

ANALISIS PERBANDINGAN TEKNOLOGI GPON DAN XGPON UNTUK PERANCANGAN JARINGAN *FIBER TO THE HOME*

Ian Amri Dinina^{*)}, Imam Santoso, and Teguh Prakoso

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: ianamridinina@outlook.co.id

Abstrak

Fiber to the home (FTTH) merupakan infrastruktur jaringan serat optik yang dapat memberikan layanan suara, data, dan video. Penelitian ini membandingkan teknologi GPON dan XGPON dalam perancangan jaringan FTTH untuk menghasilkan rekomendasi teknologi manakah yang lebih tepat untuk diterapkan. Penelitian ini dimulai dengan melakukan peramalan jumlah pelanggan, merancang jaringan, menentukan perangkat dan spesifikasi, serta membuat simulasi jaringan menggunakan Optisystem. Berdasarkan hasil analisis, nilai rise time budget sistem untuk GPON adalah 0,19 ns downstream (syarat 0,28 ns) dan 0,38 ns upstream (syarat 0,56 ns), sedangkan untuk XGPON adalah 0,05 ns downstream (syarat 0,07 ns) dan 0,19 ns upstream (syarat 0,28 ns). Untuk ONT terjauh, link power budget yang diperoleh adalah 22,44 dB (syarat 25 dB). Daya terima hasil perhitungan adalah -19,44 dBm downstream dan -20,44 dBm upstream, sedangkan hasil simulasi adalah -19,78 dBm downstream dan -20,78 dBm upstream (syarat ≥ -28 dBm). Q-factor minimal yang diperoleh adalah 9,01 (standar $\geq 6,3$). BER maksimal hasil perhitungan adalah $1,03 \times 10^{-19}$, sedangkan hasil simulasi adalah $8,63 \times 10^{-20}$ (standar $\leq 10^{-10}$). Jadi, jaringan FTTH GPON maupun XGPON yang dirancang layak untuk diterapkan karena memenuhi standar yang ditetapkan PT Telekomunikasi Indonesia Tbk dan ITU-T.

Kata Kunci: FTTH, passive optical network, peramalan, parameter unjuk kerja

Abstract

Fiber to the Home (FTTH) is optical fiber network capable to provide the voice, data, and video services. This research compare GPON and XGPON technologies for FTTH network design to recommend which technology is more appropriate to be applied. This research begins with forecasting the number of FTTH subscribers, designing FTTH network, determine the devices and their specifications, and simulate the FTTH network using Optisystem. Based on the analysis, the value of rise time budget system for GPON is 0,19 ns downstream (required 0,28 ns) and 0.38 ns upstream (required 0,56 ns), while for XGPON is 0.05 ns downstream (required 0,07 ns) and 0.19 ns upstream (required 0,28 ns). For the farthest ONT, the link power budget is 22,44 dB (required 25 dB). Received power calculation is -19,44 dBm downstream and -20,44 dBm upstream, while the simulation is -19,78 dBm downstream and -20,78 dBm upstream (required ≥ -28 dBm). Minimum Q-factor is 9,01 (required $\geq 6,3$). Maximum BER calculation result is $1,03 \times 10^{-19}$, while the simulation result is $8,63 \times 10^{-20}$ (required $\leq 10^{-10}$). This means both GPON and XGPON FTTH networks comply PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk and ITU-T standards.

Keywords: FTTH, passive optical network, forecasting, performance parametes

1. Pendahuluan

Pada era modern ini kemajuan teknologi sangat pesat terutama teknologi informasi dan komunikasi. Kebutuhan masyarakat akan layanan komunikasi juga berubah. Dahulu masyarakat hanya membutuhkan layanan suara, namun pada saat ini masyarakat juga memerlukan layanan *video* dan data. Layanan-layanan tersebut diinginkan bersifat praktis, mudah, dan efisien. Teknologi yang sudah banyak diterapkan saat ini adalah teknologi

jaringan akses tembaga. Namun, teknologi tersebut dinilai belum mampu menyediakan laju data yang cukup tinggi. Oleh karena itu, PT Telekomunikasi Indonesia Tbk secara bertahap membangun suatu infrastruktur jaringan dengan menggunakan serat optik sebagai media transmisinya. Jaringan akses tembaga nantinya akan digantikan oleh jaringan akses serat optik sampai ke *end-user*. Teknologi ini disebut *fiber to the home* (FTTH).

Pada penelitian terdahulu telah dilakukan perancangan jaringan akses *fiber to the home* (FTTH) menggunakan

teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) di Perumahan Setraduta Bandung [1]. Selain itu, terdapat penelitian mengenai analisis perancangan teknologi *hybrid* GPON dan XGPON pada jaringan FTTH di Perumahan Batununggal [2]. Terdapat juga penelitian mengenai migrasi jaringan akses optik dari GPON ke XGPON [3]. Terdapat pula penelitian mengenai analisis dari sistem GPON dan NGPON1 (10G-PON) yang dirancang dalam satu jaringan yang sama [4]. Serta penelitian mengenai analisis perancangan jaringan FTTH (*fiber to the home*) berteknologi GPON [5].

Berdasarkan penjelasan diatas, maka dibuatlah suatu penelitian yang bertujuan untuk menganalisis perbandingan teknologi GPON dan XGPON dalam perancangan jaringan FTTH. Yang membedakan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penulis membandingkan dua buah teknologi yaitu GPON dan XGPON dalam perancangan jaringan FTTH. Perbandingan ini dilakukan untuk menghasilkan rekomendasi teknologi mana yang lebih tepat untuk diterapkan. Analisis ini mempertimbangkan pertumbuhan pelanggan FTTH dan kapasitas yang diperlukan hingga tahun 2020. Lokasi yang penulis pilih dalam merancang jaringan FTTH adalah Perumahan Mutiara Vantavin yang terletak di Kota Tegal. Simulasi dilakukan dengan bantuan program Optisystem.

