

PERBANDINGAN PERFORMANSI AGREGASI JARINGAN 40G DAN 80G PADA TEKNOLOGI NG-PON2 DENGAN VARIASI JARAK

A COMPARASION PERFORMANCE AGGREGATION OF 40G AND 80G NETWORK ON NG-PON2 WITH DISTANCE VARIATION

Fauzan Munggara¹, Akhmad Hambali Ir.,M.T², Brian Pamukti S.T.,M.T³

¹²³Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Bandung

¹fauzanmung@student.telkomuniversity.ac.id, ²ahambali@telkomuniversity.ac.id, ³brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kebutuhan akan *data rate* yang meningkat dalam jaringan telekomunikasi membuat keadaan saat ini terus menerus dilakukan pengembangan dan penelitian terhadap teknologi-teknologi yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut. *Next Generation Passive Optical Network Stage 2* (NG-PON2) merupakan salah satu evolusi dari teknologi *Passive Optical Network* (PON) yang nantinya akan menjadi pengisi dari kebutuhan yang semakin meningkat tersebut. Hasil simulasi pada penelitian ini ialah dengan didapatkan performansi terbaik dengan jarak maksimum yang dapat ditempuh oleh tiap ONU yang ada dengan kombinasi *passive splitter 3 stage* terbaik pada dua kanal berbeda. Pada kanal pertama untuk 64 ONU arah *downstream* pada jarak 20 km menghasilkan *Received Power* = -21.56 dBm, *Q-Factor* = 9,66 dan BER = $3,72 \times 10^{-21}$ dan arah *upstream* pada jarak 20 km dengan hasil *Received Power* = -25,21 dBm, *Q-Factor* = 6,3 dan BER = $6,25 \times 10^{-10}$. Kemudian pada kanal kedua untuk 64 ONU arah *downstream* pada jarak 20 km menghasilkan *Received Power* = -21,445 dBm, *Q-Factor* = 9,62 dan BER = $2,19 \times 10^{-20}$ dan arah *upstream* dengan hasil *Received Power* = -25,18 dBm, *Q-Factor* = 7,12 dan BER = $4,95 \times 10^{-11}$.

Kata Kunci : NG-PON2, Performansi, TWDM.

Abstract

The need for increasing data rate and the more it increased in telecommunication networks makes the current state continuously in development and research on technologies which can meet those needs. The result of the simulation is getting the best performance with maksimum distance which can reach by each ONU using the best 3-stage passive splitter combination at two different channnel. On the first channel for 64 ONU downstream direction at 20 km the result is *Received Power* = -21.56 dBm, *Q-Factor* = 9,66 and BER = $3,72 \times 10^{-21}$ and upstream direction with result is *Received Power* = -21,445 dBm, *Q-Factor* = 9,62 dan BER = $2,19 \times 10^{-20}$. Next on the second channel for 64 ONU downstream direction at 25 km the result is *Received Power* = -25,04dBm, *Q-Factor* = 7,83 dan BER = $1,17 \times 10^{-13}$ and upstream direction with result is *Received Power* = -25,18 dBm, *Q-Factor* = 7,12 and BER = $4,95 \times 10^{-11}$.

Key Words : NG-PON2, Performance, TWDM

1. Pendahuluan

Jaringan akses NG-PON2 ini memiliki laju bit minimum 40 Gbps dengan arah *downstream* dan 10 Gbps arah *upstream* berbasis *Time Wavelength Division Multiplexing* (TWDM) dengan agregasi empat buah OLT XG-PON dengan tiap kanal berisi 10 Gbps arah *downstream* dan 2.5 Gbps arah *upstream* [1]. Sebelumnya telah dilakukan penelitian jaringan NG-PON2 ini pada [2] terhadap penggunaan kombinasi *splitter* terbaik dengan di dapatkan kombinasi *passive splitter* terbaik 3 stage yaitu 64 ONU (1:4, 1:4, 1:4), 128 ONU (1:2, 1:8, 1:8), dan 256 ONU (1:4, 1:4, 1:16) dengan nilai *Q-factor*, *Link Power Budget* (LPB), dan *Bit Error Rate* (BER) yang telah sesuai dengan standar ITU-T. Dalam Tugas Akhir ini telah dilakukan perancangan jaringan NG-PON2 dengan dua tipe kanal dengan kapasitas transmisi pertama 40G dengan agregasi empat buah OLT XG-PON dengan *bitrate* 10 Gbps arah *downstream* dan 2,5 Gbps arah *upstream* dan kapasitas transmisi kedua 80G dengan agregasi delapan buah OLT XG-PON dengan *bitrate* yang sama dengan kanal pertama. Kemudian dilakukan rekayasa pada sistem menggunakan 10 jarak yang berbeda. Dengan perancangan dan rekayasa simulasi tersebut akan dilakukan analisis performansi dan perbandingan antara kedua tipe kanal tersebut menggunakan parameter-parameter performansi seperti LPB, *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Q-Factor*, dan BER sebagai acuan untuk perbandingan dari rancangan kedua jaringan dengan tipe kanal tersebut.

