

ANALISIS KINERJA TRANSMITTER OPTIK LASER PADA TEKNOLOGI XG-PON

Analysis Of Optical Transmitter Laser Performance In XG-PON Technology

Yayan Fauzhi Nur Rosid¹, Sugito², M. Irfan Maulana³

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

¹fauzhiy@yahoo.co.id, ²sugito@telkomuniversity.ac.id, ³muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Dengan pesatnya perkembangan kebutuhan masyarakat akan kecepatan data, maka diperlukan kapasitas yang besar juga untuk dapat melayani kebutuhan tersebut maka teknologi GPON saat ini yang berbasis kabel fiber optik sedang dikembangkan menjadi lebih baik, salah satu teknologi yang berkembang saat ini adalah teknologi XG-PON. Jenis *transmitter* pada sistem komunikasi serat optik ada dua yaitu laser dan LED. Pada penelitian ini akan membahas mengenai analisis performansi *transmitter* laser pada teknologi 10-Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON) dengan menggunakan dua *receiver* yaitu APD dan PIN. 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. Hasil dari penelitian ini adalah daya terima *downstream* dan *upstream* mempunyai level daya terima diatas sensitivitas *photodetector* APD dan PIN. Nilai BER pada *upstream* dan *downstream* yang didapat pada *photodetector* APD dan PIN dengan jarak terjauh 60 km tidak ada nilai BER yang memenuhi batasan nilai yang diinginkan. Dari total 66 pengambilan data pada *downstream* dan *upstream*, dapat disimpulkan bahwa APD lebih bagus dari pada PIN.

Kata Kunci : XG-PON (10-Gigabit-capable Passive Optical Network), transmitter, software simulasi optik

Abstract

With the rapid development of the community's need for data speeds, it is necessary that large capacity is also able to serve these needs, the current GPON technology based on fiber optic cable is being developed to be better, one of today's emerging technologies is XG-PON technology. Types of transmitters in fiber optic communication systems there are two namely laser and LED. In this research will discuss about laser transmitter performance analysis on 10-Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON) technology using two receivers, namely APD and PIN. Parameters to be used in this research include power budget (LPB), rise time budget (RTB) and bit error rate (BER) based on simulation result. The result of this research is downstream and upstream receiving power has received power level above the sensitivity of photodetector APD and PIN. BER values on upstream and downstream obtained on the APD and PIN photodetector with the farthest distance of 60 km there is no BER value that meets the desired value limit. Of a total of 66 data retrieval on the downstream and upstream, it can be inferred that APD is better than the PIN.

Keywords: XG-PON (10-Gigabit-capable Passive Optical Network), transmitter, optical simulation software

1. Pendahuluan

Dengan pesatnya perkembangan tersebut, maka diperlukan kapasitas yang besar juga untuk dapat melayani kebutuhan tersebut maka teknologi GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) saat ini yang berbasiskan kabel fiber optik sedang dikembangkan menjadi lebih baik, salah satu teknologi yang berkembang saat ini adalah teknologi XG-PON. XG-PON (*10-Gigabit-Capable Passive Optical Network*) merupakan perkembangan teknologi dari GPON. XG-PON diharapkan mampu menyalurkan data transmisi secara lebih efektif dan optimal. XG-PON merupakan salah satu teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T (*International Telecommunication Union*). Pada penelitian ini akan membahas mengenai analisis performansi *transmitter* laser pada teknologi 10-Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON) dengan menggunakan dua *receiver* yaitu APD dan PIN. 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. PON

2.1 Passive Optical Network (PON)

PON merupakan jaringan telekomunikasi yang menggunakan jenis transmisi *point-to-multipoint* dengan menggunakan *splitter* pasif. *Splitter* pasif ini memiliki satu masukan dan banyak keluaran dan bersifat pasif karena tidak memerlukan sumber energi eksternal [1].

2.2 Perkembangan PON

Tabel 1 Perbandingan Teknologi PON

| Karakteristik | PON | GPON | GEAPON | XG-PON |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|
| Standard | ITU-T G.983 | ITU-T G.984 | IEEE 802.3ah | ITU-T G.987 |
| Downstream | 622 Mbps | 2488 Mbps | 1000 Mbps | 10 Gbps |
| Upstream | 155 Mbps | 1244 Mbps | 1000 Mbps | 2,5 Gbps |
| Panjang Gelombang | 1480-1580 DS 1260-1360 UP | 1480-1500 DS 1290-1330 UP | 1250 DS 1250 UP | 1575-1580 DS 1260-1280 UP |