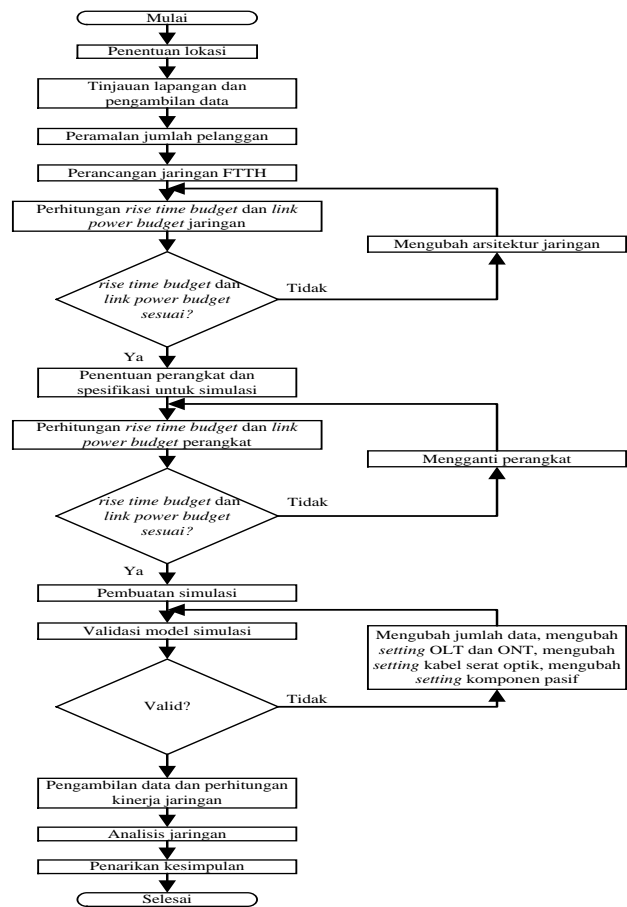
2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

Penelitian ini akan menjelaskan mengenai analisis perbandingan teknologi GPON dan XGPON dalam perancangan jaringan FTTH, sehingga diperoleh rekomendasi teknologi mana yang lebih tepat untuk diterapkan. Analisis ini mempertimbangkan pertumbuhan pelanggan FTTH dan kapasitas yang diperlukan hingga tahun 2020. Perangkat lunak yang akan digunakan adalah Optisystem. Secara umum, langkah dari penelitian ini dapat digambarkan melalui diagram alir pada Gambar 1.

2.2. Perancangan Jaringan FTTH

Lokasi yang dipilih untuk merancang jaringan FTTH adalah Perumahan Mutiara Vantavin yang terletak di Desa Pacul Kabupaten Tegal. Perumahan ini berada dalam wilayah kerja PT Telekomunikasi Indonesia Tbk. Pada perancangan ini, panjang kabel serat optik yang digunakan dari STO (OLT) untuk ONT terjauh adalah 4,882 km. ODC yang digunakan hanya satu, sedangkan jumlah ODP yang digunakan adalah 12 ODP dengan kapasitas 16 pelanggan dan empat ODP dengan kapasitas delapan pelanggan. Jumlah tiang baru yang digunakan yaitu 9 tiang, sedangkan jumlah tiang eksisting yang digunakan ada 26 tiang. Hasil dari perancangan jaringan FTTH ditunjukkan oleh Gambar 2.

