

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA TEKNOLOGI GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON) DAN GIGABIT ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK (GEPON) TURBO MODE PADA JARINGAN PASSIVE OPTICAL NETWORK (PON)

COMPARATIVE PERFORMANCE ANALYSIS OF TECHNOLOGY GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON) AND GIGABIT ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK (GEPON) TURBO MODE IN PASSIVE OPTICAL NETWORK (PON)

Ridwan Pratama¹, Akhmad Hambali², Afief Dias Pambudi³

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

¹ridwanpratama2712@gmail.com, ²ahambali@telkomuniversity.ac.id,

³afiefdiaspambudi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

*Gigabit Passive Optical Network (GPON) dan Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GEPON) merupakan teknologi dalam PON yang yang dianggap mampu untuk memenuhi kebutuhan bandwidth dan kecepatan yang tinggi. Kedua teknologi tersebut terus bersaing dan terus dilakukan pengembangan. Turbo GEPON merupakan salah satu hasil pengembangan teknologi GEPON yang diperkenalkan oleh perusahaan Teknovus yang kemudian diakui sisi oleh Broadcomm. Turbo GEPON dianggap mampu bersaing dengan GPON karena memiliki parameter yang hampir sama seperti GPON, seperti *splitting ratio*, *upstream* dan *downstream bandwidth*, dan *upstream* dan *downstream wavelength*.*

Pada Tugas Akhir ini dilakukan penelitian mengenai perbandingan kinerja antara teknologi GPON dan Turbo GEPON dengan parameter uji *power link budget*, *rise time budget*, *signal to noise ratio (SNR)*, dan *bit error rate (BER)*. Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi terhadap kedua teknologi tersebut melalui hitungan matematis ataupun *software* simulasi. simulasi dilakukan dengan menggunakan parameter jarak maksimum link jaringan akses PON sepanjang 20 km dan *splitting ratio* maksimum pada tiap teknologinya yaitu 1:64 dengan menggunakan kombinasi *splitter* 1:4 dan 1:16.

Hasil dari pengujian parameter uji antara teknologi GPON dan Turbo GEPON menunjukkan nilai *power link budget* sebesar -21.7 dBm untuk *upstream* dan *downstream*, *rise time budget* sebesar 0.23685 ns untuk GPON dan 0.26401 ns untuk Turbo GEPON, nilai SNR pada GPON dan Turbo GEPON sebesar 22.60021 dB untuk *downstream* dan 24.50568 dB untuk *upstream*, dan nilai BER untuk GPON dan Turbo GEPON sebesar 2.44×10^{-6} untuk *downstream* dan 2.44×10^{-6} untuk *upstream*. Perbandingan hasil pengujian parameter antara teknologi GPON dan Turbo GEPON menunjukkan bahwa GPON lebih unggul. Hal ini dibuktikan dengan lebih kecilnya nilai *rise time budget* pada GPON dibandingkan dengan Turbo GEPON yaitu sebesar 0.23685 ns pada GPON dan 0.26401 ns pada Turbo GEPON.

Kata kunci : PON, GPON, GEPON, Turbo GEPON

Abstract

*Gigabit Passive Optical Network (GPON) and Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GEPON) are PON technology considered able to meet the needs of high bandwidth and speed. Both of these technologies continue to compete dan develop. Turbo GEPON is one result of the development of GEPON technology introduced by Teknovus company which is then recognized by Broadcomm. Turbo GEPON is considered able to compete with GPON because it has almost the same parameters as GPON, such as *splitting ratio*, *upstream* and *downstream bandwidth*, dan *upstream* and *downstream wavelengths*.*

*In this final project carried out research on the performance of a technology GPON and Turbo GEPON with testing parameter such as *power link budget*, *rise time budget*, *signal to noise ratio (SNR)* and *bit error rate (BER)*. Research carried out by simulating the two of these technologies through a mathematical calculation or simulation software. simulations done using the maximum distance parameter PON access network link length of 20 km, the maximum *splitting ratio* on each technology are 1:64 with the *splitter* combination are 1:4 and 1:16.*