2.3 XG-PON (10-Gigabit-capable Passive Optical Network)

Prinsip kerja dari XG-PON sama dengan prinsip kerja GPON, hanya ada pengembangan pada kapasitasnya saja, yaitu untuk XG-PON memiliki kapasitas *downstream* sebesar 10 Gbps dan kapasitas *upstream* sebesar 2.5 Gbps. Komponen yang akan digunakan pada XG-PON ini hampir sama dengan komponen yang digunakan pada teknologi GPON, hanya saja ada beberapa komponen yang harus diganti agar dapat mendukung teknologi XG-PON ini tetapi masih dengan fungsi yang sama [2], Berikut komponen dari XG-PON yang dipakai:

1. Optical Line Terminal (OLT)

OLT menyediakan *interface* antara sistem *Optical Distribution Network* (ODN) dengan penyedia layanan (*service provider*) data, video, dan jaringan telepon. OLT mengubah sinyal elektrik menjadi optik dan sebaliknya, dan berfungsi sebagai alat multiplex. Pada blok *optical line terminal* (OLT) terdiri dari beberapa perangkat diantaranya adalah:

- Laser adalah laser semikonduktor yang prinsip kerjanya mirip dengan LED (*light emitting diode*) hanya saja foton yang dihasilkan bersifat koheren (memiliki hubungan fase yang tetap) akibat emisi yang terstimulasi [3].
- *User-defined bit sequenece generator* ini adalah generator urutan sedikit dimana pengguna dapat menentukan urutannya.
- Generator pulsa Generator NRZ menciptakan urutan pulsa non-return to zero yang dikodekan oleh sinyal digital input.
- Modulator Mach Zehnder merupakan salah satu jenis modulator yang memanfaatkan interaksi sinyal masukan elektrik dengan media interaksi. Secara umum, modulator Mach Zehnder memiliki dua bagian sistem modulasi yaitu modulasi fasa

untuk menjelaskan efek elektro optik dan modulasi amplitudo untuk menjelaskan proses interferometer.

2. Optical Distribution Network (ODN)

ODN terdiri dari *fiber* optik dan *passive splitters/couplers* serta aksesoris lain seperti konektor yang menjadikan elemen-elemen ODN terkoneksi. Pada blok *optical distributor network* (ODN) terdiri dari beberapa perangkat diantaranya adalah:

- Serat optik *singlemode* mempunyai *bandwidth* yang lebih kecil dibanding dengan serat optik *multimode* karena mempunyai diameter yang lebih kecil sehingga sangat efisien dalam penjalaran cahaya.
- *Splitter* adalah *Optical Fiber Coupler* sederhana yang membagi sinyal optik menjadi beberapa *path* (*multiple path*) atau sinyal-sinyal kombinasi dalam satu *path*.
- Konektor terdapat pada ujung dari serat optik yang terhubung langsung pada perangkat. Konektor pada fiber optik terbuat dari material yang sederhana seperti plastic, karet, dan kaca sehingga lebih praktis.
- Filter *butterworth* menghasilkan tanggapan frekuensi yang datar pada daerah *passband* dan redaman yang meningkat secara monotonik pada *stopband*.

3. Optical Network Terminal (ONT)

Sejumlah *Optical Network Terminal* (ONT) atau *Optical Network Unit* (ONU) diletakkan di beberapa lokasi dalam jaringan akses *broadband point-to-multipoint* antara *central office* dan *customer premises*. Pada blok *Optical Network Terminal* (ONT) terdiri dari beberapa perangkat diantaranya adalah:

- *Photodetector* atau *receiver optic* (Rx) adalah alat yang berfungsi untuk menerima sinyal informasi yang telah dikirim oleh Tx pada sistem komunikasi serat optik.

- Filter LPF umumnya digunakan pada bagian akhir dari sebuah pemancar yang berfungsi untuk menekan frekuensi harmonisa yang ada sehingga tidak ikut ditransmisi ke antena dan mengganggu station pemancar lain.
- Regenerator memiliki tiga fungsi, yaitu *retiming*, *regenerating* dan *reshaping* (3R).
- BER Analyzer memungkinkan pengguna untuk menghitung dan menampilkan *bit error rate* (BER) dari sinyal listrik secara otomatis.