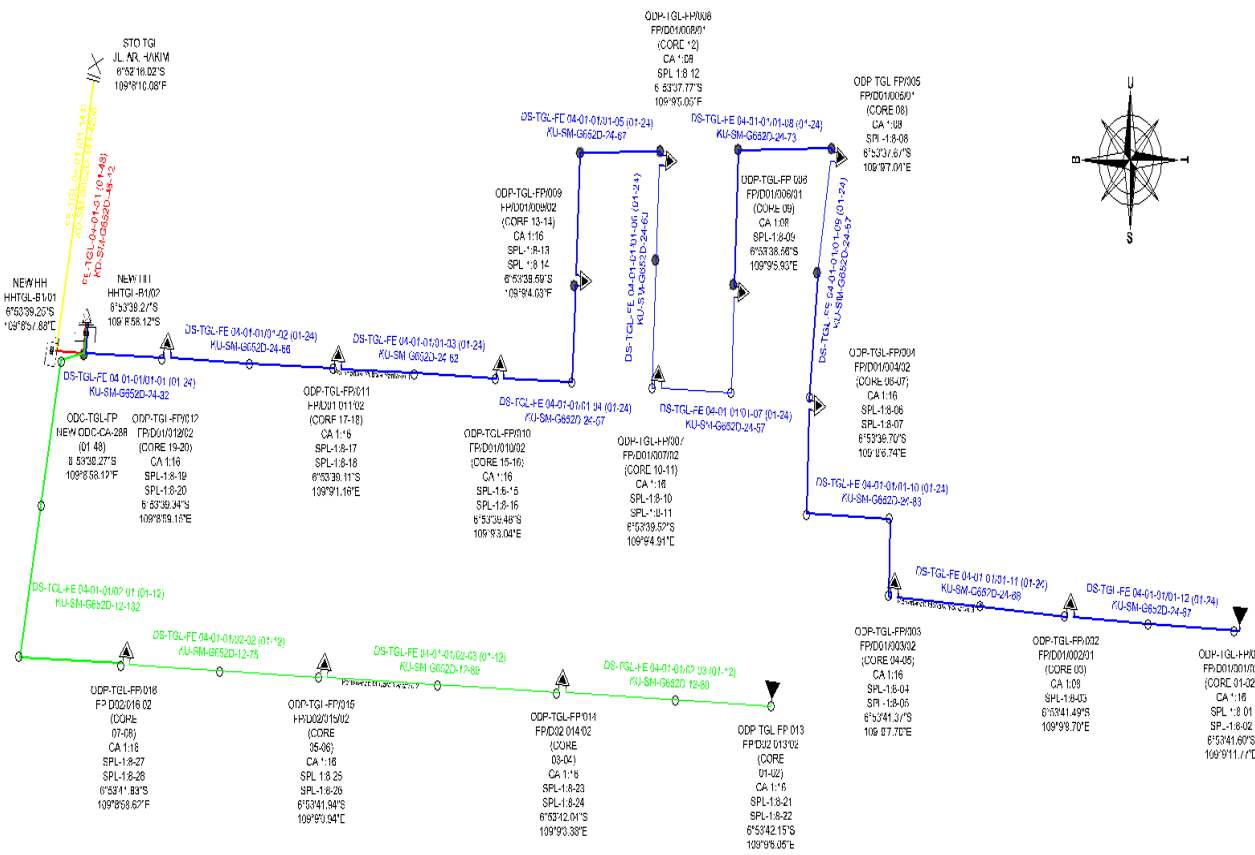


Gambar 1. Langkah Penelitian Analisis Perbandingan Teknologi GPON dan XGPON dalam Perancangan Jaringan FTTH

2.3. Perangkat dan Spesifikasi

Dalam penelitian ini terdapat beberapa perangkat yang akan digunakan sebagai parameter masukan untuk pembuatan simulasi. Perangkat yang digunakan ditentukan sesuai dengan standar yang direkomendasikan PT Telekomunikasi Indonesia Tbk yaitu adalah *Optical Line Terminal* (OLT), *Optical Network Terminal* (ONT), kabel serat optik, *passive optical splitter*, konektor, serta adaptor.

Perangkat OLT dan ONT yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan standar ITU-T G.984 dan ITU-T G.987 [6],[7]. Perangkat OLT yang digunakan adalah ZTE ZXA10 C300, sedangkan perangkat ONT yang digunakan adalah ZTE ZXHN F660. Kedua perangkat tersebut dibuat oleh ZTE. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi dari perangkat ZTE ZXA10 C300. Tabel 2 menunjukkan spesifikasi dari perangkat ZTE ZXHN F660.



Gambar 2. Skema Perancangan Jaringan FTTH

Tabel 1. Spesifikasi ZTE ZXCA10 C300 [8]

Parameters	Specification
Support	IPTV, VoIP, HSI, VPN, mobile backhaul, etc
Standard	1550 nm for third party CATV broadcasting GPON = ITU-T G.984.x XGPON1 = ITU-T G.987.x
Split ratio	Up to 1:128
Physical reach	20 km
GPON transceiver power	Min +3 dBm and max +7 dBm
XGPON1 transceiver power	Min +2 dBm and max +6 dBm
Receiver sensitivity	Better than -28 dBm
Power supply	-48V (± 20%) or -60V (± 20%)

Tabel 2. Spesifikasi ZTE ZXHN F660 [9]

Parameters	Specification
Support	IPTV, internet and HD video services
Standard	GPON = ITU-T G.984.x XGPON1 = ITU-T G.987.x
GPON transceiver power	Min +2 dBm and max +5 dBm
XGPON1 transceiver power	Min +2 dBm and max +5 dBm
Receiver sensitivity	Better than -28 dBm
Power input	12V DC 1,5A

Jenis kabel serat optik yang digunakan dalam perancangan ini adalah kabel *Single-Mode Fiber* (SMF) sesuai dengan standar ITU-T G.652.D dan ITU-T G.657.A1 [10],[11]. Kabel serat optik ini dibuat oleh

Teldor. Tabel 3 menunjukkan spesifikasi dari kabel SMF yang dibuat oleh Teldor.

Tabel 3. Spesifikasi Kabel SMF Teldor [12]

Parameters	Units	ITU-T G.652.D max	ITU-T G.657.A1 max
Attenuation	dB/km	≤ 0,40 at 1310 nm	≤ 0,40 at 1310 nm
		≤ 0,30 at 1550 nm	≤ 0,30 at 1550 nm
		≤ 3,5 at 1285-1330 nm	≤ 3,5 at 1285-1330 nm
Dispersion	ps/(nm.km)	0 at 1460-1530 nm	0 at 1460-1530 nm
		≤ 18 at 1530-1565 nm	≤ 18 at 1530-1565 nm
		≤ 22 at 1565-1625 nm	≤ 22 at 1565-1625 nm
Zero dispersion slope	ps/(nm ² .km)	≤ 0,092	≤ 0,092
PMD coeff.	ps/sqrt(km)	≤ 0,2	≤ 0,2

Jenis *passive optical splitter* yang digunakan dalam perancangan ini adalah *splitter two-stage* 1:4 dan 1:8 sesuai dengan rekomendasi PT Telekomunikasi Indonesia Tbk [13]. *Splitter* ini dibuat oleh 3M. Tabel 4 menunjukkan spesifikasi dari *passive optical splitter* yang dibuat oleh 3M.

Tabel 4. Spesifikasi *Passive Optical Splitter* [14]

Parameters	Specification
Insertion loss (max)	7,1 dB for splitter 1:4 10,5 dB for splitter 1:8

Jenis konektor dan adaptor yang digunakan dalam perancangan ini adalah SC/UPC [13]. Konektor yang digunakan dibuat oleh Huber Suhner, sedangkan adaptor yang digunakan dibuat oleh Kimtech Communication. Tabel 5 menunjukkan spesifikasi dari konektor yang dibuat oleh Huber Suhner, sedangkan Tabel 6 menunjukkan spesifikasi dari adaptor yang dibuat oleh Kimtech Communication.