2. Dasar Teori dan Perancangan Sistem

2.1 Next Generation Passive Optical Network Stage 2 (NG-PON2)

Dalam perkembangan teknologi PON, inovasi *multiplexing* mulai di terapkan dan di dimanfaatkan untuk memenuhi kapasitas transmisi yang awalnya kapasitas transmisi hanya sebatas 155 dan 622 Mbps untuk *upstream/downstream*. Kemudian dilakukan penggunaan Time Division Multiplexing (TDM) dimana kecepatan transmisi yang mencapai 2,5 Gbps untuk arah *downstream* dan 1,25 Gbps untuk arah *upstream* dan dikenal sebagai teknologi GPON. Tak hanya sampai disitu TDM terus melakukan perkembangan PON hingga mencapai mencapai 10 Gbps untuk arah *downstream* dan 2,5 Gbps untuk arah *upstream* dan dikenal sebagai teknologi XG-PON [2]. Kemudian FSAN pada tahun 2012 melakukan penggabungan atau lebih dikenal dengan istilah *hybrid* terhadap TDM dengan jenis *multiplexing* lainnya yaitu *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) yang kemudian disebut dengan *Time Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network* (TWDM-PON) yang menjadi dasar dari teknologi NG-PON2. TDM akan menjadi penyedia kapasitas yang besar ditambah dengan WDM yang menyediakan panjang gelombang yang lebih banyak di dalam satu sistem [3].

2.2 Splitter

Splitter merupakan perangkat pasif yang berfungsi untuk membagi informasi sinyal optik (gelombang cahaya) dan dapat merutekan atau mengkombinasikan sinyal optik. *Splitter* dikatakan sebagai perangkat pasif dikarenakan tidak memerlukan sumber energi eksternal. Cara kerja *splitter* ini dengan melakukan pembagian daya optik yang akan sama rata di tiap titik keluarannya [2].



Gambar 1 Passive Splitter 1 x 4[4]

Jenis-jenis kapasitas yang dimiliki *passive splitter* cukup beragam yaitu 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64. Implementasi lapangan yang ada penggunaan *passive splitter* ini dilakukan sebuah kombinasi yang terbagi menjadi dua kategori yaitu *One Stage* (1:32) atau *Two Stage* (1:4 dan 1:8) yang telah di rekomendasikan oleh PT. Telkom Indonesia [5].

Tabel 1 Jenis dan Redaman Splitter[5]

<i>Split Ratio</i>	Redaman (dB)
1:2	3,7
1:4	7,25
1:8	10,38
1:16	14,1
1:32	17,45

2.3. Parameter Performansi

Terdapat empat parameter pengujian (*Link Power Budget*, *Q factor*, OSNR, dan BER). Keempat parameter pengujian akan dijelaskan berikut ini :

2.3.1.Link Power Budget (LPB)

Link Power Budget ialah daya minimum yang dijadikan syarat sebagai batas ambang yang dibutuhkan setelah melewati total redaman yang terjadi di sepanjang link optik mulai dari sisi pengirim hingga penerima. Nilai total redaman yang terjadi disebabkan diantaranya oleh redaman kabel, redaman konektor, serta redaman penyambungan. Sesuai ITU-T Rec G.989.2 redaman yang diizinkan menjadi nilai received power minimal ialah sebesar -28dBm. Untuk menghitung *Link Power Budget* dapat dihitung dengan rumus total redaman sebagai berikut [6]:

$$a_{tot} = L. \alpha_f + N_c. \alpha_c + N_s \times \alpha_s + s_p \quad (1)$$

$$P_{Rx} = P_{Tx} - a_{total} \quad (2)$$

2.3.2.Signal to Noise Ratio

SNR adalah hasil perbandingan antara sinyal yang dikirimkan terhadap daya noise pada sistem. Perhitungan SNR dapat menggunakan rumus berikut [7]:

$$SNR = \frac{(P_r \cdot R \cdot M)^2}{2 \cdot q \cdot P_r \cdot R \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot B_e + \frac{4K_B \cdot T \cdot B_e}{R_L}}$$

2.3.3. Q-factor

Q-factor dapat didefinisikan sebagai faktor penentu kualitas dari performansi suatu sistem. Nilai kualitas yang menjadi batas penentu dikatakan suatu jaringan tersebut sudah baik atau buruknya ialah 6. Sehingga apabila nilai *Q-factor* dari suatu performansi sistem lebih dari 6 maka sistem tersebut sudah baik dan berlaku sebaliknya. Untuk mendapatkan nilai *Q-factor* dapat digunakan rumus berikut [8] :