Result of the testing parameter between GPON and Turbo GEPON technologies shows the value of power link budget as many as -21.7 dBm for the upstream and downstream, rise time budget value of GPON is 0.23685 ns and Turbo GEPON is 0.26401 ns, the SNR value of GPON and Turbo GEPON are 22.60021 dB for downstream and 24.50568 dB for upstream, and BER value of GPON and Turbo GEPON are 10^{-10} for downstream and 10^{-10} for upstream. Result comparison of testing parameters between Turbo GEPON and GPON technologies shows that GPON is superior. This is evidenced by the smaller value of rise time budget on GPON compared to Turbo GEPON which are 0.23685 ns in GPON and 0.26401 in Turbo GEPON.

Keyword : PON, GPON, GEPON, Turbo GEPON

1. Pendahuluan

Kompetisi dalam dunia telekomunikasi modern seperti sekarang ini sangatlah ketat dan kompetitif seiring dengan kebutuhan *user* yang menginginkan layanan telekomunikasi dengan *bandwidth* dan kecepatan yang tinggi. Jaringan telekomunikasi yang berbasis pada kabel tembaga dianggap kurang dapat memenuhi kebutuhan akan *bandwidth* dan kecepatan yang tinggi tersebut. Maka, dipergunakanlah jaringan telekomunikasi berbasis serat optik yang dianggap mampu untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Di Indonesia, jaringan berbasis optik yang digunakan adalah jaringan optik pasif atau biasa dikenal dengan *Passive Optical Network* (PON).

Passive Optical Network (PON) merupakan jaringan berbasis optik yang dianggap mampu untuk memenuhi kebutuhan akan *bandwidth* dan kecepatan telekomunikasi yang tinggi. *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) dan *Gigabit Ethernet Passive Optical Network* (GEPON) merupakan dua teknologi yang banyak digunakan pada PON. Kedua teknologi tersebut terus bersaing untuk melayani dan memenuhi kebutuhan *user* akan layanan telekomunikasi dengan *bandwidth* dan kecepatan yang tinggi.

Pada penelitian sebelumnya [1] kinerja GPON dianggap lebih baik daripada GEPON khususnya dalam hal efisiensi *bandwidth* dan jumlah *user* yang dapat ditangani dari sebuah *core* optik pada *transmitter*. Dalam pengembangannya [2], GEPON atau EPON berkembang menjadi Turbo GEPON atau GEPON Turbo Mode yang disebut dapat menyaingi kinerja dari GPON. Untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai ketiga teknologi pada PON tersebut, pada Tugas Akhir ini akan membahas mengenai perbandingan kinerja dari tiga teknologi pada PON, yaitu GPON, GEPON, dan Turbo GEPON dengan melakukan simulasi sesuai dengan perangkat asli dari masing - masing teknologi. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi dan hitungan matematis.

2. Teknologi PON

2.1. Gigabit Passive Optical Network (GPON)

GPON merupakan salah satu teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T dengan rekomendasi ITU-T G.984.1. GPON menggunakan protokol *G-PON Encapsulation Method* (GEM) untuk efektifitas pengiriman paket *Ethernet* yang tinggi melewati GPON [3]. Secara umum, sistem GPON dicirikan dengan sistem *Optical Line Termination* (OLT) dan *Optical Network Unit* (ONU) atau *Optical Network Termination* (ONT) dengan distribusi optik pasif *Optical Distribution Network* (ODN) yang menghubungkan diantaranya. Hubungan antara OLT dan ONT adalah hubungan *Point to Multipoint* (P2MP) yaitu dari sebuah port di OLT dapat terhubung ke beberapa ONT sekaligus [4].