Tabel 5. Spesifikasi Konektor [15]

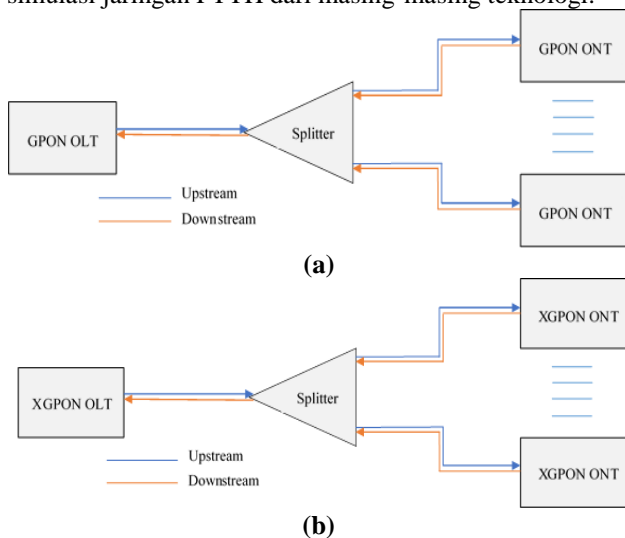
Parameters	Specification
Insertion loss max	0,25 dB
Return loss min	50 dB

Tabel 6. Spesifikasi Adaptor [16]

Parameters	Specification
Insertion loss max	0,3 dB
Return loss min	50 dB

2.4. Pembuatan Simulasi

Pada penelitian ini, simulasi akan dilakukan dengan menggunakan dua teknologi PON, yaitu GPON dan XGPON. Tujuan menggunakan dua teknologi tersebut adalah untuk membandingkan teknologi mana yang lebih tepat untuk diterapkan. Pembuatan simulasi dilakukan menggunakan bantuan Optisystem. Simulasi ini hanya mensimulasikan satu ONT pada setiap ODP yang digunakan. Gambar 3 menunjukkan skema umum simulasi jaringan FTTH dari masing-masing teknologi.



Gambar 3. Skema Umum Simulasi Jaringan FTTH (a) GPON, (b) XGPON

3. Hasil dan Analisis

3.1. Rise Time Budget

Hasil perhitungan *rise time budget* dapat dilihat pada Tabel 7. Berdasarkan Tabel 7, dapat diketahui bahwa nilai *rise time budget* sistem GPON lebih kecil dari nilai t_r

(70% dari satu periode bit data NRZ) GPON. Untuk arah *downstream* nilai *rise time budget* sistem adalah 0,19 ns, sedangkan nilai t_r (70% dari satu periode bit data NRZ) adalah 0,28 ns. Untuk arah *upstream* nilai *rise time budget* sistem adalah 0,38 ns, sedangkan nilai t_r (70% dari satu periode bit data NRZ) adalah 0,56 ns. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa jaringan FTTH dengan teknologi GPON yang dirancang untuk perumahan Mutiara Vantavin layak. Hal ini dikarenakan nilai t_{sistem} (*rise time budget* sistem) \leq nilai t_r (70% dari satu periode bit data NRZ) [17].

Berdasarkan Tabel 7 juga dapat diketahui bahwa nilai *rise time budget* sistem XGPON lebih kecil dari nilai t_r (70% dari satu periode bit data NRZ) XGPON. Untuk arah *downstream* nilai *rise time budget* sistem adalah 0,05 ns, sedangkan nilai t_r (70% dari satu periode bit data NRZ) adalah 0,07 ns. Untuk arah *upstream* nilai *rise time budget* sistem adalah 0,19 ns, sedangkan nilai t_r (70% dari satu periode bit data NRZ) adalah 0,28 ns. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa jaringan FTTH dengan teknologi XGPON yang dirancang untuk perumahan Mutiara Vantavin layak. Hal ini dikarenakan nilai t_{sistem} (*rise time budget* sistem) \leq nilai t_r (70% dari satu periode bit data NRZ) [17].

Rise time budget sistem pada teknologi XGPON lebih kecil dari *rise time budget* sistem pada teknologi GPON. Hal ini dikarenakan *bit rate* pada XGPON lebih besar dari GPON, yaitu 10 Gbps. Semakin besar *bit rate* maka *bandwidth receiver* juga akan semakin besar, sehingga nilai *rise time budget* akan semakin kecil [17].

3.2. Link Power Budget

Link power budget hasil perhitungan untuk arah *downstream* dan *upstream* pada GPON maupun XGPON adalah 22,44 dB. Nilai ini masih memenuhi standar yang ditetapkan PT Telekomunikasi Indonesia Tbk yaitu 25 dB [13]. Selain *link power budget* dilakukan juga perhitungan daya yang diterima *receiver*. Hasil dari perhitungan dan simulasi daya terima GPON dan XGPON arah *downstream* maupun *upstream* ditunjukkan oleh Tabel 8.

Berdasarkan Tabel 8, dapat diketahui bahwa daya terima hasil simulasi GPON dan XGPON arah *downstream* sama. Daya terima hasil simulasi lebih kecil dari daya terima hasil perhitungan, dengan galat terbesar 0,48 dBm. Galat tersebut disebabkan karena adanya akumulasi pembulatan angka. Namun, galat tersebut masih diperbolehkan karena daya terima hasil simulasi lebih kecil dari daya terima dari hasil perhitungan.

Berdasarkan Tabel 8, juga dapat diketahui bahwa daya terima hasil simulasi GPON dan XGPON arah *upstream* sama. Daya terima hasil simulasi lebih kecil dari daya terima hasil perhitungan, dengan galat terbesar 0,48 dBm. Galat tersebut disebabkan karena adanya akumulasi

pembulatan angka. Namun, galat tersebut masih kecil dari daya terima dari hasil perhitungan. diperbolehkan karena daya terima hasil simulasi lebih