2.4 Link Power Budget

Link Power Budget (LPB) dihitung sebagai syarat agar link yang kita rancang dayanya melebihi batas ambang dari daya yang dibutuhkan. LPB dapat didefinisikan sebagai total redaman *link* optik yang diijinkan sepanjang sumber hingga di titik penerima yang didapat dari redaman kabel, redaman konektor, redaman penyambungan, serta *margin system* [4]. Untuk menghitung *Link Power Budget* dapat dihitung dengan rumus :

$$\alpha_{\text{tot}} = L \cdot \alpha_{\text{serat}} + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + S_p \quad (2.1)$$

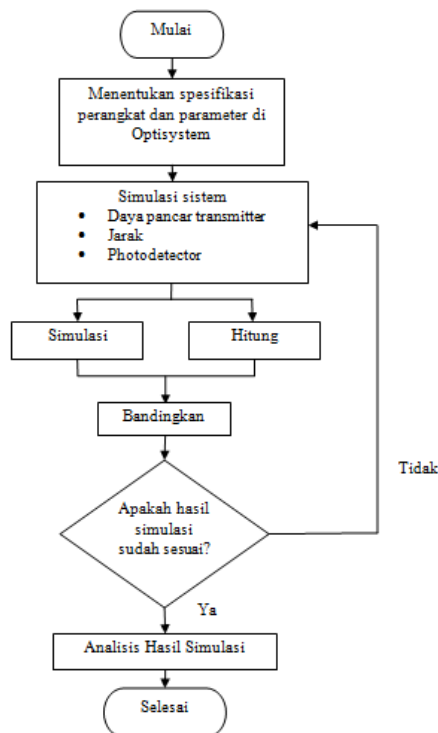
2.5 Rise Time Budget

Rise Time Budget merupakan metode untuk menentukan batasan disperse suatu *link* serat optik. Metode ini sangat berguna untuk menganalisis sistem transmisi digital. Tujuan dari metode ini adalah untuk menganalisa 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 periode bit NRZ (*Non-return-to-zero*) atau 35 persen dari satu periode bit untuk data RZ (*return-to-zero*). Satu periode *bit* didefinisikan sebagai 14 resiprokal dari *data rate* [5].

$$t_{\text{total}} = \sqrt{(t_{\text{tx}}^2 + t_{\text{intramodal}}^2 + t_{\text{intramodal}}^2 + t_{\text{rx}}^2)} \quad (2.2)$$

3. Perancangan Sistem

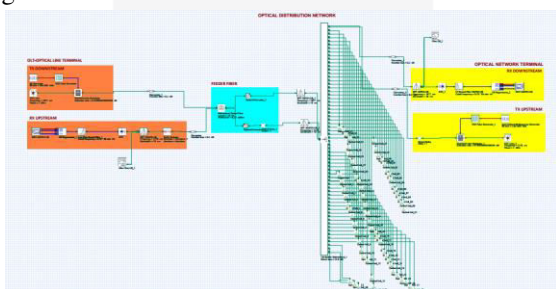
3.1 Diagram Alir Pengerjaan



Gambar 1 Diagram alir pengerjaan

3.2 Model Sistem

Dalam tugas akhir ini, dilakukan analisis dan simulasi terhadap transmitter optik pada jaringan XG-PON (10-Gigabit-capable Passive Optical Network) menggunakan *software* simulasi optik. Konfigurasi sistem pada simulator bisa dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Konfigurasi sistem pada simulator

3.3 Blok Optical Line Terminal (OLT)

Pada blok *optical line terminal* (OLT) yang diuji pada penelitian tugas akhir ini dirancang agar OLT dapat menerima transmisi data *upstream* maupun mengirimkan transmisi data *downstream*. Blok pengirim terdiri dari beberapa perangkat diantaranya adalah sumber optik berupa laser, *user defined bit sequence generator* sebagai pembangkit bit, NRZ (Non Return Zero) sebagai *line coding* dan

Mach Zender Modulator (MZM) sebagai modulator optik. Parameter yang digunakan pada blok OLT menggunakan data perangkat yang tersedia di lapangan dengan memperhatikan standar ITU-T.

3.4 Blok Optical Distribution Network (ODN)

Pada blok *optical distributer network* (ODN) yang diuji pada penelitian tugas akhir ini terdiri dari serat optik yang menjadi media transmisi yang menghubungkan antara OLT dan ONT. Parameter yang digunakan pada blok ODN menggunakan data perangkat yang tersedia di lapangan dengan memperhatikan standar ITU-T.

3.5 Blok Optical Network Terminal (ONT)

Pada blok *Optical Network Terminal* (ONT) yang diuji pada penelitian tugas akhir ini dirancang agar ONT dapat menerima transmisi data *downstream* maupun mengirimkan transmisi data *upstream*. Parameter yang digunakan pada blok ONT memperhatikan standar ITU-T.