2.2. Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GEPON)

Gigabit Ethernet Passive Optical Network atau GEPON adalah salah satu teknologi dalam PON yang dikembangkan oleh IEEE yang berbasis pada standarisasi *ethernet* oleh IEEE yaitu IEEE 802.3. GEPON atau EPON adalah modifikasi dari *ethernet* agar dapat mendukung konektivitas *point to multipoint* (P2MP). Berbeda dengan GPON yang memasukkan *ethernet* dalam frame GEM yang kemudian baru ditransmisikan melalui PON dengan *synchronously transport* setiap 125 μ s, EPON atau GEPON tidak merubah atau memodifikasi *ethernet* yang dikirimkan melalui PON [2]. Baik GPON maupun EPON atau GEPON memakai teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM). Pada GEPON arah *downstream* memakai panjang gelombang 1490 nm dan arah sebaliknya (*upstream*) memakai panjang gelombang 1310 nm [5].

2.3. Turbo GEPON

Turbo Mode EPON mengambil bit rate *existing* pada GEPON sebesar 1.25 Gbps pada transmisi *downstream* dan dilakukan *overclock* pada *bit ratenya* sehingga dapat mencapai 2.5 Gbps dengan *payload* 2.0 Gbps, sedangkan pada transmisi *upstream* tidak diubah. Ini merupakan usaha untuk bersaing dengan GPON yang memiliki *bit rate* sebesar 2.5 Gbps. Ketika beroperasi dalam Turbo Mode dan menggunakan panjang gelombang standar EPON / GEPON yaitu 1490 nm, OLT yang telah mengalami *overclock* menjadi 2.5 Gbps hanya mampu melayani ONU atau ONT dengan *bit rate* yang sama yaitu 2.5 Gbps. Penggunaan EPON ONU atau ONT dengan *bit rate* 1 Gbps

dan 2.5 Gbps dengan panjang gelombang 1490 nm dalam PON yang sama tidak diperbolehkan. Industri kabel mempunyai minat untuk membakukan Turbo Mode EPON melalui CableLabs [6].

Tabel 1 Perbandingan Standar GPON, GEPON, dan Turbo GEPON [4] [7] [6]

Karakteristik	GPON	GEPON	Turbo GEPON
Standar	ITU-T G.984.1	IEEE 802.3 ah	-
Frame	ATM / GEM	Ethernet / 8B10B	ATM / 8B10B
Upstream	1.25 Gbps	1.25 Gbps	1.25 Gbps
Downstream	2.5 Gbps	1.25 Gbps	2.5 Gbps
Servis	Suara, data, video	Suara, data, video	Suara, data, video
Jarak Transmisi maksimum	20 km	20 km	20 km
Total Distribusi	64	32	64
Upstream Wavelength	1310 nm	1310 nm	1310 nm
Downstream Wavelength	1490 nm	1490 nm	1490 nm

2.4. Parameter Uji Sistem

2.4.1. Power Link Budget

Perhitungan *power link budget* bertujuan untuk menghitung besar daya total yang diperlukan agar daya terima tidak lebih kecil dari daya minimum supaya dapat dideteksi di penerima. Persamaan *link power budget* dapat dituliskan [8] :

$$P_R = P_S - P_T \dots\dots\dots(1)$$

$$P_T = n \times \ell_c + n \times \ell_{sp} + \alpha_f \times L + M_s \dots\dots\dots(2)$$

2.4.2. Rise Time Budget

Rise time budget merupakan cara yang mudah untuk mengetahui informasi kapasitas dari link optik. Hal ini sangat berguna untuk link digital dimana kapasitasnya dibatasi oleh dispersi. Persamaan *rise time budget* dapat dituliskan [8] :

$$t_{sys} = \sqrt{t_{TX}^2 + t_{mod}^2 + t_{CD}^2 + t_{RX}^2} \dots\dots\dots(3)$$

Pada link optik biasa dipakai dua macam format pengkodean yaitu *Return to Zero (RZ)* dan *Non-Return to Zero (NRZ)*. Persamaan untuk RZ dan NRZ dapat dituliskan [8] :

$$tr_{RZ} = \frac{0.35}{bitrate} \dots\dots\dots(4)$$

$$tr_{NRZ} = \frac{0.7}{bitrate} \dots\dots\dots(5)$$

Agar sistem dapat melewati bit rate yang ditransmisikan maka $t_{sys} \leq tr$.