Tabel 7. Hasil Perhitungan Rise Time Budget

Nama ONT	Jarak STO – ONT (km)	t_r (ns)*	t_{sistem} (ns)*	t_r (ns)**	t_{sistem} (ns)**	t_r (ns)***	t_{sistem} (ns)***	t_r (ns)****	t_{sistem} (ns)****
ONT 1	4,882	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 2	4,815	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 3	4,747	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 4	4,664	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 5	4,597	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 6	4,524	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 7	4,467	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 8	4,404	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 9	4,337	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 10	4,280	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 11	4,218	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 12	4,152	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 13	4,496	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 14	4,416	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 15	4,327	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19
ONT 16	4,225	0,28	0,19	0,56	0,38	0,07	0,05	0,28	0,19

t_r = 70% dari satu periode bit data NRZ
 t_{sistem} = rise time budget sistem
 * = Downstream GPON
 *** = Downstream XGPON
 ** = Upstream GPON
 **** = Upstream XGPON

Tabel 8. Hasil Perhitungan dan Simulasi Daya Terima

Nama ONT	Jarak STO – ONT (km)	$P_{rx, hitung}^*$ (dBm)	$P_{rx, hitung}^\wedge$ (dBm)	P_{rx}^* (dBm)	P_{rx}^{**} (dBm)	P_{rx}^{***} (dBm)	P_{rx}^\wedge (dBm)	$P_{rx}^{\wedge\wedge}$ (dBm)	Galat * (dBm)	Galat ** (dBm)	Galat *** (dBm)	Galat ^\wedge (dBm)	Galat ^\wedge\wedge (dBm)
ONT 1	4,882	-19,44	-20,44	-19,78	-19,78	-19,78	-20,78	-20,78	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
ONT 2	4,815	-19,42	-20,42	-19,76	-19,76	-19,76	-20,76	-20,76	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
ONT 3	4,747	-19,40	-20,40	-19,74	-19,74	-19,74	-20,74	-20,74	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
ONT 4	4,664	-19,38	-20,38	-19,72	-19,72	-19,72	-20,72	-20,72	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
ONT 5	4,597	-19,36	-20,36	-19,71	-19,71	-19,71	-20,71	-20,71	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
ONT 6	4,524	-19,34	-20,34	-19,71	-19,71	-19,71	-20,71	-20,71	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
ONT 7	4,467	-19,32	-20,32	-19,71	-19,71	-19,71	-20,71	-20,71	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
ONT 8	4,404	-19,30	-20,30	-19,71	-19,71	-19,71	-20,71	-20,71	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
ONT 9	4,337	-19,28	-20,28	-19,71	-19,71	-19,71	-20,71	-20,71	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
ONT 10	4,280	-19,26	-20,26	-19,71	-19,71	-19,71	-20,71	-20,71	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
ONT 11	4,218	-19,25	-20,25	-19,71	-19,71	-19,71	-20,71	-20,71	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
ONT 12	4,152	-19,23	-20,23	-19,71	-19,71	-19,71	-20,71	-20,71	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
ONT 13	4,496	-19,33	-20,33	-19,71	-19,71	-19,71	-20,71	-20,71	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
ONT 14	4,416	-19,30	-20,30	-19,71	-19,71	-19,71	-20,71	-20,71	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
ONT 15	4,327	-19,28	-20,28	-19,71	-19,71	-19,71	-20,71	-20,71	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
ONT 16	4,225	-19,25	-20,25	-19,71	-19,71	-19,71	-20,71	-20,71	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Galat rata-rata									0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

$P_{rx, hitung}^*$ = Daya terima perhitungan downstream
 $P_{rx, hitung}^\wedge$ = Daya terima perhitungan upstream
 P_{rx}^* = Daya terima simulasi GPON pada panjang gelombang 1490 nm downstream
 P_{rx}^{**} = Daya terima simulasi GPON pada panjang gelombang 1550 nm downstream
 P_{rx}^{***} = Daya terima simulasi XGPON pada panjang gelombang 1580 nm downstream
 P_{rx}^\wedge = Daya terima simulasi GPON pada panjang gelombang 1310 nm upstream
 $P_{rx}^{\wedge\wedge}$ = Daya terima simulasi XGPON pada panjang gelombang 1270 nm upstream
 |Galat|* = Galat GPON pada panjang gelombang 1490 nm downstream
 |Galat|** = Galat GPON pada panjang gelombang 1550 nm downstream
 |Galat|*** = Galat XGPON pada panjang gelombang 1580 nm downstream
 |Galat|^\wedge = Galat GPON pada panjang gelombang 1310 nm upstream
 |Galat|^\wedge\wedge = Galat XGPON pada panjang gelombang 1270 nm upstream

Berdasarkan pengujian link power budget dan daya terima yang dilakukan untuk arah downstream dan upstream, jaringan FTTH yang dirancang untuk Perumahan Mutiara Vantavin bekerja dengan baik. Galat rata-rata yang diperoleh sebesar 0,4 dBm. Galat tersebut akan dijadikan pinalti daya, sehingga link power budget maksimal yang

dijinkan adalah 24,6 dB. Selain itu, daya yang diterima lebih besar dari -28 dBm. Hal ini sesuai dengan standar yang ditetapkan ITU-T [6],[7].

3.3. Q-factor

Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh nilai Q-factor untuk GPON maupun XGPON pada arah downstream dan upstream. Tabel 9 menunjukkan hasil dari simulasi Q-factor untuk GPON dan XGPON pada arah downstream dan upstream dari setiap ONT yang digunakan.