4. Hasil Simulasi Dan Analisa

4.1 Link Power Budget (LPB)

Nilai daya terima pada penerima dianggap layak ketika BER ada diatas nilai sensitivitas penerima, Pada simulasi ini nilai sensitivitas *photodetector* APD dan PIN dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Nilai Sensitivitas *Photodetector*

| Photodetector | Downstream | Upstream |
|---------------|------------|-----------|
| APD | -28 dBm | -29.5 dBm |
| PIN | -28 dBm | -29.5 dBm |

4.1.1 Analisis Link Power Budget (LPB)

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi jarak dan daya yang diubah-ubah dari OLT menuju ONT pada masing-masing panjang gelombang dengan sensitivitas *photodetector* PIN dan APD mempunyai level daya terima masing-masing yang bisa dilihat pada tabel 3 dan 4. Jadi bisa dikatakan sistem yang dirancang bisa dijalankan.

Tabel 3 Daya Terima Downstream

| Photodetector | Daya Pancar (dBm) | Jarak (km) | | | | | Sensitivitas (dBm) |
|---------------|-------------------|------------|---------|---------|---------|---------|--------------------|
| | | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | |
| APD | 4 | -22,322 | -24,822 | -27,322 | -29,822 | -32,322 | -28 |
| | 5 | -21,322 | -23,822 | -26,322 | -28,822 | -31,322 | -28 |
| | 6 | -20,322 | -22,822 | -25,322 | -27,822 | -30,322 | -28 |
| | 7 | -19,322 | -21,822 | -24,322 | -26,822 | -29,322 | -28 |
| | 8 | -18,322 | -20,822 | -23,322 | -25,822 | -28,322 | -28 |
| PIN | 4 | -22,322 | -24,822 | -27,322 | -29,822 | -32,322 | -28 |
| | 5 | -21,322 | -23,822 | -26,322 | -28,822 | -31,322 | -28 |
| | 6 | -20,322 | -22,822 | -25,322 | -27,822 | -30,322 | -28 |
| | 7 | -19,322 | -21,822 | -24,322 | -26,822 | -29,322 | -28 |

Tabel 4 Daya Terima Upstream

| Photodetector | Daya Pancar (dBm) | Jarak (km) | | | | | Sensitivitas (dBm) |
|---------------|-------------------|------------|---------|---------|---------|---------|--------------------|
| | | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | |
| APD | 2 | -24,390 | -26,890 | -29,390 | -31,890 | -34,390 | -29,5 |
| | 3 | -23,390 | -25,890 | -28,392 | -30,892 | -33,392 | -29,5 |
| | 4 | -22,390 | -24,892 | -27,393 | -29,893 | -32,393 | -29,5 |
| | 5 | -21,392 | -23,893 | -26,394 | -28,894 | -31,395 | -29,5 |
| | 6 | -20,393 | -22,895 | -25,396 | -27,896 | -30,396 | -29,5 |
| | 7 | -19,393 | -21,895 | -24,396 | -26,890 | -29,396 | -29,5 |
| | PIN | 2 | -24,393 | -26,895 | -29,396 | -31,892 | -34,392 |
| 3 | | -23,393 | -25,895 | -28,396 | -30,893 | -33,393 | -29,5 |
| 4 | | -22,393 | -24,895 | -27,396 | -29,894 | -32,395 | -29,5 |
| 5 | | -21,393 | -23,895 | -26,396 | -28,896 | -31,396 | -29,5 |
| 7 | | -19,393 | -21,895 | -24,396 | -26,896 | -29,396 | -29,5 |

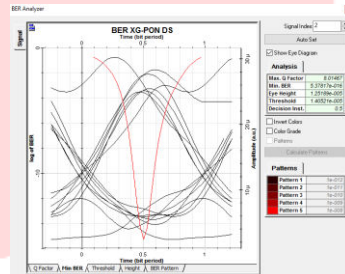
Pada tabel 3 dan 4 yang berwarna kuning menunjukkan bahwa nilai daya terima tidak terpenuhi sedangkan yang tidak berwarna kuning menunjukkan bahwa daya terima terpenuhi. Perhitungan manual dan perhitungan menggunakan simulasi menghasilkan nilai yang berbeda. Perbedaan berkisar antara 0,357 dB – 0,428 dB. Apabila jarak yang diinginkan lebih jauh lagi dan dengan daya yang kecil maka level daya terima yang didapat berada dibawah sensitivitas nilai penerima maka bisa digunakan penguat pada jarak-jarak tertentu.