$$Q = \frac{10^{\frac{SNR}{20}}}{2} \quad (4)$$

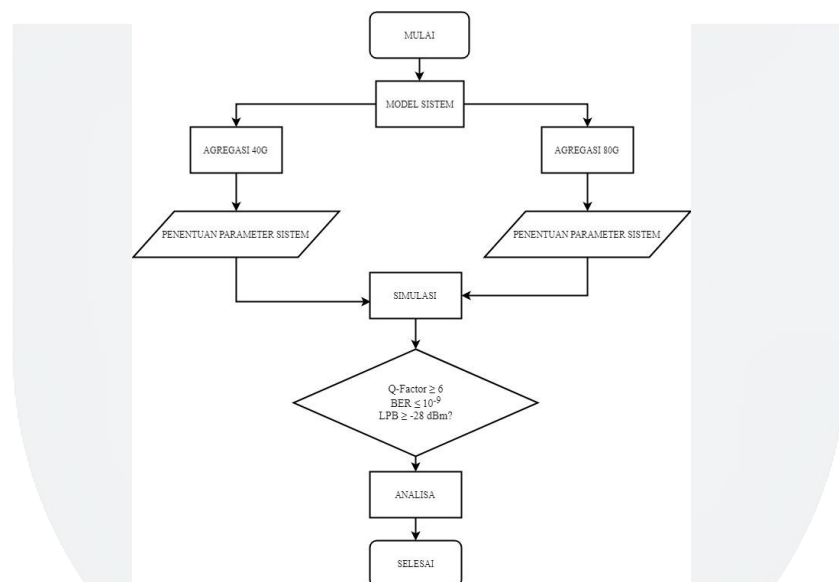
2.3.4 Bit Error Rate

BER merupakan perbandingan bit yang mengalami *error* pada saat pengiriman bit-bit dari pengirim ke penerima. Nilai BER dapat dituliskan seperti 10^{-6} yang artinya ada satu bit yang rusak pada saat pengiriman 1000000 bit atau 10^6 data yang di transmisikan. Persamaan dibawah ini dapat dihitung untuk mendapatkan nilai BER[9]:

$$BER = \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{Q\sqrt{2\pi}} \quad (5)$$

2.4. Perancangan Sistem

Pada perancangan dan implementasi sistem, dijelaskan secara umum tentang alur atau tahapan sistem dalam penelitian ini. Gambaran umum dari perancangan sistem dapat dilihat dari diagram alir pada gambar sebagai berikut:



Gambar 2 Perancangan Sistem

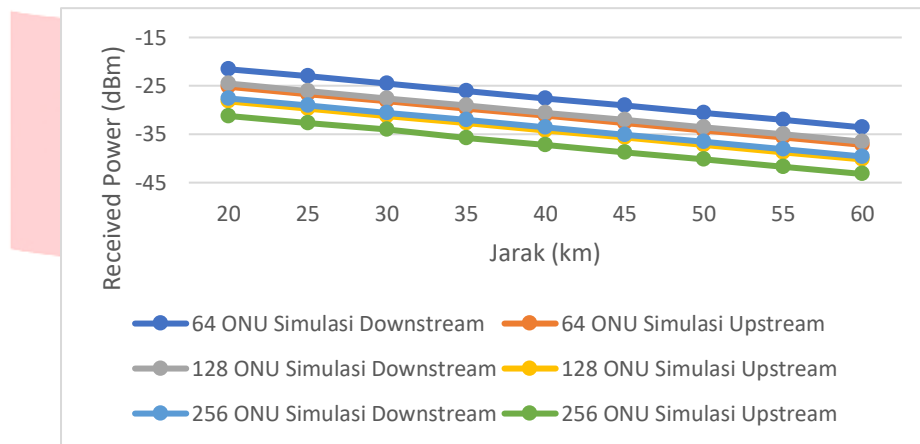
Gambar 2 merupakan gambar diagram alir dari penyelesaian penelitian ini. Dengan membuat perancangan sistem sebagai langkah pertama. Pada tahap ini akan dilakukan perancangan sistem NG-PON2 dengan menggunakan perangkat lunak simulasi optik. Kemudian tahapan selanjutnya ialah terpecah menjadi dua kondisi tergantung dengan model sistem dan memasukkan parameter-parameter yang sesuai dan akan dipakai dalam sistem ini meliputi parameter *transmitter*, parameter *splitter* yang digunakan dan parameter *receiver* yang akan di jelaskan pada sub-bab selanjutnya. Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini akan digunakan kombinasi *splitter 3 stage* terbaik yang akan diuji dengan memasukkan variasi daya dan jarak yang berbeda pada dua sistem kanal berbeda yaitu dengan menggunakan empat dan delapan buah OLT