Tabel 9. Hasil Simulasi Q-factor Arah Downstream dan Upstream

Nama ONT	Q-factor*	Q-factor**	Q-factor***	Q-factor^	Q-factor^^
ONT 1	14,07	14,29	13,67	9,01	12,79
ONT 2	14,08	14,29	13,89	9,01	12,72
ONT 3	14,04	14,3	13,68	9,01	12,81
ONT 4	13,99	14,31	13,78	9,02	13,14
ONT 5	14	14,31	13,85	9,01	13,17
ONT 6	14	14,31	13,85	9,01	13,17
ONT 7	14	14,31	13,85	9,01	13,17
ONT 8	14	14,31	13,85	9,01	13,17
ONT 9	14	14,31	13,85	9,01	13,17
ONT 10	14	14,31	13,85	9,01	13,17
ONT 11	14	14,31	13,85	9,01	13,17
ONT 12	14	14,31	13,85	9,01	13,17
ONT 13	14	14,31	13,85	9,01	13,17
ONT 14	14	14,31	13,85	9,01	13,17
ONT 15	14	14,31	13,85	9,01	13,17

- Q-factor* = Q-factor GPON downstream pada panjang gelombang 1490 nm
- Q-factor** = Q-factor GPON downstream pada panjang gelombang 1550 nm
- Q-factor*** = Q-factor XGPON downstream pada panjang gelombang 1580 nm
- Q-factor^ = Q-factor GPON upstream pada panjang gelombang 1310 nm
- Q-factor^^ = Q-factor upstream XGPON pada panjang gelombang 1270 nm

Berdasarkan Tabel 9, dapat diketahui bahwa nilai Q-factor GPON arah downstream lebih besar dari nilai Q-factor XGPON arah downstream. Hal ini dikarenakan semakin besar bit rate dan semakin besar panjang gelombang yang digunakan, maka nilai Q-factor akan semakin kecil [17]. Berbeda dengan arah downstream, pada arah upstream nilai Q-factor GPON lebih kecil dari nilai Q-factor XGPON. Hal ini dikarenakan bit rate yang digunakan pada arah upstream GPON sangat kecil yaitu 1,25 Gbps, sehingga bandwidth yang digunakan juga sangat kecil [17]. Penyebab yang lain adalah panjang gelombang yang digunakan pada arah upstream GPON lebih besar dari panjang gelombang pada arah upstream XGPON. Semakin besar panjang gelombang maka pengaruh dari dispersi semakin besar, sehingga nilai Q-factor akan semakin kecil [17]. Namun, nilai Q-factor GPON maupun XGPON masih memenuhi standar yang ditetapkan ITU-T yaitu 6,3 untuk mencapai nilai BER 10⁻¹⁰ [6],[7].

3.4. Bit Error Rate (BER)

Berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan, diperoleh nilai BER untuk GPON maupun XGPON pada arah

downstream dan upstream. Tabel 10 menunjukkan hasil dari perhitungan dan simulasi nilai BER untuk arah downstream GPON dan XGPON, sedangkan Tabel 11 menunjukkan hasil dari perhitungan dan simulasi nilai BER untuk arah upstream GPON dan XGPON.

Berdasarkan Tabel 10, dapat diketahui bahwa nilai BER GPON arah downstream lebih kecil dari nilai BER XGPON arah downstream. Hal ini dikarenakan semakin besar bit rate dan semakin besar panjang gelombang yang digunakan, maka nilai BER akan semakin besar [17]. Berbeda dengan arah downstream, pada arah upstream berdasarkan Tabel 11 nilai BER GPON lebih besar dari nilai BER XGPON. Hal ini dikarenakan bit rate yang digunakan pada arah upstream GPON sangat kecil yaitu 1,25 Gbps, sehingga bandwidth yang digunakan juga sangat kecil. Penyebab yang lain adalah panjang gelombang yang digunakan pada arah upstream GPON lebih besar dari panjang gelombang pada arah upstream XGPON. Semakin besar panjang gelombang maka pengaruh dari dispersi semakin besar, sehingga nilai BER akan semakin besar [17]. Pada Tabel 10 dan Tabel 11 juga dapat dilihat bahwa nilai BER sangat kecil. Hal ini dikarenakan pengaruh dari noise belum signifikan. Noise mulai mempengaruhi nilai BER pada saat daya yang diterima ≤ -21 dBm. Galat yang diperoleh untuk nilai BER hasil perhitungan dan simulasi sangat kecil, dengan galat terbesar yaitu 0,1. Galat tersebut disebabkan karena adanya akumulasi pembulatan angka. Namun, galat tersebut masih diperbolehkan karena sangat kecil.

Berdasarkan pengujian BER yang dilakukan untuk arah downstream dan upstream, jaringan FTTH yang dirancang untuk Perumahan Mutiara Vantavin bekerja dengan baik. Galat rata-rata BER yang diperoleh untuk GPON dengan panjang gelombang 1490 nm dan 1550 nm sebesar 0,06 dan 0,04, sedangkan untuk panjang gelombang 1310 nm adalah 0,09. Pada XGPON, galat rata-rata BER untuk panjang gelombang 1580 nm adalah 0,09, sedangkan panjang gelombang 1270 nm adalah 0,05. Galat rata-rata BER pada GPON maupun XGPON untuk downstream dan upstream sangat kecil. Selain itu, nilai BER GPON maupun XGPON masih memenuhi standar yang ditetapkan ITU-T yaitu 10⁻¹⁰ [6],[7].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa kedua teknologi ini (GPON dan XGPON) layak untuk diterapkan. Hal ini dikarenakan nilai rise time budget sistem untuk GPON adalah 0,19 ns downstream (syarat 0,28 ns) dan 0,38 ns upstream (syarat 0,56 ns), sedangkan untuk XGPON adalah 0,05 ns downstream (syarat 0,07 ns) dan 0,19 ns upstream (syarat 0,28 ns). Untuk ONT terjauh, link power budget yang diperoleh adalah 22,44 dB (syarat 25 dB). Daya terima hasil perhitungan adalah -19,44 dBm downstream dan -20,44 dBm upstream, sedangkan hasil simulasi adalah -19,78 dBm downstream

dan -20,78 dBm upstream (syarat ≥ -28 dBm). *Q-factor* minimal yang diperoleh adalah 9,01 (standar $\geq 6,3$). BER maksimal hasil perhitungan adalah $1,03 \times 10^{-19}$,

sedangkan hasil simulasi adalah $8,63 \times 10^{-20}$ (standar $\leq 10^{-10}$). Sebagai saran, hasil dari perhitungan dan simulasi dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran di lapangan.

