Triple play* (indihome) merupakan layanan terbaik yang sangat dibutuhkan oleh penduduk, layanan ini terdiri dari 3 layanan seperti internet, telepon dan iptv, layanan tersebut merupakan produk dari pt. Telkom indonesia. Namun kebutuhan layanan tidak dipenuhi oleh *provider* karena jaringan serat optik belum masuk ke perumahan ini. Berdasarkan permasalahan tersebut maka perumahan ini sangat berpotensi untuk dirancang jaringan *fiber to the home*.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis merancang sebuah jaringan akses *fiber to the home* menggunakan teknologi *gigabit passive optical network* untuk layanan *triple play* pada perumahan taman asri indah dengan dua metode yaitu *single stage* dan *two stage* serta menganalisis parameter seperti *link power budget*, *rise time budget*, *bit error rate* (ber) agar sesuai dengan standar dari pt. Telkom indonesia.

II. KAJIAN TEORI

A. Dasar Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi serat optik menggunakan kabel serat optik untuk mengantarkan gelombang cahaya yang membawa suatu sinyal informasi. Komponen dasar sistem komunikasi serat optik adalah pemancar kabel serat optik dan penerima kabel serat optik. Pemancar serat optik berfungsi mengubah

sinyal listrik menjadi sinyal optik sedangkan penerima serat optik berfungsi mengubah sinyal optik kembali menjadi sinyal listrik. Proses pengiriman pada sistem komunikasi serat optik yaitu pemantulan sinyal optik berupa cahaya dengan panjang gelombang tertentu.

B. Fiber To The Home

Arsitektur jaringan fiber optik yang dimulai dari sentral *office* (STO) hingga ke perangkat pelanggan. *Service provider* yang letaknya di kantor atau *Central Office* (CO) terdapat perangkat bernama OLT. Kemudian OLT dihubungkan ke ONU yang letaknya berada di rumah pelanggan melalui jaringan distribusi serat optik biasa disebut *Optical Distribution Network* (ODN). Segmen catuan jaringan akses FTTH, antara lain catuan kabel *feeder*, catuan kabel distribusi, catuan kabel *drop*, catuan kabel *indoor* dan perangkat aktif pada pelanggan yaitu OLT dan ONT. Arsitektur ini dibuat hingga sampai ke rumah-rumah atau ruangan dimana terminal berada [1].

C. Gigabit Passive Optical Network

GPON merupakan teknologi jaringan akses yang menggunakan kabel fiber optik sebagai media *transport* ke pelanggan. Dapat memberikan layanan *broadband* ke pelanggan dengan jangkauan semakin luas dibanding teknologi *copper*. GPON dapat mengakses berbagai layanan komunikasi seperti *internet* (*Voice*, *Data*, *Video* maupun *Content* yang lain) dengan kecepatan tinggi dan *bandwidth* yang lebar melebihi *Gigabit Ethernet* dalam jaringan *Local Area Network*. Teknologi tersebut dapat digunakan di *area* perumahan.

Cara kerja GPON pada *transmitter*, *transducer* elektrooptik bekerja mengubah signal elektrik menjadi gelombang cahaya, kemudian melalui sambungan kabel serat optik data dikirim ke penerima yang terdapat diujung perangkat. Penerima *signal* atau *receiver* menerima *signal* gelombang cahaya yang telah diubah menjadi bentuk signal elektrik oleh dioda atau *transducer* optoelektronik. Dari sentral sampai ke arah *subscriber* akan dilakukan distribusi menggunakan *splitter* pasif (1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64). Pada perancangan dan instalasi teknologi GPON beberapa perangkat yang akan digunakan antara lain sebagai berikut [2]:

1. *Optical Line Terminal* (OLT)
2. *Optical Distribution Cabinet* (ODC)
3. *Optical Distribution Point* (ODP)
4. *Optical Network*
5. *Termination* (ONT)
6. *Feeder Fiber Optic*
7. *Kabel Drop*
8. *Patchcord*
9. *Roset*
10. *Optical Distribution Frame* (ODF)

D. Parameter Kinerja Transmisi Serat Optik

$$T_{\text{material}} = \Delta\sigma \times L \times D_m, \quad (2.4)$$

Parameter yang akan dianalisis pada kinerja transmisi serat optik yaitu *Power Link Budget* dan *Rise Time Budget*. Parameter tersebut akan menjadi tolak ukur untuk mendapatkan sebuah kinerja yang layak sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat diimplementasikan di lapangan. Berikut

parameter dan persamaan yang digunakan dalam perancangan jaringan FTTH [3]:

1. Power Link Budget

Power Link Budget (PLB) adalah parameter yang digunakan untuk menghitung estimasi daya minimum level daya penerima lebih besar atau sama. PLB merupakan metode total redaman yang memenuhi standar sepanjang link optik dari OLT sampai ke ONT. Redaman berasal dari redaman kabel, redaman konektor, redaman *splicing*, serta *margin system*. Perhitungan PLB berdasarkan standar yang ditetapkan ITU-T G.984 dan PT. Telkom Indonesia

$$\alpha_t = (L \times \alpha_{\text{serat}}) + (N_c \times \alpha_c) + (N_s \times \alpha_s) + Sp \quad (2.1)$$

perancangan berhasil jika daya penerima atau $P_{rx} \geq -28$ dBm.

Untuk persamaan total redaman *power link budget* yaitu: Persamaan untuk nilai daya yang diterima ONT atau sisi pelanggan, yaitu:

$$P_{rx} = P_{tx} - (\alpha_t + SM), \quad (2.2)$$

Keterangan:

α_t	= Redaman total sistem (dB)
α_{serat}	= Redaman serat optik (dB/km)
α_c	= Redaman konektor (dB/buah)
L	= Panjang total serat optik (km)
NC	= Jumlah konektor
Ns	= Jumlah sambungan
Sp	= Redaman splitter (dB)
Pt	= Daya keluaran sumber optik (dBm)
Pr	= Sensitivitas daya maksimum detector (dBm)
Prx	= Daya terima, sensitivitas penerima (dBm)
Ptx	= Daya kirim (dBm)
M	= <i>Margin</i> daya
SM	= <i>Safety Margin</i> (3 dB).