2.4.3. Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to noise ratio (SNR) adalah perbandingan daya sinyal terhadap daya *noise* pada satu titik yang sama. Semakin besar nilai SNR maka semakin baik juga kinerja sistem tersebut. Persamaan *signal to noise ratio (SNR)* dapat dirumuskan sebagai berikut [8] :

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Daya Sinyal Arus Photo}}{\text{Daya Noise Detektor} + \text{Daya Noise Penguat}} \dots\dots\dots(6)$$

2.4.4. Bit Error Rate (BER)

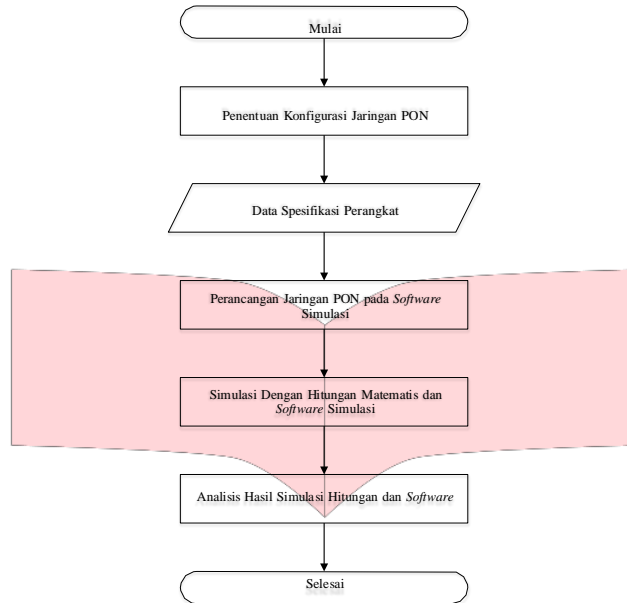
Bit Error Rate atau BER merupakan hasil pembagian antara jumlah bit pulsa yang ditransmisikan dalam interval waktu tertentu dengan jumlah kesalahan yang terjadi selama melakukan transmisi tersebut. Persamaan BER dapat dirumuskan sebagai berikut [8] :

$$SNR = 20 \times \log 2Q \dots\dots\dots(7)$$

$$BER = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{Q} \dots\dots\dots(8)$$

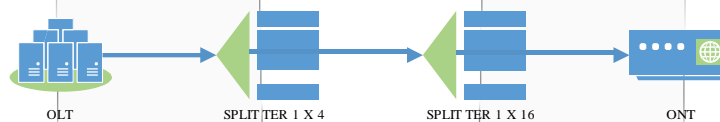
3. Perencanaan Simulasi

3.1. Diagram Alir Perancangan Simulasi

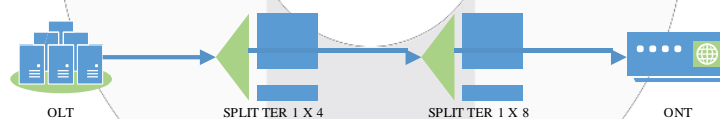


Gambar 1 Diagram Alir Perancangan Simulasi

3.2. Penentuan Konfigurasi Jaringan



Gambar 2 Konfigurasi Jaringan GPON dan Turbo GEPON



Gambar 3 Konfigurasi Jaringan GEPON

3.3. Spesifikasi Perangkat

3.3.1. Konektor

Perangkat konektor yang digunakan dalam jaringan PON pada penelitian Tugas Akhir ini menggunakan nilai redaman 0.2 dB pada tiap perangkatnya. Nilai redaman maksimum untuk konektor menurut standar PT. Telekomunikasi Indonesia adalah 0.35 dB.

3.3.2. Optical Line Terminal (OLT)

Perangkat OLT yang digunakan pada masing – masing teknologi (GPON, GEPON dan Turbo GEPON) berbeda. OLT GPON menggunakan produk dari Coretrade, GEPON menggunakan produk dari Raisecom, dan Turbo GEPON menggunakan perangkat dari OPTOKON.