4.2 Bit Error rate (BER)

Pengukuran keandalan kinerja suatu sistem komunikasi digital, yang salah satunya termasuk komunikasi serat optik, terdapat beberapa parameter dalam pengukurannya yaitu *eye pattern* dan *Bit Error Rate* (BER) tentunya. BER adalah perbandingan banyaknya bit yang error terhadap total bit yang ditransmisikan dalam selang waktu satu detik dengan rentang 0 hingga 1. Nilai BER minimal untuk komunikasi optik guna mendapat kualitas diatas standar adalah di angka 10^{-9} .

4.2.1 Analisis Bit Error Rate (BER)

Berdasarkan hasil simulasi XG-PON didapat nilai BER yang ada pada jarak terjauh dan daya paling besar dengan sensitivitas photodetector PIN dan APD, pada hasil simulasi bisa dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Hasil BER pada simulasi

Dari hasil simulasi jarak dan daya yang diubah-ubah dari OLT menuju ONT pada masing-masing panjang gelombang dengan sensitivitas photodetector PIN dan APD. Parameter lain yang didapat dari hasil simulasi sistem pada simulasi optik dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 BER dan Q Factor Downstream

| Photodetector | Daya Pancar (dBm) | BER Jarak (km) | | | | | Q-Factor Jarak (km) | | | | | |
|---------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---|
| | | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | |
| APD | 4 | 1,970 05 x 10 ⁻¹⁵ | 8,112 19 x 10 ⁻⁸ | 0,000 4462 88 | 0,056 954 | 1 | 7,855 32 | 5,202 8 | 3,318 75 | 1,577 08 | 0 | |
| | 5 | 1,756 86 x 10 ⁻¹⁵ | 3,191 41 x 10 ⁻¹⁰ | 1,315 75 x 10 ⁻⁵ | 0,025 2799 | 1 | 9,680 53 | 6,144 32 | 4,200 43 | 1,945 93 | 0 | |
| | 6 | 8,900 72 x 10 ⁻¹⁰ | 4,915 23 x 10 ⁻¹⁰ | 1,148 8 x 10 ⁻¹⁰ | 0,001 0007 9 | 0,060 2836 | 10,87 31 | 7,442 87 | 6,048 76 | 3,088 45 | 1,548 93 | |
| | 7 | 9,156 02 x 10 ⁻¹⁰ | 4,094 67 x 10 ⁻¹⁰ | 1,432 91 x 10 ⁻¹⁰ | 0,000 1140 16 | 0,031 9717 | 12,41 59 | 8,051 26 | 7,602 98 | 3,659 9 | 1,852 41 | |
| | 8 | 3,852 99 x 10 ⁻¹⁰ | 1,038 16 x 10 ⁻¹⁰ | 5,378 17 x 10 ⁻¹⁰ | 1,459 74 x 10 ⁻⁵ | 0,001 5152 4 | 14,53 09 | 9,709 12 | 8,014 67 | 4,170 07 | 2,959 76 | |
| | PIN | 4 | 7,597 57 x 10 ⁻⁶ | 0,001 2005 4 | 1 | 1 | 1 | 4,325 06 | 3,035 16 | 0 | 0 | 0 |
| | | 5 | 3,567 57 x 10 ⁻⁸ | 5,540 76 x 10 ⁻⁵ | 1 | 1 | 1 | 5,387 56 | 3,865 47 | 0 | 0 | 0 |
| | | 6 | 2,072 66 x 10 ⁻¹⁰ | 8,889 3 x 10 ⁻⁹ | 0,017 6604 | 1 | 1 | 6,244 27 | 5,631 13 | 2,104 5 | 0 | 0 |
| 7 | | 2,818 05 x 10 ⁻¹⁴ | 1,676 18 x 10 ⁻¹¹ | 0,001 5298 7 | 1 | 1 | 7,513 23 | 6,630 17 | 2,950 67 | 0 | 0 | |
| 8 | | 1,763 38 x 10 ⁻¹² | 1,869 4 x 10 ⁻¹² | 0,000 6174 49 | 0,044 6823 | 1 | 9,915 77 | 6,946 16 | 3,227 54 | 1,693 72 | 0 | |

Pada tabel 5 yang berwarna kuning menunjukkan bahwa nilai minimal BER dan Q-faktor yang terpenuhi dari masing-masing jarak dan daya. Nilai BER dengan menggunakan photodetector APD dan PIN pada downstream telah

memenuhi standar jika diinginkan BER maksimal yang dikehendaki 10^{-9} untuk layanan optik. Pada photodetector APD pada jarak 20 km minimal nilai BER yang memenuhi pada daya 4 dBm, pada jarak 30 km minimal nilai BER yang memenuhi pada daya 5 dBm, pada jarak 40 km minimal nilai BER yang memenuhi pada daya 6 dBm dan pada jarak 50 km dan 60 km tidak ada nilai BER yang memenuhi batasan nilai yang diinginkan. Pada photodetector PIN pada jarak 20 km minimal nilai BER yang memenuhi pada daya 6 dBm, pada jarak 30 km minimal nilai BER yang memenuhi pada daya 7 dBm dan pada jarak 40 km, 50 km dan 60 km tidak ada nilai BER yang memenuhi batasan nilai yang diinginkan.