2. Rise Time Budget

Metode untuk menentukan batasan dispersi suatu link serat optik. Metode tersebut berfungsi untuk menganalisa sistem transmisi digital. *Rise Time Budget* untuk menganalisa kinerja jaringan secara keseluruhan untuk memastikan kinerja telah memenuhi kapasitas kanal yang diinginkan. Total waktu transisi dari *link* digital maksimum 70% dari satu bit NRZ (*Non-return-zero*) atau 35% untuk data RZ (*Return-to-zero*). Tujuan parameter *Rise Time Budget* untuk mengurangi tingkat error pada line coding yang digunakan. Persamaan untuk menghitung *Rise Time Budget*:

$$T_{\text{sys}} = (T_{tx}^2 + T_{\text{material}}^2 + T_{\text{intermodal}}^2 + T_{tx}^2)^{1/2}, \quad (2.3)$$

Keterangan:

T_{tx}	= <i>Rise time</i> pemancar (ns)
T	= <i>Rise time</i> penerima (ns)
$T_{\text{intermodal}}$	= <i>Rise time</i> dispersi intermodal
T_{material}	= <i>Rise time</i> dispersi material.

Persamaan untuk menghitung besarnya *rise time* disperse material:

Keterangan:

$\Delta\sigma$	= Lebar spektral (nm)
L	= Panjang serat optik (km)
D_m	= Dispersi material (ps/nm.km).

Besarnya waktu batas (Tr) untuk pengkodean NRZ dan RZ:

$$Tr = \frac{0.7}{\text{Bitrate}} \text{ (Pengkodean NRZ)} \quad (2.5)$$

$$Tr = \frac{0.35}{\text{Bitrate}} \text{ (Pengkodean RZ).} \quad (2.6)$$

E. Parameter Perancangan Sistem

Parameter yang akan dianalisis pada performansi transmisi serat optik yaitu *Signal to Noise Ratio*, *Q-factor* dan *Bit Error Rate*. Parameter tersebut akan menjadi tolak ukur untuk mendapatkan sebuah performansi sistem yang layak sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat diimplementasikan di lapangan. Berikut parameter dan persamaan yang digunakan dalam perancangan jaringan FTTH [4]:

1. Signal Noise to Ratio

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan daya sinyal terhadap daya noise. SNR parameter untuk menentukan suatu kualitas dari sebuah sinyal yang terganggu oleh derau, semakin besar nilai SNR maka system performansi bekerja dengan baik, untuk mendapatkan nilai SNR yang besar maka harus menggunakan komponen photodetector yang berefisiensi kuantum yang tinggi sehingga dapat memberikan sinyal besar. Standar nilai SNR yang ditetapkan oleh PT. Telkom Indonesia yaitu ≥ 22 dBm. Persamaan dari SNR dapat ditulis sebagai berikut:

$$SNR = 10 \log \frac{(Pin \times R \times M)^2}{2 \times (q) \times Pin \times R \times M^2 \times F(M) \times Be + \frac{4 \times KB \times T \times Be}{Rt}} \quad (2.7)$$

Dimana:

Pin = Daya yang diterima APD (Watt)

R = Responsitivity (A/W)

M = Avalanche Photodiode Gain

Q = Electron Charge ($1,69 \times 10^{-19}$)

F(M) = Noise Figure

Be = Receiver Electrical Bandwidth (Hz)

KB = Konstanta Boltzman's ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T = Suhu Ruangn (300K)

R = Resistansi (Ω)

2. Q-factor

Q-factor merupakan gambaran dari kualitas sinyal optik dengan nilai ideal 4 sampai 6 dan nilai yang baik adalah ≥ 6 . Nilai Q-factor saling berhubungan dengan nilai BER dan merepresentasikan *optical SNR*, dimana semakin besar nilai Q-factor maka semakin kecil nilai BER dan sebaliknya. Q-factor ditulis dalam persamaan berikut:

$$Q = \frac{10 \frac{SNR}{20}}{2} \quad (2.8)$$

Dimana:

SNR = *Signal To Noise Rasio*.

3. Bit Error Rate

Laju kesalahan bit yang terjadi pada saat pertransmision sinyal digital. BER yang dibutuhkan pada komunikasi optik yaitu kurang dari 10^{-9} . Faktor yang mempengaruhi BER adalah *noise*, *interferensi*, *distorsi*, *sinkronisasi* bit, redaman, *multipath fading*.

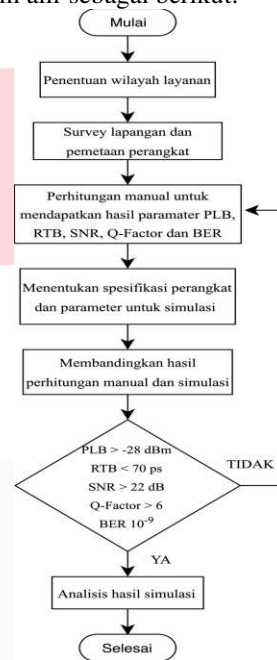
$$BER = Pe(Q) = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} \exp \frac{-Q^2}{2} \quad (2.9)$$

Maksimum nilai BER yang harus dipenuhi 10^{-9} ($BER \leq 1 \times 10^{-9}$), sedangkan nilai Q-Factor ($Q \geq 6$).