Tabel 2 Spesifikasi Perangkat OLT GPON, GEPON, Turbo GEPON [9] [10] [11]

Parameter	GPON	GEPON	Turbo GEPON	Satuan
<i>Optical Tx Power</i>	+1.5 to +5	+2 to +7	+1.5 to +5	dBm
<i>Maximum Distance</i>	20	20	20	km
<i>Split Ratio</i>	1:64	1:32	1:64	
<i>Upstream Wavelength</i>	1310	1310	1310	nm
<i>Downstream Wavelength</i>	1490	1490	1490	nm
<i>Upstream Bitrate</i>	1.25	1.25	1.25	Gbps
<i>Downstream Bitrate</i>	2.5	1.25	2.5	Gbps
<i>Optical Rise Time</i>	160	260	180	ps
<i>Optical Fall Time</i>	160	260	180	ps
<i>Input Impedance</i>	120	300	120	ohm
<i>Receiver Type</i>	APD	APD	APD	
<i>Receiver Sensitivity</i>	-28	-27	-28	dBm

3.3.3. Splitter

Spesifikasi perangkat *splitter* yang digunakan dalam jaringan PON adalah produk dari TE connectivity.

Tabel 3 Spesifikasi Perangkat Splitter [12]

Splitter	Redaman	Satuan
1:2	3,1	dB
1:4	6,6	dB
1:8	9,7	dB
1:16	12,8	dB
1:32	16,0	dB
1:64	19,7	dB

3.3.4. Optical Network Unit (ONU) / Optical Network Termination (ONT)

Perangkat ONU/ ONT yang digunakan pada masing – masing teknologi (GPON, GEPON dan Turbo GEPON) berbeda. ONT GPON menggunakan produk dari Huawei, ONU GEPON menggunakan produk dari Finisar, dan ONU Turbo GEPON menggunakan perangkat dari Teknovus.

Tabel 4 Spesifikasi Perangkat ONU/ ONT GPON, GEPON, dan Turbo GEPON [13] [14] [15]

Parameter	GPON	GEPON	Turbo GEPON	Satuan
<i>Optical Tx Power</i>	+0.5 to +5	0 to +4	+0.5 to +5	dBm
<i>Maximum Distance</i>	20	20	20	km
<i>Upstream Wavelength</i>	1310	1310	1310	nm
<i>Downstream Wavelength</i>	1490	1490	1490	nm
<i>Upstream Bitrate</i>	1.25	1.25	1.25	Gbps
<i>Downstream Bitrate</i>	2.5	1.25	2.5	Gbps
<i>Input Impedance</i>	120	100	120	ohm
<i>Receiver Sensitivity</i>	-28	-28	-28	dBm

3.3.5. Kabel Serat Optik

Spesifikasi perangkat kabel serat optik yang digunakan dalam jaringan PON pada penelitian ini menggunakan standar ITU-T G.652D.

Tabel 5 Spesifikasi Kabel Serat Optik [16]

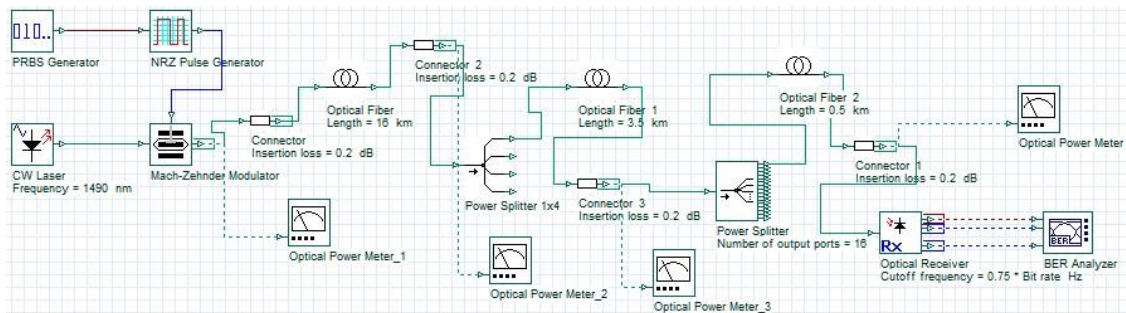
Parameter	Spesifikasi	Satuan
<i>Wavelength</i>	1310	nm
<i>Attenuation</i>	0.3	dB/ km
<i>Dispersion</i>	3.5	ps/ nm x km