3. Pembahasan

3.1. Analisis Skenario Pertama

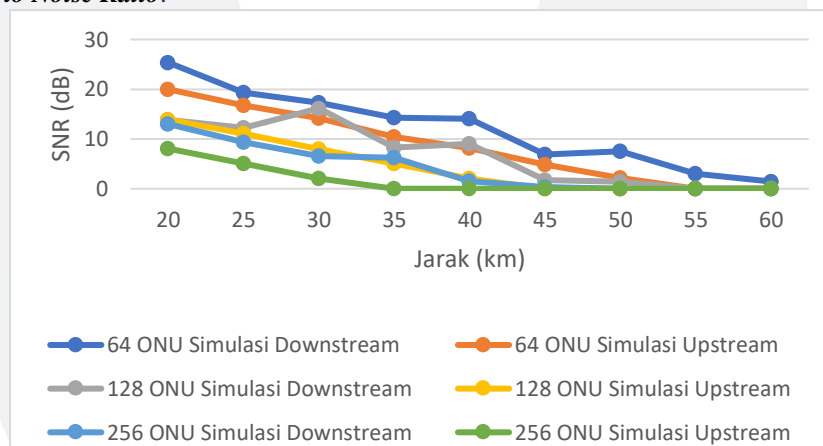
3.1.1. Analisis Link Power Budget

Gambar 3 memperlihatkan perbandingan LPB dari tiap ONU yang ada pada kedua arah *downstream* maupun *upstream*, dan didapatkan jarak maksimum yang dapat di tempuh oleh tiap-tiap ONU dengan *power received* yang sesuai dengan standar. Untuk 64 ONU arah *downstream* jarak yang dapat di tempuh ialah 40 km dengan LPB = -27,51 dBm dan arah *upstream* jarak yang dapat di tempuh ialah 25 km dengan LPB= -26,7 dBm. Kemudian untuk 128 ONU arah *downstream* jarak maksimum yang dapat di tempuh ialah 30 km dengan LPB= -27,6 dBm, sedangkan untuk jumlah ONU 128 arah *upstream* dan 256 ONU arah *upstream* dan *downstream* nilai LPB tidak memenuhi standar pada jarak terkecil penelitian ini sehingga diperlukan adanya penguat ataupun meningkatkan daya kirim agar hasil LPB dapat memenuhi standar dan mampu mencapai jarak maksimum.



Gambar 3 Hasil Perbandingan LPB tiap ONU

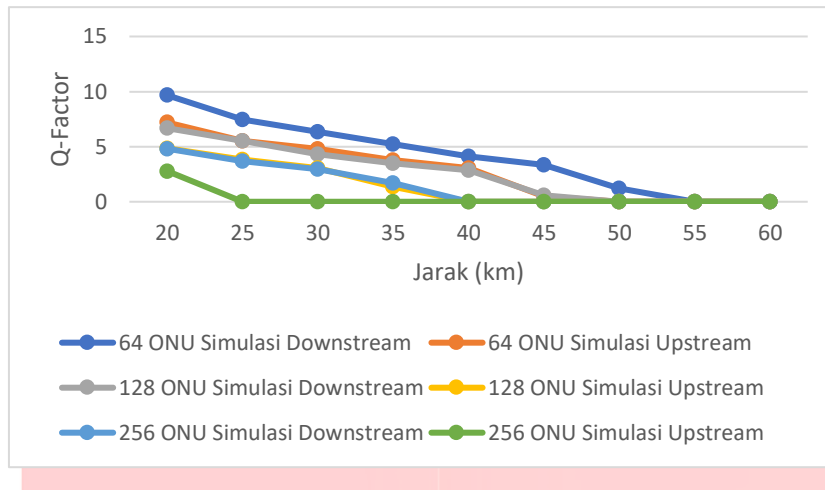
3.1.2. Analisis Signal to Noise Ratio.



Gambar 2 Perbandingan Hasil SNR antar ONU

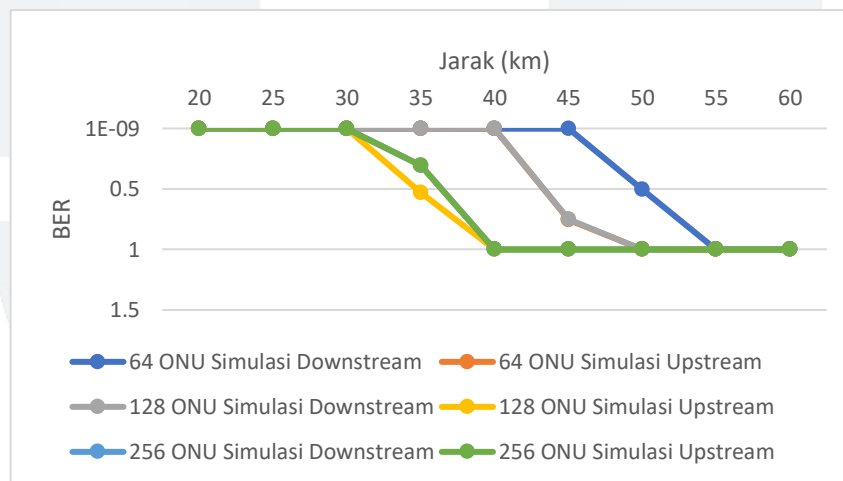
Perbandingan hasil SNR tiap ONU dapat dilihat pada Gambar 4 dengan hasil perbedaan yang cukup signifikan antar tiap ONU pada arah *downstream* maupun *upstream*. Pada jumlah ONU 64 arah *downstream* jarak maksimum yang sesuai kriteria ialah pada jarak 35 km dengan SNR sebesar = 14,26 dB, sedangkan untuk arah *upstream* jarak maksimum yang sesuai kriteria ialah pada jarak 30 km dengan SNR sebesar = 14,11 dB. Kemudian untuk jumlah ONU 128 arah *downstream* jarak maksimum yang sesuai kriteria ialah pada jarak 30 km dengan SNR sebesar = 16,14 dB, sedangkan untuk arah *upstream* jarak maksimum yang sesuai kriteria ialah pada jarak 25 km dengan SNR sebesar = 11,09 dB. Dan untuk jumlah ONU 256 arah *downstream* ialah pada jarak 20 km dengan SNR = 12,89 dB sedangkan untuk arah *upstream* pada jarak minimum penelitian ini angka hasil SNR tidak memenuhi kriteria. Kemudian dilihat dari pola grafik yang cenderung menurun sama seperti pola grafik pada LPB yang tentunya dapat di simpulkan bahwa SNR berkaitan dengan hasil daya terima pada simulasi, semakin besar nilai daya terima nya maka semakin besar pula nilai SNR yang ada dan berlaku sebaliknya jika nilai daya terima semakin kecil maka nilai SNR akan semakin kecil.