III. METODE

A. Diagram Alir Perancangan Serat Optik

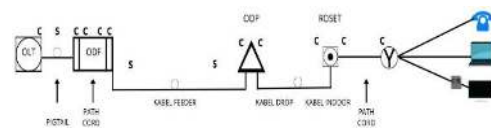
Perancangan jaringan serat optik pada Tugas Akhir ini dibuat berdasarkan syarat batasan tertentu agar data yang dianalisa memenuhi hasil yang optimal. Batasan perancangan jaringan serat optik pada Tugas Akhir ini bisa dilihat pada gambar 1 diagram alir sebagai berikut:



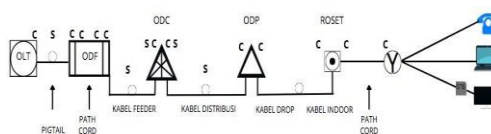
GAMBAR 1 Diagram Alir Perancangan FTTH.

B. Model Perancangan Fiber To The Home

Perancangan jaringan akses FTTH di Perumahan Taman Asri Indah Makassar menggunakan dua metode yaitu perancangan FTTH *Single Stage* dan *Two Stage*. Pada perancangan FTTH *Single Stage* dilakukan perancangan mulai dari OLT ke ODP menggunakan spliter 1:32 hingga ke ONT tanpa menggunakan perangkat ODC. Sedangkan perancangan FTTH *Two Stage* dilakukan perancangan dari OLT ke ODC menggunakan splitter 1:4 sampai ke ODP menggunakan splitter 1:8 hingga ke ONT. Model perancangan FTTH bisa dilihat pada gambar 2 dan gambar 3.



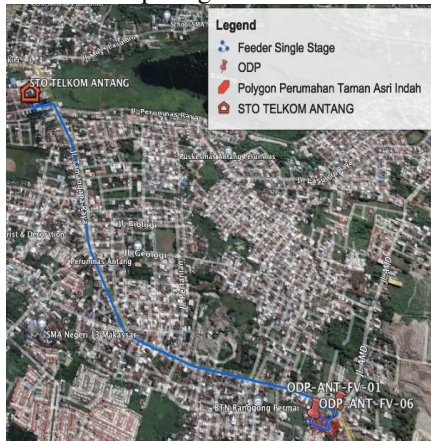
GAMBAR 2 Model Perancangan FTTH Single Stage.



GAMBAR 3 Model Perancangan FTTH Two Stage.

C. Menentukan Jalur Kabel FTTH Single Stage

Pada perancangan jaringan FTTH *Single Stage* di Perumahan Taman Asri Indah Penentuan jalur kabel dilakukan untuk mengetahui rute kabel dilapangan dan mengetahui panjang kabel yang dibutuhkan dalam perancangan. Menggunakan kabel *Aerial* panjang kabel *feeder* dari Panjang kabel dari OLT hingga ODP terjauh membutuhkan 1,95 Km, ODP terdekat 1,84 Km dan menggunakan kabel *drop core* ODP hingga ONT 0.01 Km. Jalur kabel bisa dilihat pada gambar 4 dibawah.



GAMBAR 4
Jalur Kabel Single Stage.

D. Menentukan Jalur Kabel FTTH Two Stage

Perancangan *FTTH Two Stage* menggunakan kabel *Aerial* panjang kabel *feeder* dari OLT hingga ODC membutuhkan 1,03 Km, menggunakan kabel *distribusi* ODC hingga ODP terdekat menempuh 0.80 Km, ODP terjauh menempuh 0,92 Km dan menggunakan kabel *drop core* dari ODP ke ONT 0,01 Km. Jalur kabel bisa dilihat pada gambar 5 dibawah.



GAMBAR 5
Jalur Kabel Two Stage

E. Kebutuhan Perangkat FTTH Single Stage

Perancangan jaringan akses *Fiber To The Home* dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm pada arah *downstream* dan daya *output transmitter* sebesar -1 dBm, dilengkapi 6 buah *splitter* 1:32 , 10 buah konektor, 3 splicing, pigtail, patchcord, roset serta *Optical receiver*. Berikut adalah daftar kebutuhan perangkat pada simulasi perancangan jaringan akses *Fiber To The Home* dengan teknologi GPON

untuk layanan *Triple Play*. Berikut daftar kebutuhan perangkat dituliskan pada tabel 1.

TABEL 1
Daftar Kebutuhan Perangkat Single Stage.

No	Nama Perangkat	Jumlah	Unit	Keterangan
1	OLT	1	Buah	Di Dalam Ruangan
2	ODP	6	Buah	Di Dalam Ruangan
3	ONT	45	Buah	Di Dalam Rumah
4	PS 1:32	6	Buah	Di Dalam ODP
5	Konektor	1	Buah	Di Setiap Perangkat
6	Kabel Feeder	1,95	Km	Outdoor
7	Kabel Drop	0,01	Km	Indoor
8	Splicing	3	Buah	Indoor
9	Patchcord	0,013	Km	Indoor
10	Roset	1	Buah	Indoor
11	Pigtail	0,002	Km	Indoor

F. Kebutuhan Perangkat FTTH Two Stage

Perancangan jaringan akses *Fiber To The Home* dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm pada arah *downstream* dan daya *output transmitter* sebesar 2 dBm, dilengkapi 2 buah *splitter* 1:4 dan 1:8, 12 buah konektor, 5 splicing, pigtail, patchcord, roset serta *Optical receiver*. Daftar kebutuhan perangkat dituliskan pada tabel 2 dibawah ini.

TABEL 2
Daftar Kebutuhan Perangkat Two Stage.