3.4. Perancangan Jaringan PON pada Software Simulasi

Perancangan simulasi jaringan PON pada *software* simulasi hanya dilakukan untuk teknologi GPON. Hal ini terpaksa dilakukan karena pada teknologi GEPON dan Turbo GEPON menggunakan *8B10B encoding*, sedangkan pada *software* simulasi tidak terdapat perangkat yang mendukung *8B10B encoding*. Sehingga kedua teknologi

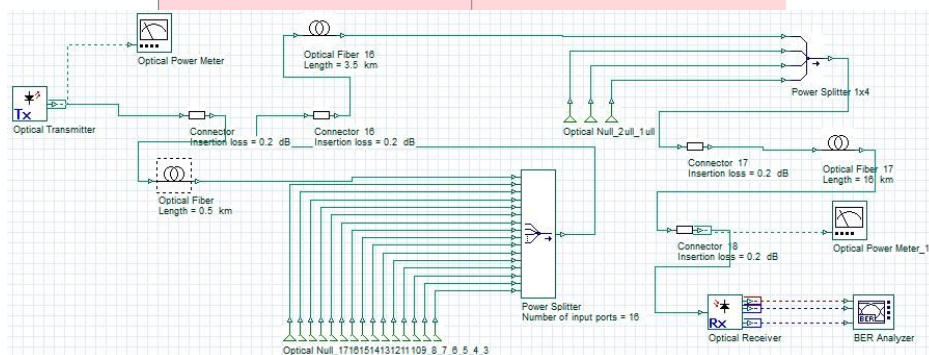
tersebut tidak dapat dilakukan pemodelan simulasi dengan *software*, hanya dilakukan simulasi dengan hitungan matematis.

3.4.1. Simulasi Downstream



Gambar 4 Simulasi Downstream

3.4.2. Simulasi Upstream



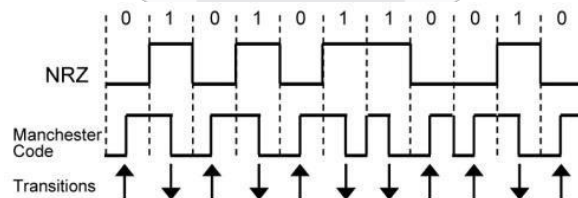
Gambar 5 Simulasi Upstream

4. Analisis Hasil Simulasi

4.1. Analisis 8B10B Encoding

8B10B encoding merupakan sistem encoding pada Gigabit Ethernet, cara kerjanya adalah dengan cara mengkonversi 8 bit sinyal informasi menjadi 10 bit. 10 bit hasil keluaran tersebut dimasukkan ke high-speed serializer yang berupa shift register parallel-in serial-out 10 bit, kemudian data tersebut ditransmisikan menuju sisi penerima [17].

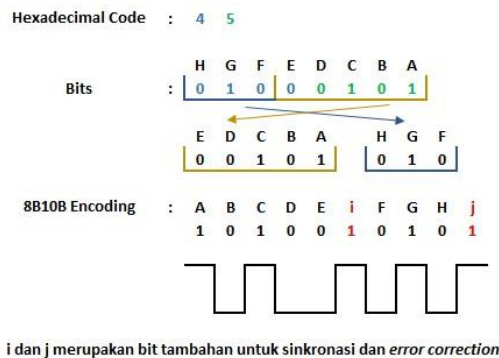
Pada Tugas Akhir ini, untuk mensimulasikan GEAPON dan Turbo GEAPON, 8B10B encoding dihitung dengan pendekatan rumus NRZ encoding. Hal ini dapat dilakukan karena menurut IEEE 802.3 yang menjadi standar ethernet pada teknologi GEAPON dan Turbo GEAPON, 8B10B encoding merupakan bentuk pengembangan dari 1B2B encoding yang lebih dikenal dengan manchester code, pengkodean tersebut sangat erat hubungannya dengan pengkodean NRZ. Maka, perhitungan yang membutuhkan 8B10B encoding dihitung dengan pendekatan NRZ encoding.