3.1.3. Analisis Q-Factor dan BER



Gambar 5 Perbandingan Hasil Q-Factor antar ONU

Gambar 5 menunjukkan nilai *Q-Factor* yang baik didapatkan oleh jumlah ONU 64 pada arah *downstream* dibandingkan dengan nilai *Q-Factor* pada jumlah ONU 128 ataupun 256 pada arah *downstream* maupun *upstream* nya. Kemudian jarak maksimum yang didapatkan pada jumlah ONU 64 dengan arah *downstream* ialah pada jarak 30 km dengan *Q-Factor*=6,3 dan pada arah *upstream* ialah pada jarak 20 km dengan nilai *Q-Factor*=7,19. Pada jumlah ONU 128 arah *downstream* didapatkan jarak maksimum yang memiliki *Q-Factor* sesuai dengan standar ialah pada jarak 20 km dengan nilai *Q-Factor* =6,68, sedangkan untuk arah *upstream* tidak memiliki nilai *Q-Factor* yang memenuhi standar pada jarak minimum penelitian ini. Dan begitu juga terjadi pada jumlah ONU 256 pada arah *downstream* maupun *upstream* nilai *Q-Factor* tidak memenuhi standar pada jarak minimum penelitian ini. Kemudian nilai *Q-Factor* yang didapatkan akan menentukan BER pada setiap jaraknya. Hubungan antara nilai *Q-Factor* dan nilai BER ini ialah berbanding terbalik, yaitu pada saat nilai *Q-Factor* semakin tinggi maka nilai BER yang didapatkan akan semakin kecil.

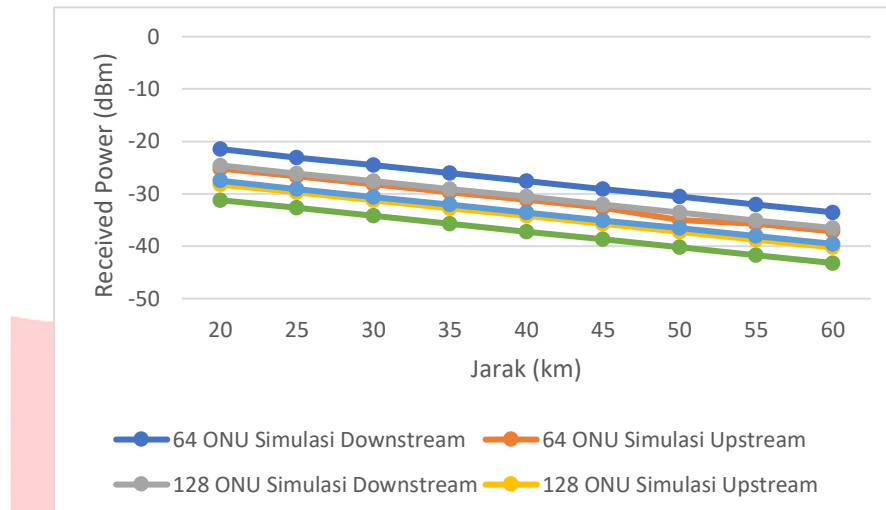


Gambar 6 Perbandingan nilai BER antar ONU

Perbandingan nilai BER ketiga ONU yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 6. Kemudian jarak yang dapat ditempuh dengan nilai BER yang sesuai standar untuk jumlah ONU 64 arah *downstream* ialah pada jarak 30 km dengan nilai BER=1,79 x 10⁻⁹, sedangkan untuk arah *upstream* ialah pada jarak 20 km dengan nilai BER=6,25 x 10⁻¹⁰. Dan pada jumlah ONU 128 didapatkan jarak 20 km dengan nilai BER= 2,43 x 10⁻¹¹, sedangkan untuk arah *upstream* tidak dapat menempuh jarak minimum penelitian ini dengan BER yang sesuai dengan standar. Dan terjadi juga pada jumlah ONU 256 baik arah *downstream* maupun *upstream* dikarenakan kemungkinan ONU 256 hanya dapat menempuh jarak dibawah jarak minimum pada penelitian ini.