No	Nama Perangkat	Jumlah	Unit	Keterangan
1	OLT	1	Buah	Di Dalam Ruangan
2	ODC	1	Buah	Di Dalam Ruangan
3	ODP	6	Buah	Di Dalam Ruangan
4	ONT	45	Buah	Di Dalam Rumah
5	PS 1:4	2	Buah	Di Dalam ODC
6	PS 1:8	6	Buah	Di Dalam ODP
7	Konektor	12	Buah	Di Setiap Perangkat
8	Kabel Feeder	1,03	Km	Outdoor
9	Kabel Distribusi	0,92	Km	Outdoor
10	Kabel Drop	0,01	Km	Indoor
11	Splicing	5	Buah	Indoor
12	Patchcord	0,013	Km	Indoor
13	Roset	1	Buah	Indoor
14	Pigtail	0,002	Km	Indoor

G. Perhitungan Parameter Kinerja Transmisi Serat Optik Single Stage

1. Power Link Budget

Downstream ODP-ANT-FV-06 Jarak Terjauh

Perhitungan *Power Link Budget* menggunakan persamaan 2.1

$$\alpha_t = (L \times \alpha_{serat}) + (N_c \times \alpha_c) + (N_s \times \alpha_s) + Sp_{1:32}$$

$$\alpha_t = ((1,03 \times 0,35) + (0,92 \times 0,35) + (0,1 \times 0,35) + (0,002 \times 0,35) + (0,01 \times 0,35) + (0,003 \times 0,35)) + (10 \times 0,25) + ((3 \times 0,1) + (1 \times 0,1)) + (18,6)$$

$$\alpha_t = (0,72275) + (2,5) + (0,4) + (18,6)$$

$$\alpha_t = 22,222 \text{ dB}$$

Perhitungan daya terima *receiver* dengan menggunakan persamaan 2.2

$$P_{rx} = P_{tx} - \alpha_t + MS$$

$$P_{rx} = -1 - (22,222 + 3)$$

$$P_{rx} = -26,222 \text{ dBm}$$

Dari perhitungan tersebut, didapatkan hasil daya terima *receiver* (P_{rx}) sebesar $-26,222$ dBm. Hasil tersebut memenuhi syarat standarisasi PT. Telkom Indonesia yaitu sebesar -28 dBm.

2. Rise Time Budget

Downstream OLT-ODP ANT-FV-06 Terjauh

Perhitungan pengkodean NRZ dan RZ menggunakan persamaan 2.5 dan persamaan 2.6

$$\text{NRZ ; } T_r = \frac{0.7}{\text{Bitrate}} = \frac{0.7}{2,488 \times 10^9} = 0,28135 \text{ ns}$$

$$\text{RZ ; } T_r = \frac{0.35}{\text{Bitrate}} = \frac{0.35}{2,488 \times 10^9} = 0,14067 \text{ ns}$$

Perhitungan $T_{material}$ dan T_{system} sample ODP terjauh yaitu 1,96 Km dengan menggunakan persamaan 2.5 dan persamaan 2.4

$$\begin{aligned} T_{material} &= \sigma \lambda \times L \times Dm \\ &= 1 \text{ nm} \times 1,96 \times 0.01364 \text{ ns/nm.Km} \\ &= 0,0267344 \text{ ns} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{system} &= (T_{tx}^2 + T_{material}^2 + T_{intermodal}^2 + T_{rx}^2)^{1/2} \\ &= ((0.15)^2 + (0.0267344)^2 + (0)^2 + (0.15)^2)^{1/2} \\ &= 0,21381 \text{ ns} \end{aligned}$$

Hasil yang didapatkan dari perhitungan T_{system} sebesar 213,81 ps. Hasil tersebut berada dibawah nilai T_r NRZ. Nilai tersebut menandakan perancangan layak untuk digunakan dan memenuhi sistem *Rise Time Budget*.

H. Perhitungan Parameter Performansi Perancangan Sistem Single Stage

1. Signal to Noise Ratio, Q-factor dan BER

Downstream Single Stage Terjauh

$$Prx = -26,222 \text{ dBm} = 2,386 \times 10^{-6} \text{ Watt}$$

Downstream ODP ANT-FV-06 Terjauh

Perhitungan SNR pada jarak ODP terdekat (1,96 Km) menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut:

$$\text{SNR} = 10 \log \frac{(PinRM)^2}{2(q)Pin.R.M^2.F(M).Be + \frac{4.K_B.T.Be}{R_l}}$$

$$\text{SNR} = 10 \log \frac{(2,386 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^2)^2}{2(1,69 \times 10^{-19}) \times 1,895 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^2 \times 10^{0,7} \times 2,5 \times 10^4 + \frac{4 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 298,15 \times 2,5 \times 10^2}{50}}$$

$$\text{SNR} = 10 \log \frac{5,692 \times 10^{-10}}{1,010 \times 10^{-12} + 8,228 \times 10^{-13}}$$

$$\text{SNR} = 10 \log 310,520$$

$$\text{SNR} = 24,920 \text{ dB}$$

Sehingga perhitungan *Q-factor* menggunakan persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$Q = \frac{10 \frac{SNR}{20}}{2}$$

$$Q = \frac{10 \frac{24,920}{20}}{2}$$

$$Q = 6,230$$

Sehingga perhitungan BER menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$\text{BER} = Pe(Q) = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} \exp^{-\frac{Q^2}{2}}$$

$$\text{BER} = Pe(Q) = \frac{1}{6,230\sqrt{2\pi}} \exp^{-\frac{6,230^2}{2}}$$

$$\text{BER} = Pe(Q) = 2,386 \times 10^{-10}$$

I. Perhitungan Parameter Kinerja Transmisi Serat Optik Two Stage

1. Power Link Budget

Downstream ODP-ANT-FV-06 Jarak Terjauh

Perhitungan *Power Link Budget* menggunakan persamaan 2.1

$$\alpha_t = (L \times \alpha_{serat}) + (N_c \times \alpha_c) + (N_s \times \alpha_s) + Sp$$