Gambar 6 Hubungan NRZ dan Manchester Code (Sumber : www.osapublishing.org)

Pada gambar diatas, tiap satu bit direpresentasikan dengan satu bit juga pada NRZ, tetapi pada manchester code diberikan tambahan satu bit pada saat merepresentasikan setiap bitnya untuk melakukan sinkronasi dan error correction. Pada 8B10B encoding, 8 bit informasi direpresentasikan menjadi 10 bit data yang dikirimkan dengan menyisipkan 2 bit diantara 10 bit yang dikirimkan tersebut untuk sinkronasi dan error correction. Jadi, perbedaan antara NRZ dan 8B10B terletak pada tambahan bit pada 8B10B sebagai bit sinkronasi dan error correction seperti

pada *manchester code*, sedangkan representasi bit lainnya sama dengan NRZ. Maka, pendekatan 8B10B *encoding* dengan NRZ *encoding* dapat dilakukan.



Gambar 7 8B10B Encoding

4.2. GPON

Hasil analisis pada GPON menunjukkan nilai parameter *power link budget* sebesar -21.7 dBm untuk *downstream* dan *upstream*, parameter *rise time budget* sebesar 0.23685 ns untuk *downstream* dan *upstream*, parameter SNR sebesar 22.60021 dB untuk *downstream* dan 24.50568 dB untuk *upstream*, dan parameter BER sebesar 7.81402×10^{-12} untuk *downstream* dan 2.27266×10^{-17} untuk *upstream*.

4.3. GEPON

Hasil analisis pada GEPON menunjukkan nilai parameter *power link budget* sebesar -18.1 dBm untuk *downstream* dan -20.1 dBm untuk *upstream*, parameter *rise time budget* sebesar 0.37429 ns untuk *downstream* dan *upstream*, parameter SNR sebesar 31.91879 dB untuk *downstream* dan 31.43425 dB untuk *upstream*, dan parameter BER sebesar 7.26365×10^{-87} untuk *downstream* dan 6.31298×10^{-78} untuk *upstream*.

4.4. Turbo GEPON

Hasil analisis pada Turbo GEPON menunjukkan nilai parameter *power link budget* sebesar -21.7 dBm untuk *downstream* dan *upstream*, parameter *rise time budget* sebesar 0.26401 ns untuk *downstream* dan *upstream*, parameter SNR sebesar 22.60021 dB untuk *downstream* dan 24.50568 dB untuk *upstream*, dan parameter BER sebesar 7.81402×10^{-12} untuk *downstream* dan 2.27266×10^{-17} untuk *upstream*.

Tabel 6 Perbandingan Hasil Simulasi Teknologi GPON, GEPON, dan Turbo GEPON

Parameter	GPON		GEPON		Turbo GEPON		Satuan
	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream	
Power Link Budget	-21.7	-21.7	-18.1	-20.1	-21.7	-21.7	dBm
Rise Time Budget	0.23685	0.23685	0.37429	0.37429	0.26401	0.26401	ns
Signal to Noise Ratio	22.60021	24.50568	31.91879	31.43425	22.60021	24.50568	dB
Bit Error Rate	7.81402×10^{-12}	2.27266×10^{-17}	7.26365×10^{-87}	6.31298×10^{-78}	7.81402×10^{-12}	2.27266×10^{-17}	