3.2. Analisis Skenario Kedua

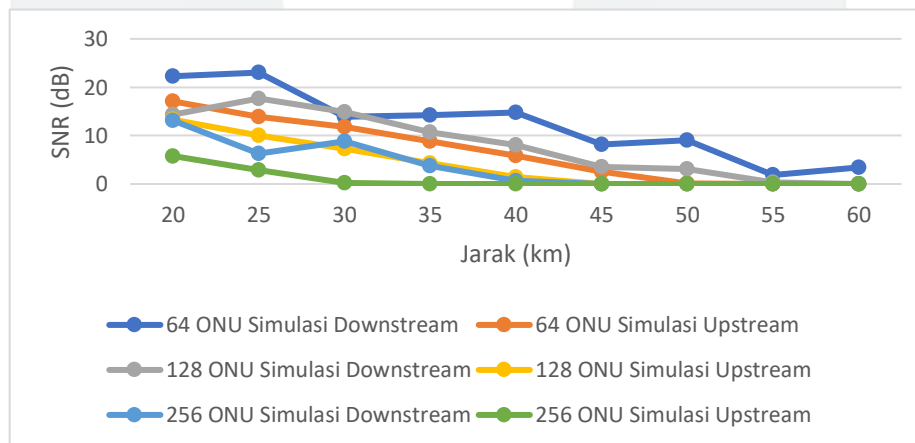
3.2.1. Analisis Link Power Budget



Gambar 7 Perbandingan LPB antar ONU(2)

Gambar 7 memperlihatkan perbandingan LPB dari tiap ONU yang ada pada kedua arah *downstream* maupun *upstream*, dan didapatkan jarak maksimum yang dapat di tempuh oleh tiap-tiap ONU dengan *power received* yang sesuai dengan standar. Untuk 64 ONU arah *downstream* jarak yang dapat di tempuh ialah 40 km dengan LPB = -27,54 dBm dan arah *upstream* jarak yang dapat di tempuh ialah 25 km dengan LPB= -26,63 dBm. Kemudian untuk 128 ONU arah *downstream* jarak maksimum yang dapat di tempuh ialah 30 km dengan LPB= -27,61 dBm, sedangkan untuk jumlah ONU 128 arah *upstream* dan 256 ONU arah *upstream* dan *downstream* nilai LPB tidak memenuhi standar pada jarak terkecil penelitian ini sehingga diperlukan adanya penguat ataupun meningkatkan daya kirim agar hasil LPB dapat memenuhi standar dan mampu mencapai jarak maksimum.

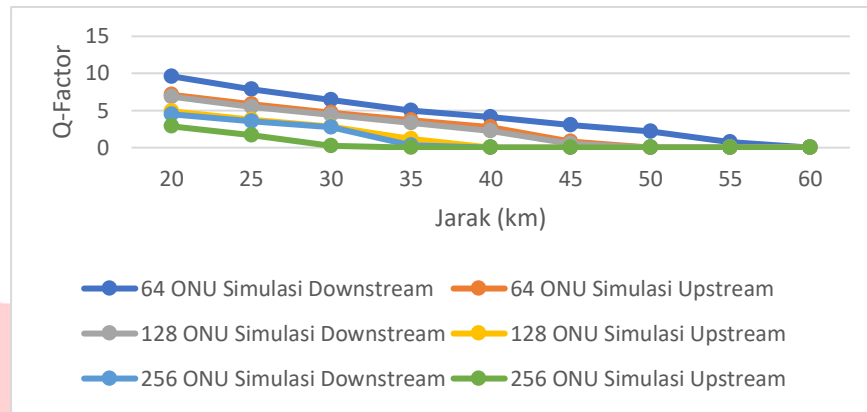
3.2.2. Analisis Signal to Noise Ratio



Gambar 8 Perbandingan SNR antar ONU(2)