$$\begin{aligned} \alpha_t &= ((1,03 \times 0,35) + (0,92 \times 0,35) + (0,1 \times 0,35) + \\ &\quad (0,002 \times 0,35) + (0,01 \times 0,35) + (0,003 \times 0,35)) + \\ &\quad (12 \times 0,25) + ((5 \times 0,1) + (1 \times 0,1)) + (7,8 + 11,4) \end{aligned}$$

$$\alpha_t = (0,72275) + (3) + (0,6) + (19,2)$$

$$\alpha_t = 23,522$$

Perhitungan daya terima *receiver* dengan menggunakan persamaan 2.2

$$P_{rx} = P_{tx} - \alpha_t + MS$$

$$P_{rx} = 2 - (23,522 + 3)$$

$$P_{rx} = -24,522 \text{ dBm}$$

Dari perhitungan tersebut, didapatkan hasil daya terima *receiver* (P_{rx}) sebesar $-24,522$ dBm. Hasil tersebut memenuhi syarat standarisasi PT. Telkom Indonesia yaitu sebesar -28 dBm.

2. Rise Time Budget

Downstream OLT-ODP ANT-FV-06 Terjauh

Perhitungan pengkodean NRZ dan RZ menggunakan persamaan 2.5 dan persamaan 2.6

$$\text{NRZ ; } T_r = \frac{0.7}{\text{Bitrate}} = \frac{0.7}{2,488 \times 10^9} = 0,28135 \text{ ns}$$

$$\text{RZ ; } T_r = \frac{0.35}{\text{Bitrate}} = \frac{0.35}{2,488 \times 10^9} = 0,14067 \text{ ns}$$

Perhitungan $T_{material}$ dan T_{system} sample ODP terjauh yaitu 1,96 Km dengan menggunakan persamaan 2.5 dan persamaan 2.4

$$\begin{aligned} T_{material} &= \sigma \lambda \times L \times Dm \\ &= 1 \text{ nm} \times 1,96 \times 0.01364 \text{ ns/nm.Km} \\ &= 0,0267344 \text{ ns} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{system} &= (T_{tx}^2 + T_{material}^2 + T_{intermodal}^2 + T_{rx}^2)^{1/2} \\ &= ((0.15)^2 + (0.0267344)^2 + (0)^2 + (0.15)^2)^{1/2} \\ &= 0,21381 \text{ ns} \end{aligned}$$

Hasil yang didapatkan dari perhitungan T_{system} sebesar 213,81 ps. Hasil tersebut berada dibawah nilai T_r NRZ. Nilai tersebut menandakan perancangan layak untuk digunakan dan memenuhi sistem *Rise Time Budget*.

J. Perhitungan Parameter Performansi Perancangan Sistem Two Stage

1. Signal to Noise Ratio, Q-factor dan BER

Downstream

$$Prx = -24,522 \text{ dBm} = 3,530 \times 10^{-6} \text{ Watt}$$

Downstream ODP ANT-FV-06 Terjauh

Perhitungan SNR pada jarak ODP terdekat (1,96 Km) menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut:

$$SNR = 10 \log \frac{(PinRM)^2}{2(q)Pin.R.M^2.F(M).Be + \frac{4.K_B.T.Be}{R_l}}$$

$$SNR = 10 \log \frac{(3,530 \times 10^{-6} \cdot 1,10)^2}{2(1,69 \times 10^{-19}) \times 3,530 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^2 \times 10^{10} \times 2,5 \times 10^4 + \frac{4 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 298,15 \times 2,5 \times 10^4}{50}}$$

$$SNR = 10 \log \frac{1,246 \times 10^{-9}}{1,494 \times 10^{-12} + 8,228 \times 10^{-13}}$$

$$SNR = 10 \log 537,603$$

$$SNR = 27,304 \text{ dB}$$

Sehingga perhitungan *Q-factor* menggunakan persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$Q = \frac{10 \frac{SNR}{20}}{2}$$

$$Q = \frac{10 \frac{27,304}{20}}{2}$$

$$Q = 6,826$$

Sehingga perhitungan BER menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$BER = Pe(Q) = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{Q^2}{2}\right)$$

$$BER = Pe(Q) = \frac{1}{6,826\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{6,826^2}{2}\right)$$

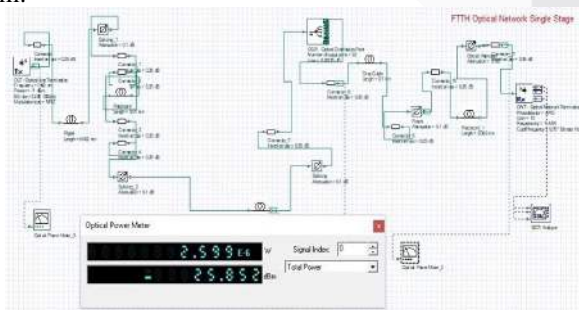
$$BER = Pe(Q) = 4,455 \times 10^{-12}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Hasil Kelayakan link

1. Analisis Hasil Power Link Budget Single Stage

Pada Gambar 6 menginputkan daya pancar OLT sebesar -1 dBm dengan frekuensi 1490 nm dengan hasil simulasi *downstream* terjauh sebesar Prx -25,852 dBm. Hasil perancangan layak dan memenuhi standarisasi PT. Telkom Indonesia untuk nilai maksimum daya terima sebesar -28 dBm.



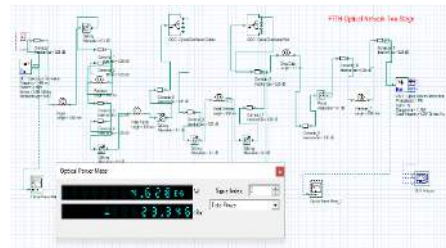
GAMBAR 6

Hasil Simulasi Single Stage Terjauh.