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Nilai *bandwidth* atau *bitrate* pada *downstream* GEPON hanya dapat mencapai 1.25 Gbps dikarenakan nilai *rise time* pada pengirim dan penerimanya yang berada pada nilai 0.26 ns yang jika dikalkulasi untuk mengitung *rise time budget* akan menghasilkan nilai yang lebih besar dari standar nilai *rise time budget* NRZ *encoding* untuk *bitrate* 2.5 Gbps seperti pada GPON yaitu sebesar 0.28 ns. Maka dari itu dilakukan penelitian yang menghasilkan teknologi Turbo GEPON yang *bitrate* untuk *downstream*nya mencapai 2.5 Gbps seperti pada GPON.
2. Dari hasil analisis GPON dan Turbo GEPON, GPON dianggap lebih baik meskipun hasil analisis simulasi antara GPON dan Turbo GEPON sama – sama memenuhi standar yang telah ditentukan. Hal ini dapat terlihat pada perbedaan nilai *rise time budget* antara GPON dan Turbo GEPON. GPON mendapatkan nilai 0.23685 ns untuk *downstream* dan *upstream*, sedangkan Turbo GEPON mendapatkan nilai 0.26401 ns untuk *downstream* dan *upstream*. Hal ini menunjukkan bahwa GPON memiliki batasan total waktu dispersi yang lebih baik daripada Turbo GEPON.

5.2. Saran

1. Dapat dilakukan pengukuran dan analisis terhadap perangkat *real* GPON, GEAPON dan Turbo GEAPON untuk mengetahui nilai performansi *real* pada masing – masing teknologi.
2. Dapat dilakukan penelitian untuk mencari model matematis dari 8B10 *encoding*.
3. Dapat dilakukan penelitian untuk melakukan analisis terhadap *Quality of Services* pada teknologi GPON, GEAPON dan Turbo GEAPON.

Daftar Pustaka

- [1] T. G. Orphanoudakis, H. C. Leligou and E. Kosmatos, "Performance Evaluation of GPON vs EPON for Multi-Services Access," *International Journal of Communication Systems*, pp. 187-202, 2009.
- [2] CommScope Inc., "GPON-EPON Comparison," 2013.
- [3] C. Lin, *Broadband Optical Access Network and Fiber-to-the-Home : Systems Technologies and Deployment Strategies*, Chichester, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2006.
- [4] Recommendation ITU-T G.984.1, *Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON) : General Characteristics*, 2008.
- [5] R. Pratomo, "Analisis Perancangan Jaringan Fiber To The Home (FTTH) Menggunakan Teknologi Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GEAPON) di Perumahan Graha Natuna Surabaya," 2013.
- [6] Arris Group, Inc, "www.arris.com," Comparing IEEE EPON & F-SAN/ITU-T GPON Family of Technologies, 2014. [Online]. Available: https://www.arris.com/globalassets/resources/white-papers/arris_comparing_ieeee_pon_and_fsan_wp.pdf. [Accessed 18 March 2016].
- [7] Recommendation IEEE 802.3ah, *IEEE Standards 802.3ah*, 2004.
- [8] G. Keiser, *Optical Fiber Communication* 3rd Edition, Singapore: McGraw-Hill Co., 2000.
- [9] Coretrade Technology Co., Ltd, "GPON Class B+ SFP OLT Transceiver," 2008.
- [10] Raisecom Technology Co., Ltd, "ISCOM5504 GEAPON Optical Line Terminal," 2008.
- [11] ELTEX OPTOKON, "OLT LTE-8X," 2013.
- [12] TE Connectivity, "FTTX Solutions Passive Optical Splitter Modules 7th Edition".
- [13] Huawei Technologies Co., Ltd, "EchoLife HG8242 GPON Terminal Product Description," 2012.
- [14] Finisar Corporation, "Product Specification EPON SFP ONU FTEN2115P1NUN," 2013.
- [15] Teknovus Inc., "TK3715 Datasheet," 2007.
- [16] Recommendation ITU-T G.652, "Characteristics of a single-mode optical fibre," 2003.
- [17] Lattice Semiconductor, Inc., "8b/10b Encoder/Decoder," 2015.