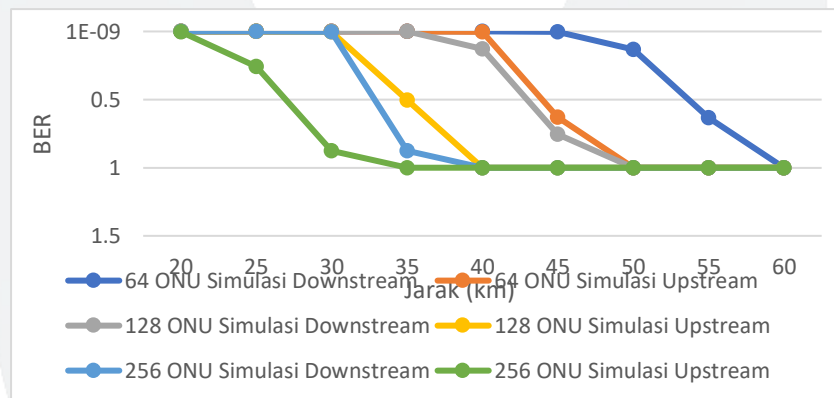
Perbandingan hasil SNR tiap ONU dapat dilihat pada Gambar 8 dengan hasil perbedaan yang cukup signifikan antar tiap ONU pada arah *downstream* maupun *upstream*. Pada jumlah ONU 64 arah *downstream* jarak maksimum yang sesuai kriteria ialah pada jarak 40 km dengan SNR sebesar = 14,8 dB, sedangkan untuk arah *upstream* jarak maksimum yang sesuai kriteria ialah pada jarak 35 km dengan SNR sebesar = 11,8 dB. Kemudian untuk jumlah ONU 128 arah *downstream* jarak maksimum yang sesuai kriteria ialah pada jarak 35 km dengan SNR sebesar = 10,72 dB, sedangkan untuk arah *upstream* jarak maksimum yang sesuai kriteria ialah pada jarak 20 km dengan SNR sebesar = 13,29 dB. Dan untuk jumlah ONU 256 arah *downstream* ialah pada jarak 20 km dengan SNR = 13,12 dB sedangkan untuk arah *upstream* pada jarak minimum penelitian ini angka hasil SNR tidak memenuhi kriteria. Kemudian dilihat dari pola grafik yang cenderung menurun sama seperti pola grafik pada LPB yang tentunya dapat di simpulkan bahwa SNR berkaitan dengan hasil daya terima pada simulasi, semakin besar nilai daya terimanya maka semakin besar pula nilai SNR yang ada dan berlaku sebaliknya jika nilai daya terima semakin kecil maka nilai SNR akan semakin kecil

3.2.3. Analisis Q-Factor dan BER



Gambar 9 Perbandingan Hasil Q-Factor antar ONU(2)

Gambar 9 menunjukkan nilai Q-Factor yang baik didapatkan oleh jumlah ONU 64 pada arah downstream dibandingkan dengan nilai Q-Factor pada jumlah ONU 128 ataupun 256 pada arah downstream maupun upstream nya. Kemudian jarak maksimum yang didapatkan pada jumlah ONU 64 dengan arah downstream ialah pada jarak 30 km dengan Q-Factor=6,42 dan pada arah upstream ialah pada jarak 20 km dengan nilai Q-Factor=7,12. Pada jumlah ONU 128 arah downstream didapatkan jarak maksimum yang memiliki Q-Factor sesuai dengan standar ialah pada jarak 20 km dengan nilai Q-Factor =6,87, sedangkan untuk arah upstream tidak memiliki nilai Q-Factor yang memenuhi standar pada jarak minimum penelitian ini. Dan begitu juga terjadi pada jumlah ONU 256 pada arah downstream maupun upstream nilai Q-Factor tidak memenuhi standar pada jarak minimum penelitian ini. Kemudian nilai Q-Factor yang didapatkan akan menentukan BER pada setiap jaraknya. Hubungan antara nilai Q-Factor dan nilai BER ini ialah berbanding terbalik, yaitu pada saat nilai Q-Factor semakin tinggi maka nilai BER yang didapatkan akan semakin kecil.



Gambar 10 Hasil Perbandingan BER antar ONU(2)

Perbandingan nilai BER ketiga ONU yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 10 kemudian jarak yang dapat ditempuh dengan nilai BER yang sesuai standar untuk jumlah ONU 64 arah downstream ialah pada jarak 25 km dengan nilai BER=1,17 x 10⁻¹³, sedangkan untuk arah upstream ialah pada jarak 20 km dengan nilai BER=4,95 x 10⁻¹⁰. Dan pada jumlah ONU 128 didapatkan jarak 20 km dengan nilai BER= 5,39 x 10⁻¹¹, sedangkan untuk arah upstream tidak dapat menempuh jarak minimum penelitian ini dengan BER yang sesuai dengan standar. Dan terjadi juga pada jumlah ONU 256 baik arah downstream maupun upstream dikarenakan kemungkinan ONU 256 hanya dapat menempuh jarak dibawah jarak minimum pada penelitian ini.

Tabel 2 Tabel Hasil Perbandingan

	40 G		80 G	
	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream
Received Power (dB)	-21.56	-25.19	-21.445	-25.18
SNR (dB)	25.36	19.97	22.33	17.07
Q-Factor	9.66	7.19	9.6225	7.12
BER	3.72E-21	6.25E-10	2.19E-20	4.95E-11