2. Analisis Hasil Power Link Budget Two Stage

Pada Gambar 7 menginputkan daya pancar OLT sebesar 2 dBm dengan frekuensi 1490 nm dengan hasil simulasi *downstream* jarak terdekat sebesar Prx -23,304 dBm dan

downstream jarak terjauh sebesar Prx -23,346 dBm. Hasil perancangan layak dan memenuhi standarisasi PT. Telkom Indonesia untuk nilai maksimum daya terima sebesar -28 dBm.



GAMBAR 7

Hasil simulasi Two Stage Terjauh.

3. Analisis Hasil Rise Time Budget

Perhitungan *Rise Time Budget* untuk konfigurasi konfigurasi *downstream* terjauh di dapatkan nilai T_{sys} 213,81 ps. Hasil perhitungan tersebut di bawah nilai batas maksimum *rise time* dari *bitrate* sinyal pengkodean NRZ sebesar untuk *downstream* 281,35 ps. Dapat di simpulkan bahwa hasil yang didapatkan memenuhi *Rise Time Budget* pada pengkodean sinyal NRZ bernilai 70% dari periode bit yang digunakan untuk menentukan batasan dispersi suatu link komunikasi serat optik yang membatasi kemampuan transmisi kecepatan bit agar tidak terjadi *error* pada laju bit. Berdasarkan hasil yang di dapatkan perancangan ini layak diimplementasikan

4. Analisis Hasil Signal to Noise Ratio

Hasil dari perhitungan manual *Signal to Noise Ratio* didapatkan nilai untuk perancangan FTTH *Single Stage Downstream* terjauh sebesar 24,920 dB. Sedangkan hasil untuk perancangan *Two Stage Downstream* terjauh sebesar 27,304 dB. Berdasarkan hasil perhitungan *Signal to Noise Ratio* diatas untuk kualitas SNR terkoneksi baik, throughput rendah sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan yang didapatkan memenuhi standar kelayakan pada $SNR \geq 22$ yaitu *very good signal*.

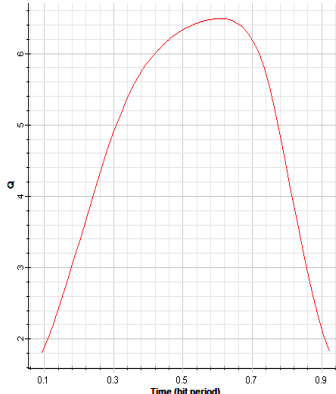
5. Analisis Q-factor

Setelah melakukan perhitungan *Signal to Noise Ratio* didapatkan hasil perhitungan manual *Q-factor* pada Perancangan FTTH *Two Stage Downstream* terjauh sebesar 6,826. Sedangkan untuk hasil *Q-factor* Perancangan FTTH *Single Stage Downstream* terjauh sebesar 6,230. Dari hasil yang telah didapatkan memenuhi standar kelayakan *Q-Factor* nilai ideal 4 sampai 6 ($Q-Factor \geq 6$).

B. Analisis Kelayakan Parameter Sistem

1. Analisis BER Downstream Perancangan FTTh Single Stage

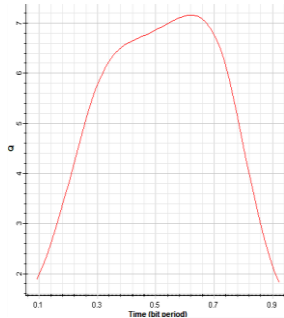
Pada gambar 8 hasil simulasi BER pada perancangan FTTH *Single Stage* di dapatkan hasil untuk *Downstream* terjauh sebesar $4,343 \times 10^{-11}$ dengan nilai *Q-factor* 6,488. Nilai simulasi *Downstream* yang di dapatkan memenuhi standar BER ideal untuk transmisi serat optik yaitu 10^{-9} dan memenuhi standar *Q-factor* yaitu ≥ 6 .



GAMBAR 8
Q-factor Single Stage terjauh.

2. Analisis BER Downstream Perancangan FTTH Two Stage

Pada gambar 9 hasil simulasi BER pada perancangan FTTH Two Stage di dapatkan nilai simulasi untuk Downstream terjauh sebesar $4,109 \times 10^{-13}$ dengan nilai Q-factor 7,157. Nilai simulasi Downstream yang di dapatkan memenuhi standar BER ideal untuk transmisi serat optik yaitu 10^{-9} dan memenuhi standar Q-Factor nilai ideal 4 sampai 6 ($Q-Factor \geq 6$).



GAMBAR 9
Q-factor Two Stage terjauh.

C. Analisis Perhitungan Manual dan Simulasi

Data yang telah didapatkan dari hasil perhitungan manual PLB Prx, RTB, SNR, Q-factor dan BER dari 4 skenario yang digunakan, yaitu Perancangan FTTH Single Stage Downstream jarak terdekat (1,84 Km), Downstream jarak terjauh (1,96 Km), Perancangan FTTH Two Stage Downstream jarak terdekat (1,84 Km) dan Downstream jarak terjauh (1,96 Km). Hasil perhitungan manual bisa dilihat pada table 3 dan hasil perhitungan simulasi bisa dilihat pada tabel 4 dibawah ini.

TABEL 3
Hasil Perhitungan Manual.

Parameter	Downstream Two Stage		Downstream Single Stage		Target Minimal
	Jarak Terdekat	Jarak Terjauh	Jarak Terdekat	Jarak Terjauh	
Prx	-24,480 dBm	-24,522 dBm	-26,180 dBm	-26,222 dBm	-25 dBm
SNR	27,360 dB	27,304 dB	24,981 dB	24,920 dB	25 dB
Q-Factor	6,840	6,826	6,245	6,230	6
BER	$4,034 \times 10^{-12}$	$4,455 \times 10^{-12}$	$2,170 \times 10^{-10}$	$2,386 \times 10^{-10}$	10^{-9}
RTB	213,61 ps	213,81 ps	213,61 ps	213,81 ps	< 281,35 ps

TABEL 4
Hasil Perhitungan Simulasi.