Tabel 6 BER dan Q Factor Upstream

| Photodetector | Daya Pancar (dBm) | BER (Jarak (km)) | | | | | Q-Factor (Jarak (km)) | | | | |
|---------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| APD | 2 | 1,083 97 x 10 ⁻¹² | 0,000 7688 63 | 0,026 6933 | 0,072 7998 | 1 | 7,021 82 | 3,150 97 | 1,931 76 | 1,451 51 | 0 |
| | 3 | 1,715 97 x 10 ⁻¹⁴ | 5,916 91 x 10 ⁻⁵ | 0,006 3830 1 | 0,052 5202 | 0,116 497 | 7,580 26 | 3,835 4 | 2,490 17 | 1,614 81 | 1,114 44 |
| | 4 | 9,178 71 x 10 ⁻¹⁷ | 1,931 19 x 10 ⁻¹⁰ | 0,000 2385 25 | 0,045 117 | 0,106 32 | 8,231 96 | 6,239 47 | 3,492 32 | 1,684 99 | 1,201 02 |
| | 5 | 2,041 22 x 10 ⁻²⁴ | 9,454 74 x 10 ⁻¹² | 4,907 51 x 10 ⁻⁹ | 0,012 4938 | 0,032 709 | 10,12 95 | 6,714 33 | 5,706 08 | 2,240 77 | 1,789 01 |
| | 6 | 1,304 49 x 10 ⁻⁴³ | 1,125 36 x 10 ⁻²² | 7,872 7 x 10 ⁻¹⁰ | 0,001 4247 8 | 0,026 1395 | 13,79 83 | 9,729 68 | 6,030 37 | 2,983 35 | 1,935 26 |
| | 7 | 1,257 84 x 10 ⁻⁶² | 2,302 25 x 10 ⁻³³ | 2,330 47 x 10 ⁻¹⁴ | 1,940 12 x 10 ⁻⁶ | 0,002 6540 4 | 16,66 1 | 11,97 84 | 7,533 34 | 4,616 44 | 2,780 8 |
| | 8 | 0,020 1665 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2,049 47 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PIN | 2 | 0,001 2490 4 | 0,044 8249 | 1 | 1 | 1 | 3,016 85 | 1,687 96 | 0 | 0 | 0 |
| | 3 | 4,852 63 x 10 ⁻⁵ | 0,024 9658 | 1 | 1 | 1 | 3,894 29 | 1,960 33 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | 3,108 37 x 10 ⁻¹⁰ | 0,002 1435 5 | 0,075 8767 | 1 | 1 | 6,183 73 | 2,856 18 | 1,427 75 | 0 | 0 |
| | 5 | 6,821 18 x 10 ⁻¹² | 4,392 51 x 10 ⁻⁵ | 0,031 9678 | 0,092 0804 | 1 | 6,757 87 | 3,921 38 | 1,842 77 | 1,326 05 | 0 |
| | 6 | 3,181 29 x 10 ⁻²⁰ | 6,501 09 x 10 ⁻⁷ | 0,007 6581 1 | 0,072 7998 | 1 | 9,137 86 | 4,839 22 | 2,421 5 | 1,451 51 | 0 |
| | 7 | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | | |

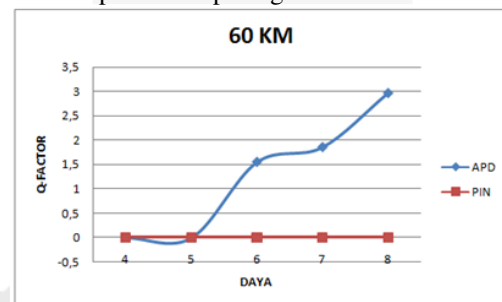
Pada tabel 6 yang berwarna kuning menunjukkan bahwa nilai minimal BER dan Q-faktor yang terpenuhi dari masing-masing jarak dan daya. Nilai BER dengan menggunakan photodetector APD dan PIN pada upstream telah memenuhi standar jika diinginkan BER maksimal yang dikehendaki 10^{-9} untuk layanan optik. Pada photodetector APD pada jarak 20 km minimal nilai

BER yang memenuhi pada daya 2 dBm, pada jarak 30 km minimal nilai BER yang memenuhi pada daya 4 dBm, pada jarak 40 km minimal nilai BER yang memenuhi pada daya 6 dBm dan pada jarak 50 km dan 60 km tidak ada nilai BER yang memenuhi batasan nilai yang diinginkan. Pada photodetector PIN pada jarak 20 km minimal nilai BER yang memenuhi pada daya 5 dBm dan pada jarak 30 km, 40 km, 50 km dan 60 km tidak ada nilai BER yang memenuhi batasan nilai yang diinginkan.