Melihat pada Tabel 4.1, berdasarkan parameter analisis yang digunakan ternyata hasil baik dengan standar-standar yang telah di tentukan meliputi Received Power kurang dari -28 dBm kemudian SNR dengan nilai diatas 10,79, Q-Factor lebih dari 6 dan BER kurang dari 10^{-9} , kedua agregasi mampu menunjukkan performansi yang masih baik namun menunjukkan hasil yang tidak berbeda secara signifikan, namun performansi 80 G dikatakan lebih baik dibanding performansi 40G dikarenakan memiliki 80G *data rate* yang lebih tinggi tiap detiknya dibandingkan dengan 40G. Kemudian pada pengaplikasiannya sendiri 40G dan 80G memiliki pasar masing masing sehingga penggunaannya tergantung pada daerah ataupun kondisi jumlah *user* di suatu tempat tersebut. Jumlah *user* yang banyak memungkinkan untuk penggunaan agregasi 80G karena *data rate* yang lebih tinggi mampu mengatasi jumlah *user*, berlaku juga sebaliknya ketika jumlah *user* yang sedikit dapat digunakan adegasi 40G agar berlaku efektif. Namun, penggunaan 80G dapat di terapkan juga pada jumlah *user* yang sedikit dengan catatan daerah atau tempat tersebut menurut perhitungan akan mengalami peningkatan *user* ditahun mendatang, sehingga penggunaan 80G akan lebih efektif ditahun tahun mendatang.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa penelitian Tugas Akhir ini didapatkan kesimpulan yaitu :

1. Sistem NG-PON2 dengan menggunakan empat kanal dan jumlah ONU 64 arah *downstream* mendapatkan performansi yang baik hingga mencapai jarak 20 km dengan *Received Power* = -21,56 dBm, SNR = 25,36 dB, *Q-Factor* = 9,66 dan BER = $3,72 \times 10^{-21}$ dan arah *upstream* dengan *Received Power* = -25,21 dBm, SNR = 19,79 dB, *Q-Factor* = 7,19 dan BER = $6,25 \times 10^{-10}$.
2. Sistem NG-PON2 dengan menggunakan empat kanal dan jumlah ONU 128 dan 256 baik pada arah *downstream* maupun *upstream* tidak mendapatkan performansi yang baik hingga jarak minimum penelitian ini, kemungkinan besar dengan jumlah ONU 128 dan 256 hanya mampu mendapatkan performansi terbaiknya pada jarak kurang dari 20 km.
3. Sistem NG-PON2 dengan menggunakan delapan kanal dan jumlah ONU 64 arah *downstream* mendapatkan performansi yang baik hingga mencapai jarak 20 km dengan *Received Power* = -21,44 dBm, SNR = 22,33 dB, *Q-Factor* = 9,62 dan BER = $2,19 \times 10^{-20}$ dan arah *upstream* dengan nilai *Received Power* = -25,18 dBm, SNR = 17,07 dB, *Q-Factor* = 7,12 dan BER = $4,95 \times 10^{-11}$.
4. Sistem NG-PON2 dengan menggunakan delapan kanal dan jumlah ONU 128 dan 256 baik pada arah *downstream* maupun *upstream* tidak mendapatkan performansi yang baik hingga jarak minimum penelitian ini, kemungkinan besar dengan jumlah ONU 128 dan 256 hanya mampu mendapatkan performansi terbaiknya pada jarak kurang dari 20 km.
5. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa perbandingan antara menggunakan empat kanal ataupun delapan kanal tidak memiliki perbandingan yang signifikan, namun pemakaian keduanya dapat digunakan dan mempunyai performansi yang baik mencapai jarak 20 km untuk jumlah ONU 64.

Kemudian saran penelitian Tugas Akhir ini ialah sebagai berikut :

1. Evaluasi performansi sistem NG-PON2 dengan jumlah kanal transmisi lebih dari delapan kanal
2. Evaluasi performansi sistem NG-PON2 dengan kombinasi *passive splitter* 3 stage lainnya.
3. Evaluasi performansi sistem NG-PON2 dengan menggunakan penguat optik agar mencapai jarak maksimum yang dapat di tempuh oleh NG-PON2.
4. Evaluasi performansi sistem NG-PON2 terhadap efek non-linear

Daftar Referensi

1. A.S. Putri, Simulasi dan Analisis Pengaruh Agregasi OLT pada Performansi Jaringan NGPON2, Bandung, 2017.
2. T. Abdurrahman, Konsumsi Daya Pada *Splitter* Untuk Jaringan Optical Next Generation, Bandung, 2017
3. M. A. Gregory, "The Next Generation of Passive Optical Networks: A Review," Journal of Network and Computer Applications, 2016
4. Ali Express, (<https://id.aliexpress.com/item/SC-UPC-1x4-PLC-optical-splitter-single-mode-with-SC-UPC-connector-for-FTTH-SC-PC/32808265018.html>) diakses pada 25 Juni 2018
5. NITS Academy, Modul 1; Konfigurasi FTTH (Fiber To The Home), Bandung: Telkom Corporate University.
6. W. Herlin Ali, "Simulasi dan Analisis Jaringan Time and Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network Menuju Next Generation Network," Bandung, 2017.
7. G. Keiser, Optical Fiber Communication (Second Edition), McGraw-Hill, 1991
8. N.S. Pamungkas, "*Analisis Performansi Teknologi XG-PON Menggunakan Splitter*," Bandung, 2017
9. S. Prianggono, Analisis Performansi *Optical Distribution Network* (ODN) NG-PON2 Menggunakan Teknologi *Time-And-Wavelength Division Multiplexing* (TWDM), Bandung 2017.