Parameter	Downstream Two Stage		Downstream Single Stage		Target Minimal
	Jarak Terdekat	Jarak Terjauh	Jarak Terdekat	Jarak Terjauh	
Prx	-23,304 dBm	-23,346 dBm	-25,809 dBm	-25,852 dBm	-25 dBm
Q-Factor	6,848	7,157	6,181	6,488	6
BER	$3,730 \times 10^{-12}$	$4,109 \times 10^{-13}$	$3,181 \times 10^{-10}$	$4,343 \times 10^{-11}$	10^{-10}

Hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan simulasi terdapat sedikit selisih perbedaan. Hasil simulasi yang didapatkan lebih baik dan memenuhi target minimal PT. Telkom Indonesia. Hal ini perancangan FTTH menggunakan teknologi GPON untuk layanan Triple Play di Perumahan Taman Asri Indah layak diimplementasikan.

D. Bill Of Quantity

Setelah melakukan perancangan jaringan Fiber To The Home menggunakan teknologi GPON di Perumahan Taman Asri Indah telah memenuhi standar kelayakan link dan performansi sistem langkah selanjutnya dilakukan perhitungan biaya pengadaan perangkat, biaya jasa pengerjaan dan jumlah volume perangkat yang digunakan dalam perancangan untuk merealisasikan perancangan tersebut. Perhitungan biaya pengadaan perangkat, biaya jasa pengerjaan dan volume perangkat yang digunakan pada perancangan dituangkan dalam tabel Bill Of Quantity dibawah ini [5]:

1. Bill Of Quantity Single Stage

Setelah dilakukan perhitungan tabel 5 BoQ di dapatkan total biaya yang diperlukan untuk merealisasikan perancangan jaringan FTTH Single Stage menggunakan teknologi GPON untuk layanan Triple play di Perumahan Taman Asri Indah sebesar Rp. 842.882.939 terbilang Delapan Ratus Empat Puluh Dua Juta Delapan Ratus Delapan Puluh Dua Ribu Sembilan Ratus Tiga Puluh Sembilan Rupiah dengan rincian biaya material sebesar Rp. 174.843.334 dan biaya jasa sebesar Rp. 668.039.605

TABEL 5
BoQ Single Stage.

RINCIAN BARGA SATUAN PENGADAAN DAN PEMASANGAN ORP-FO SINGLE STAGE						
NO	DESCRIPTOR	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	JUMLAH		TOTAL
				Material	Jasa	
A. Survey dan Pekerjaan						
1	BE	Survey, design & engineering	Unit	-	100.000.000	100.000.000
2	P-BOW	Pertanian PCL, Pemda, Kowam (pilih setiap)	Unit	-	100.000.000	100.000.000
3	P-BOW	Kontribusi Lapangan	Unit	-	100.000.000	100.000.000
B. Material Pemasangan dan Pemasangan Optik						
4	OLT	GPON OLT 1 port (1,96)	Sat	41.000.000	5.200.000	41.000.000
5	TR-ORP-Capacity	Pengadaan dan pemasangan Case Rack ORP	Sat	14.937.006	700.000	14.937.006
6	AC-ORP-800-ND	Pengadaan dan pemasangan Kabel Uless Fiber Optik Single Mode Ww core G.652 D	Meter	24.540	175.000	47.005.950
7	PC-UPC-40-1	Pengadaan dan pemasangan Patch cord 1 meter (PC/LC/SC-UPC To LC/LC/SC-UPC/LC/SC)	Meter	62.200	35.000	62.200
8	ORP-CA-12	Pengadaan dan pemasangan ORP type Cleaver Aerial Kapasitas 12 core berkulit epoxy pemrosesan (1,12), konektor SC, berkulit polibutadi	Sat	2.115.990	177.345	12.695.946
9	PS-42-ORP	Pengadaan dan pemasangan Pasive Splitter 1:12	Sat	1.190.004	56.000	7.176.004
10	ONT	Model FTS-0111 (1,0205) WIG	Sat	299.900	45.287	13.495.500
11	84N-SC-1P	Pemasangan dan terminasi konektor Optical Outdort with SC konektor - kcp 1 port berkulit pcpal	Sat	66.197	55.616	2.977.665
12	PS-82-140	Pengadaan dan Pemasangan Tumpukan 7 core, berkulit epoxy pemrosesan dengan ketebalan tarik 140 kg untuk di dalam pemrosesan. Untuk pemrosesan menggunakan tang plastik.	Fps	1.757.200	350.000	10.540.740
C. Material, Perbaikan dan Instalasi						
13	MR-RRH	Pekerjaan Perbaikan Handhole Type 1001 ukuran diameter (P.X.L X T = 170x150x10) core beton 1 : 2 : 3	Fps	5.995.640	2.440.935	23.981.840
				MATERIAL		174.843.334
				JASA		668.039.605
				TOTAL		842.882.939

2. Bill Of Quantity Two Stage

Setelah dilakukan perhitungan tabel 6 BoQ di dapatkan total biaya yang diperlukan untuk merealisasikan perancangan jaringan FTTH Two Stage menggunakan teknologi GPON untuk layanan Triple play di Perumahan Taman Asri Indah sebesar Rp. 869.329.587 terbilang *Delapan Ratus Enam Puluh Sembilan Juta Tiga Ratus Dua Puluh Sembilan Ribu Lima Ratus Delapan Puluh Tujuh Rupiah* dengan perhitungan rincian biaya material sebesar Rp. 189.243.392 dan biaya jasa sebesar Rp. 680.086.195.

TABEL 6
BoQ Two Stage.