Tabel 10. Hasil Perhitungan dan Simulasi BER Arah Downstream

Nama ONT	BER _{hitung} [*]	BER _{hitung} ^{**}	BER _{hitung} ^{***}	BER _{sim} [*]	BER _{sim} ^{**}	BER _{sim} ^{***}	log Galat [*]	log Galat ^{**}	log Galat ^{***}
ONT 1	$2,9 \times 10^{-45}$	$1,26 \times 10^{-46}$	$7,67 \times 10^{-43}$	$2,54 \times 10^{-45}$	$1,14 \times 10^{-46}$	$6,71 \times 10^{-43}$	0,06	0,04	0,06
ONT 2	$2,52 \times 10^{-45}$	$1,26 \times 10^{-46}$	$3,64 \times 10^{-44}$	$2,09 \times 10^{-45}$	$1,05 \times 10^{-46}$	$3,48 \times 10^{-44}$	0,08	0,08	0,02
ONT 3	$4,44 \times 10^{-45}$	$1,09 \times 10^{-47}$	$6,68 \times 10^{-43}$	$3,92 \times 10^{-45}$	$9,74 \times 10^{-47}$	$5,89 \times 10^{-43}$	0,05	0,05	0,05
ONT 4	$8,97 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$1,68 \times 10^{-43}$	$7,9 \times 10^{-45}$	$8,85 \times 10^{-47}$	$1,46 \times 10^{-43}$	0,06	0,03	0,06
ONT 5	$7,79 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$6,36 \times 10^{-44}$	$6,87 \times 10^{-45}$	$8,78 \times 10^{-47}$	$5,85 \times 10^{-44}$	0,05	0,03	0,04
ONT 6	$7,79 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$6,36 \times 10^{-44}$	$6,87 \times 10^{-45}$	$8,78 \times 10^{-47}$	$5,85 \times 10^{-44}$	0,05	0,03	0,04
ONT 7	$7,79 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$6,36 \times 10^{-44}$	$6,87 \times 10^{-45}$	$8,78 \times 10^{-47}$	$5,85 \times 10^{-44}$	0,05	0,03	0,04
ONT 8	$7,79 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$6,36 \times 10^{-44}$	$6,87 \times 10^{-45}$	$8,78 \times 10^{-47}$	$5,85 \times 10^{-44}$	0,05	0,03	0,04
ONT 9	$7,79 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$6,36 \times 10^{-44}$	$6,87 \times 10^{-45}$	$8,78 \times 10^{-47}$	$5,85 \times 10^{-44}$	0,05	0,03	0,04
ONT 10	$7,79 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$6,36 \times 10^{-44}$	$6,87 \times 10^{-45}$	$8,78 \times 10^{-47}$	$5,85 \times 10^{-44}$	0,05	0,03	0,04
ONT 11	$7,79 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$6,36 \times 10^{-44}$	$6,87 \times 10^{-45}$	$8,78 \times 10^{-47}$	$5,85 \times 10^{-44}$	0,05	0,03	0,04
ONT 12	$7,79 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$6,36 \times 10^{-44}$	$6,87 \times 10^{-45}$	$8,78 \times 10^{-47}$	$5,85 \times 10^{-44}$	0,05	0,03	0,04
ONT 13	$7,79 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$6,36 \times 10^{-44}$	$6,87 \times 10^{-45}$	$8,78 \times 10^{-47}$	$5,85 \times 10^{-44}$	0,05	0,03	0,04
ONT 14	$7,79 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$6,36 \times 10^{-44}$	$6,87 \times 10^{-45}$	$8,78 \times 10^{-47}$	$5,85 \times 10^{-44}$	0,05	0,03	0,04
ONT 15	$7,79 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$6,36 \times 10^{-44}$	$6,87 \times 10^{-45}$	$8,78 \times 10^{-47}$	$5,85 \times 10^{-44}$	0,05	0,03	0,04
ONT 16	$7,79 \times 10^{-45}$	$9,48 \times 10^{-47}$	$6,36 \times 10^{-44}$	$6,87 \times 10^{-45}$	$8,78 \times 10^{-47}$	$5,85 \times 10^{-44}$	0,05	0,03	0,04
	Galat rata-rata						0,06	0,04	0,04

Tabel 11. Hasil Perhitungan dan Simulasi BER Arah Upstream

Nama ONT	BER _{hitung} [^]	BER _{hitung} ^{^^}	BER _{sim} [^]	BER _{sim} ^{^^}	log Galat [^]	log Galat ^{^^}
ONT 1	$1,03 \times 10^{-19}$	$9,32 \times 10^{-38}$	$8,63 \times 10^{-20}$	$8,85 \times 10^{-38}$	0,08	0,02
ONT 2	$1,03 \times 10^{-19}$	$2,29 \times 10^{-37}$	$8,41 \times 10^{-20}$	$2,01 \times 10^{-37}$	0,09	0,06
ONT 3	$1,03 \times 10^{-19}$	$7,21 \times 10^{-38}$	$8,24 \times 10^{-20}$	$6,56 \times 10^{-38}$	0,1	0,04
ONT 4	$9,4 \times 10^{-20}$	$9,71 \times 10^{-40}$	$8,14 \times 10^{-20}$	$8,45 \times 10^{-40}$	0,06	0,06
ONT 5	$1,03 \times 10^{-19}$	$6,53 \times 10^{-40}$	$8,29 \times 10^{-20}$	$5,82 \times 10^{-40}$	0,09	0,05
ONT 6	$1,03 \times 10^{-19}$	$6,53 \times 10^{-40}$	$8,29 \times 10^{-20}$	$5,82 \times 10^{-40}$	0,09	0,05
ONT 7	$1,03 \times 10^{-19}$	$6,53 \times 10^{-40}$	$8,29 \times 10^{-20}$	$5,82 \times 10^{-40}$	0,09	0,05
ONT 8	$1,03 \times 10^{-19}$	$6,53 \times 10^{-40}$	$8,29 \times 10^{-20}$	$5,82 \times 10^{-40}$	0,09	0,05
ONT 9	$1,03 \times 10^{-19}$	$6,53 \times 10^{-40}$	$8,29 \times 10^{-20}$	$5,82 \times 10^{-40}$	0,09	0,05
ONT 10	$1,03 \times 10^{-19}$	$6,53 \times 10^{-40}$	$8,29 \times 10^{-20}$	$5,82 \times 10^{-40}$	0,09	0,05
ONT 11	$1,03 \times 10^{-19}$	$6,53 \times 10^{-40}$	$8,29 \times 10^{-20}$	$5,82 \times 10^{-40}$	0,09	0,05
ONT 12	$1,03 \times 10^{-19}$	$6,53 \times 10^{-40}$	$8,29 \times 10^{-20}$	$5,82 \times 10^{-40}$	0,09	0,05
ONT 13	$1,03 \times 10^{-19}$	$6,53 \times 10^{-40}$	$8,29 \times 10^{-20}$	$5,82 \times 10^{-40}$	0,09	0,05
ONT 14	$1,03 \times 10^{-19}$	$6,53 \times 10^{-40}$	$8,29 \times 10^{-20}$	$5,82 \times 10^{-40}$	0,09	0,05
ONT 15	$1,03 \times 10^{-19}$	$6,53 \times 10^{-40}$	$8,29 \times 10^{-20}$	$5,82 \times 10^{-40}$	0,09	0,05
ONT 16	$1,03 \times 10^{-19}$	$6,53 \times 10^{-40}$	$8,29 \times 10^{-20}$	$5,82 \times 10^{-40}$	0,09	0,05
	Galat rata-rata				0,09	0,05