4.2.2 Nilai Q-Factor terhadap BER

Performansi suatu jaringan XG-PON juga dapat diketahui dengan cara mengetahui nilai faktor kualitas dari jaringan komunikasi optik. Dengan menggunakan angka faktor kualitas sebagai variabel yang diketahui, maka dapat diketahui bit error rate yang akan didapatkan. Suatu jaringan komunikasi optik dapat dikatakan layak untuk menjadi jaringan komunikasi jika memiliki nilai faktor kualitas minimal 6 dan BER maksimal 10^{-9} . Hasil Q-factor pada simulasi terhadap jarak 20 km, 30 km, 40 km, 50 km dan 60 km sebagai berikut :

- a. Perbandingan Q-factor pada downstream dengan APD dan PIN pada jarak 60 km dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Grafik Q-factor downstream dengan jarak 60 km

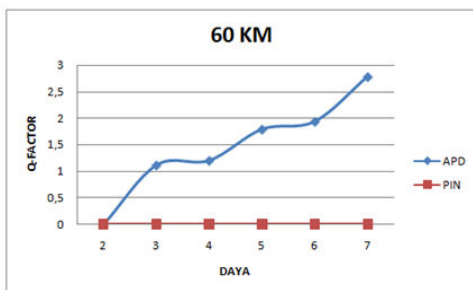
Tabel 7 Q-Factor Terhadap BER Downstream dengan jarak 60 km

| Photodetector | Daya Pancar (dBm) | Simulasi | | Perhitungan Manual | |
|---------------|-------------------|----------|------------|--------------------|----------------------------|
| | | Q-Factor | BER | Q-Factor | BER |
| APD | 4 | 0 | 1 | 0 | - |
| | 5 | 0 | 1 | 0 | - |
| | 6 | 1,54893 | 0,0602836 | 1,54893 | 0,0776072 |
| | 7 | 1,85241 | 0,0319717 | 1,85241 | 0,0387301 |
| | 8 | 2,95976 | 0,00151524 | 2,95976 | 1,68812 x 10 ⁻³ |
| PIN | 4 | 0 | 1 | 0 | - |
| | 5 | 0 | 1 | 0 | - |
| | 6 | 0 | 1 | 0 | - |
| | 7 | 0 | 1 | 0 | - |
| | 8 | 0 | 1 | 0 | - |

Dari tabel 7 diatas, memperlihatkan nilai *Q-Factor* dengan *photodetector* APD dan PIN telah memenuhi jika memiliki nilai *Q-Factor* minimal 6 dan BER maksimal 10^{-9} . Pada *photodetector* APD dan PIN pada jarak 60 km tidak ada nilai *Q-Factor* yang memenuhi batasan nilai yang diinginkan.

Perhitungan manual dan perhitungan menggunakan simulasi menghasilkan nilai yang berbeda. Rata-rata pada perhitungan manual APD adalah 0,039341807 sedangkan rata-rata pada perhitungan simulasi APD adalah 0,031256847 dengan perbedaan berkisar 0,008085.

- b. Perbandingan *Q-factor* pada *upstream* dengan APD dan PIN pada jarak 60 km dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Grafik *Q-factor* *upstream* dengan jarak 60 km

Tabel 8 *Q-Factor* Terhadap BER *Upstream* dengan jarak 60 km

| Photodetector | Daya Pancar (dBm) | Simulasi | | Perhitungan Manual | |
|---------------|-------------------|-----------------|------------|--------------------|--------------------------|
| | | <i>Q-Factor</i> | BER | <i>Q-Factor</i> | BER |
| APD | 2 | 0 | 1 | 0 | - |
| | 3 | 1,11444 | 0,116497 | 1,11444 | 0,192380 |
| | 4 | 1,20102 | 0,10632 | 1,20102 | 0,16148 |
| | 5 | 1,78901 | 0,032709 | 1,78901 | 0,045009 |
| | 6 | 1,93526 | 0,0261395 | 1,93526 | 0,0316886 |
| | 7 | 2,7808 | 0,00265404 | 2,7808 | $3,00312 \times 10^{-3}$ |
| PIN | 2 | 0 | 1 | 0 | - |
| | 3 | 0 | 1 | 0 | - |
| | 4 | 0 | 1 | 0 | - |
| | 5 | 0 | 1 | 0 | - |
| | 6 | 0 | 1 | 0 | - |
| | 7 | 0 | 1 | 0 | - |