RINCIAN BARGA SATUAN PENGADAAN DAN PEMASANGAN OSPFO TWO STAGE						
NO	DESIGNATOR	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	SUSEL		TOTAL
				Material	Jasa	
A	Service dan Perizinan					
1	DES	Service, desain & engineering	Unit	100.000.000	1	100.000.000
2	P-BOW	Perizinan PU, Perizinan, Koneksi, dan lain-lain	Unit	103.000.000	1	103.000.000
3	P-BOW	Koordinasi Lapangan	Unit	100.000.000	1	100.000.000
B	Kabel, Perambatan dan Peralatan Optik					
4	OLT	GPON OLT 1 port G.802	Set	41.000.000	1	41.000.000
5	TR-ODC-Capacity	Pengadaan dan pemasangan Choc Back ODF Single Mode 96 core G.652 D	Set	14.937.000	1	14.937.000
6	AC-OF-SM-90D	Pengadaan dan pemasangan Kabel Ultra Fiber Optik Single Mode 96 core G.652 D	Meter	24.501	1.030	25.207.030
7	PC-UPC-652-1	Pengadaan dan pemasangan Patch cord 1 meter (PCL/SC-LPC To PCL/SC-LPC), G.652 D	Meter	62.203	1	62.203
8	ODC-C-144	Pengadaan dan pemasangan Labiet ODC (Onkoro) kapasitas 144 core dengan space untuk splitter modular termasuk material koneksi SC, pigtail, penutup berlogo keramik, lem, kerp keramik, plastik pengaman (5 buah), berikut pelabahan	Set	29.006.862	1	29.006.862
9	PS-1-4-ODC	Pengadaan dan pemasangan Pasive Splitter 1:4	Set	410.330	36.008	820.660
10	SITAC	Aksesori Lahan SITAC ODC	Unit	6.673.862	1	6.673.862
11	AC-OF-SM-12D	Pengadaan dan pemasangan Kabel Ultra Fiber Optik Single Mode 12 core G.652 D	Meter	18.348	1.750	16.880.180
12	ODP-C-18	Pengadaan dan pemasangan ODP type Closeout Aerial Kapasitas 8 core berikut space pasive splitter (1:8), koneksi SC, berikut pelabahan	Set	1.715.991	177.365	10.295.946
13	PS-1-8-ODP	Pengadaan dan pemasangan Pasive Splitter 1:8	Set	672.014	36.008	4.032.084
14	ONT	Retail FMS (R11), R245, Wifi	Set	299.900	45.207	13.495.500
15	BS-IN-SC-1P	Pemasangan dan terminasi Reseptor Optical (Order with SC Connector) kapasitas 1 port berikut pigtail	Set	66.157	55.636	2.977.065
16	PU-S7-B-140	Pengadaan dan Pemasangan Tang Best 7 mm, berikut cat & cor panduan dan accessories dengan lekukan tarik 140 kg untuk di dalam perumahan. Dilarang perumahan menggunakan tang oksidasi	Pcs	1.062.706	250.000	6.376.236
C	Mudah, Perbaikan dan Modifikasi					
17	MH-HH1	Pekerjaan Pembuatan Handhole Type HH1 ukuran dimensi dalam (P x L x T = 170x150x165) core beton 1 : 2 : 3	Pcs	5.995.460	2.440.933	23.981.840
MATERIAL						189.243.392
JASA						680.086.195
TOTAL						869.329.587

REFERENSI

- [1] A. ' . N. A. Y. d. Sahid Ridho, "Perancangan Jaringan Fiber To The Home (FTTH) pada Perumahan di Daerah Urban," vol. 9, p. 95, 2020.
- [2] D. Fourman, "PERANCANGAN DAN ANALISIS JARINGAN AKSES FIBER TO THE HOME (FTTH) DENGAN TEKNOLOGI GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON) DI PERUMAHAN GRAND SHARON," p. 13, 2019.
- [3] Johan Susilo, Hafidudin, M.A Yusuf, *PERANCANGAN JARINGAN FIBER TO THE HOME (FTTH) DI DESA PEDAN TELKOM KLATEN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON) UNTUK LAYANAN TRIPLE PLAY*, 2018.
- [4] H. Fadillah, in *PERANCANGAN JARINGAN FIBER TO THE HOME DENGAN TEKNOLOGI 10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORK DI PERUMAHAN ANGKASA INDAH PERMAI BANDA ACEH*, Bandung, Universitas Telkom, 2022, pp. 22-23.
- [5] P. T. I. Tbk, "Peraturan Direktur Network & IT Solution Perusahaan Perseroan (Persero)," in *Pedoman Desain Dan Perancangan Integrated Optical Distribution Network (i-ODN)*, JAKARTA, 2019.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan kelayakan link dan performansi sistem pada perancangan jaringan FTTH menggunakan teknologi GPON untuk hasil Power Link Budget (Prx) dan BER metode Single Stage dan Two Stage di Perumahan Taman Asri Indah, dapat disimpulkan bahwa perancangan yang layak di implementasikan di Perumahan Taman Asri Indah adalah perancangan FTTH menggunakan metode Single Stage karena hasil perhitungan kelayakan link simulasi Prx *downstream* jarak terjauh sebesar -25,852 dBm memenuhi standar yaitu Prx ≥ 28 dBm dan simulasi performansi sistem BER *downstream* jarak terjauh sebesar $4,343 \times 10^{-11}$ mendekati nilai BER ideal 10^{-9} dengan total biaya untuk perancangan menggunakan metode Single Stage adalah sebesar Rp. 842.882.939 dengan selisih biaya metode Two Stage sebesar Rp. 26.446.648. Berdasarkan hasil perhitungan manual dan simulasi yang didapatkan memenuhi standar ITU-T dan PT. Telkom Indonesia sehingga perancangan jaringan FTTH menggunakan teknologi GPON untuk layanan Triple Play di Perumahan Taman Asri Indah layak di implementasikan.