- BER_{hitung}^{*} = BER perhitungan GPON downstream pada panjang gelombang 1490 nm
- BER_{hitung}^{**} = BER perhitungan GPON downstream pada panjang gelombang 1550 nm
- BER_{hitung}^{***} = BER perhitungan XGPON downstream pada panjang gelombang 1580 nm
- BER_{hitung}[^] = BER perhitungan GPON upstream pada panjang gelombang 1310 nm
- BER_{hitung}^{^^} = BER perhitungan XGPON upstream pada panjang gelombang 1270 nm
- BER_{sim}^{*} = BER simulasi GPON downstream pada panjang gelombang 1490 nm
- BER_{sim}^{**} = BER simulasi GPON downstream pada panjang gelombang 1550 nm
- BER_{sim}^{***} = BER simulasi XGPON downstream pada panjang gelombang 1580 nm
- BER_{sim}[^] = BER simulasi GPON upstream pada panjang gelombang 1310 nm
- BER_{sim}^{^^} = BER simulasi XGPON upstream pada panjang gelombang 1270 nm
- Galat^{*} = Galat GPON downstream pada panjang gelombang 1490 nm
- Galat^{**} = Galat GPON downstream pada panjang gelombang 1550 nm
- Galat^{***} = Galat XGPON downstream pada panjang gelombang 1580 nm
- Galat[^] = Galat GPON upstream pada panjang gelombang 1310 nm
- Galat^{^^} = Galat GPON upstream pada panjang gelombang 1270 nm

Referensi

- [1]. S. Muhammad R. M., "Perancangan Jaringan Akses Fiber to the Home (FTTH) menggunakan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) di Perumahan Setraduta Bandung", Tugas Akhir, Fakultas Elektro dan Komunikasi, Institut Teknologi Telkom, Bandung, 2012.
- [2]. Yulizar N. R., "Analisis Perancangan Teknologi Hybrid GPON dan XGPON di Perumahan Batununggal", Tugas Akhir. Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, 2015.
- [3]. Batagelj B., Erzen V., Tratnik J., dan Naglic L., "Optical Access Network Migration from GPON to XGPON", dalam *Proc. The Third International Conf. on Access Network*, Venice, Italy, 2012, hal. 62-67.
- [4]. Mrakovic M. D., dan Matavulj P. S., "Analysis of Coexisting GPON and NGPON1 (10G-PON) System", *Telfor Journal*, vol. 3, no. 1, hal. 43-48, 2011.
- [5]. Dermawan B., "Analisis Jaringan FTTH (Fiber to the Home) Berteknologi GPON (Gigabit Passive Optical Network)", Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, 2016.
- [6]. *Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification*, ITU-T Standard G.984.2, 2003.
- [7]. *10-Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification*, ITU-T Standard G.987.2, 2010.
- [8]. ZTE, China, *ZXA10 C300 xPON OLT Products*, Tersedia: <http://enterprise.zte.com.cn/>. Diakses: 15 April 2016.
- [9]. ZTE, China, *ZXHN F660 PON ONT Products*, Tersedia: <http://enterprise.zte.com.cn/>. Diakses: 15 April 2016.
- [10]. *Characteristics of a Single-Mode Optical Fibre and Cable*, ITU-T Standard G.652, 2003.
- [11]. *Characteristics of a Bending-loss Insensitive Single-Mode Optical Fibre and Cable for the Access Network*, ITU-T Standard G.657, 2009.
- [12]. Teldor, Israel, *SM Optical Fiber Products*, Tersedia: <http://teldor.com/>. Diakses: 17 April 2016.
- [13]. *Panduan Desan FTTH*, PT Telekomunikasi Indonesia Tbk, Indonesia, 2012.
- [14]. 3M, United States, *3M™ Splitter Rack Mount Shelves Products*, Tersedia: <http://solutions.3m.com/>. Diakses: 17 April 2016.
- [15]. Huber Suhner, Austria, *SC/UPC Connector Products*, Tersedia: <http://hubersuhner.com/>. Diakses: 18 April 2016.
- [16]. Kimtech Communication, Thailand, *SC/UPC Adapter Products*, Tersedia: <http://kimtech.co.th/>. Diakses: 19 April 2016.
- [17]. Keiser G., *Optical Fiber Communication*, 4rd Edition. Singapore: McGraw-Hill, 2000.