Dari tabel 8 diatas, memperlihatkan nilai *Q-Factor* dengan *photodetector* APD dan PIN telah memenuhi jika memiliki nilai *Q-Factor* minimal 6 dan BER maksimal 10^{-9} . Pada *photodetector* APD dan PIN pada jarak 60 km tidak ada nilai *Q-Factor* yang memenuhi batasan nilai yang diinginkan.

Perhitungan manual dan perhitungan menggunakan simulasi menghasilkan nilai yang berbeda. Rata-rata pada perhitungan manual APD adalah 0,086712144 sedangkan rata-rata pada

perhitungan simulasi APD adalah 0,056863908 dengan perbedaan berkisar 0,029848236.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi pada penelitian ini, ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Dari total 110 pengambilan data pada *downstream* dan *upstream* didapat 30 data daya terima *downstream* dan *upstream* yang mempunyai level daya terima dibawah sensitivitas dan didapat 80 data daya terima *downstream* dan *upstream* yang mempunyai level daya terima diatas sensitivitas *photodetector* APD dan PIN maka dikatakan sistem yang dirancang bisa dijalankan. Perhitungan manual dan perhitungan menggunakan simulasi menghasilkan nilai yang berbeda. Perbedaan berkisar antara 0,357 dB – 0,428 dB.
2. Nilai BER pada *upstream* dan *downstream* yang didapat pada *photodetector* APD dengan jarak 20 km minimal nilai BER yang memenuhi pada daya 2 dBm dan 4 dBm, pada jarak 30 km minimal nilai BER yang memenuhi pada daya 4 dBm dan 5 dBm, pada jarak 40 km minimal nilai BER yang memenuhi pada daya 6 dBm dan pada jarak 50 km dan 60 km tidak ada nilai BER yang memenuhi batasan nilai yang diinginkan. Pada *photodetector* PIN pada jarak 20 km minimal nilai BER yang memenuhi pada daya 5 dBm dan 6 dBm, pada jarak 30 km minimal nilai BER pada *upstream* tidak memenuhi batas nilai yang diinginkan sedangkan pada *downstream* yang memenuhi pada daya 7 dBm dan pada jarak 40 km, 50 km dan 60 km *upstream* dan *downstream* tidak ada nilai BER yang memenuhi batasan nilai yang diinginkan.
3. Dari total 66 pengambilan data pada *downstream* dan *upstream*, dapat dilihat data yang memenuhi standar kelayakan pada APD didapat 24 data yang memenuhi sedangkan pada PIN didapat 8 data yang memenuhi dan sisanya 34 data tidak memenuhi nilai yang

diinginkan. Dapat disimpulkan bahwa APD lebih bagus dari pada PIN.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya diantaranya:

1. Untuk penelitian selanjutnya bisa melakukan pengujian dengan menggunakan standar OLT ITU-T G.987 N2b class.
2. Dapat mengukur performansi jaringan yang berada di lapangan secara langsung dan membandingkan dengan hasil simulasi serta perhitungan manual.

Daftar Pustaka:

- [1]. Nur Rizki Yulizar. Analisis Perancangan Teknologi Hybrid Gpon Dan Xgpon Pada Jaringan Fttth Di Perumahan Batununggal : Universitas Telkom. 2015.
- [2]. ITU-T Recommendation G.987.1 (2010), 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements.
- [3]. Naradila Candra Murdiyono Putri. Analisis Perbandingan Kinerja Modulator Optik Tipe Mach-Zehnder Berdasarkan Ragam Format Modulasi Pada Transmisi Soliton Di Jaringan Backbone : Universitas Telkom. 2016.
- [4]. M. S. Ab-Rahman, and S. Shaari. (2009). "Low-Cost Encoding Device for Optical Code Division Multiple Access System," American J. of Engineering and Applied Sciences, Vol. 2, No. 2, pp. 317-323.
- [5]. Ramadhan, M. *Perancangan Jaringan Akses FTTH Menggunakan Teknologi GPON di Perumahan Setraduta Bandung*. Indonesia: Universitas Telkom. 2012.