

PERANCANGAN DAN ANALISIS JARINGAN BACKHAUL SERAT OPTIK UNTUK KOMUNIKASI LTE PENUMPANG KERETA CEPAT 140 KM/JAM JAKARTA-SURABAYA SUB CIREBON – PEKALONGAN

(*DESIGNING AND ANALYSING OF OPTICAL FIBER BACKHAUL NETWORKS FOR 140 KM / HOURS OF HIGH SPEED TRAIN PASSENGER LTE COMMUNICATION JAKARTA-SURABAYA SUB CIREBON – PEKALONGAN*)

Muhammd Nabil Ghani¹, Erna Sri Sugesti², Nachwan Mufti Ardiansyah³

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

¹dwipahary@student.telkomuniversity.ac.id, ²ernasugesti@telkomuniversity.ac.id,

³nachwanma@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Badan Pusat Statistik (BPS) memperkirakan penggunaan kereta untuk perjalanan jauh menjadi pilihan utama bagi masyarakat karena biaya yang relatif murah, nyaman dan sesuai waktu. Oleh sebab itu, Indonesia akan membangun sarana transportasi kereta cepat pada rute Jakarta – Surabaya dengan kecepatan 140 km/jam pada frekuensi 900 MHz. Pada teknologi *backbone* optik dapat digunakan pada SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) STM-64 DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*), teknologi jaringan akses menggunakan XG-PON1, dan teknologi *core network* LTE menggunakan EPC. Rancangan ini terpenuhi dengan parameter *delay* pada link terjauh sisi *downstream* yaitu 0,301542723 ms, sedangkan pada sisi *upstream* 0,391485044 ms. Parameter terendah LPB bernilai -25,856 dBm, *Q-factor* 5,86391646, BER $1,05 \times 10^{-9}$ dan RTB 0,046097811 ns untuk link akses *downstream*. Sedangkan parameter terendah untuk link akses *upstream* LPB -27,32 dBm, *Q-factor* 5,919171048, BER $1,66 \times 10^{-9}$, dan RTB 0,046097867 ns. Pada link *backbone* nilai parameter terendah untuk LPB -24,812 dBm, *Q-factor* 7,499397163, BER $1,33 \times 10^{-14}$ dan RTB 0,046098076 ns.

Kata Kunci: *Backhaul*, XG-PON, LTE (*Long Term Evolution*), STM-64, *Backbone*

Abstract

The Central Statistics Agency (BPS) estimates that the use of trains for long trips is the main choice for the community because the costs are relatively cheap, convenient and timely. Therefore, Indonesia will build a fast train transportation facility on the Jakarta – Surabaya route with a speed of 140 km/hour at a frequency of 900 MHz. The optical backbone technology can be used in SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) STM-64 DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*), access network technology using XG-PON1, and LTE core network technology using EPC. The delay parameter on the farthest downstream link, which is 0.301542723 ms, while on the upstream side it is 0.391485044 ms. The lowest parameter of LPB is -25.856 dBm, *Q-factor* 5.86391646, BER 1.05×10^{-9} and RTB 0.046097811 ns for downstream access link. While the lowest parameters for the upstream access link LPB -27.32 dBm, *Q-factor* 5.919171048, BER 1.66×10^{-9} , and RTB 0.046097867 ns. On the backbone link the lowest parameter value for LPB is -24,812 dBm, *Q-factor* 7.499397163, BER 1.33×10^{-14} and RTB 0.046098076 ns.

Keywords: *Backhaul*, XG-PON, LTE (*Long Term Evolution*), STM-64, *Backbone*

1. Pendahuluan

Kereta api merupakan transportasi darat yang sangat dibutuhkan masyarakat khususnya di Indonesia. Beberapa kereta dibagi menjadi beberapa macam baik antar kota maupun antar provinsi. Kereta api jarak jauh merupakan kereta yang sangat dibutuhkan masyarakat umum untuk pulang ke daerahnya antar provinsi pada umumnya untuk pulau Jawa[1]. Proyek kereta cepat menjadi tantangan bagi perusahaan operator jaringan seluler untuk memberikan pelayanan jaringan telekomunikasi sebagai pendukung bagi penumpang kereta cepat. Kereta cepat yang dipakai memiliki kecepatan 160 km/jam, dan mendukung teknologi 4G LTE. Kemampuan aplikasi seperti internet *mobile broadband*, *video call*, *voice over IP* (VOIP), *streaming*, dan *real time gaming*. Perancangan jaringan telekomunikasi untuk memfasilitasi penumpang agar kenyamanan menggunakan layanan *mobile* di perjalanan seperti *handphone* dan tablet. Negara maju seperti Cina, Korea dan Jepang sudah mendukung layanan internet untuk berkomunikasi pada kereta cepatnya 500 km/jam, umumnya negara tersebut telah menggunakan teknologi *long term evolution – railway* (LTE-R) [2].

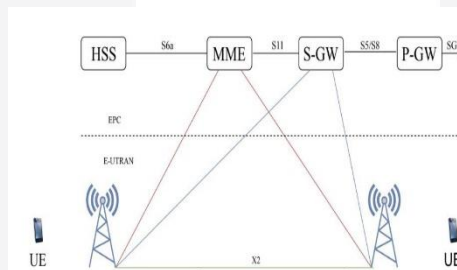
Dengan ini dilakukan penelitian dengan judul “Perancangan dan analisis jaringan backhaul serat optik untuk komunikasi lte kereta cepat 140 km/jam Jakarta-Surabaya Sub Cirebon-Pekalongan. Penelitian meneliti yang dilakukan adalah merancang jaringan Evolved – Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) 4G LTE untuk penumpang kereta cepat Jakarta – Surabaya jalur Cirebon - Pekalongan. Dengan Perancangan yang dilakukan membutuhkan 37 site dengan masing-masing dua sel dari setiap site dengan overlapping coverage sebesar 4 km pada jari – jari Remote Radio Unit (RRU) dan delay trafik sebesar 38,6287 ms mampu untuk dapat melayani penumpang kereta cepat[6].

Pada Tugas Akhir ini melakukan perancangan jaringan backhaul terdiri dari beberapa struktur jaringan backbone, akses, serta core network. Pada jaringan backbone fiber optik menggunakan berupa teknologi DWDM, jaringan akses optik menggunakan teknologi XG-PON, dan EPC untuk core network pada jaringan LTE untuk penumpang kereta cepat Jakarta-Surabaya sub Cirebon-Pekalongan dengan kecepatan 140 km/jam.

2. Dasar Teori

2.1 Arsitektur dan Konfigurasi Jaringan LTE

Arsitektur jaringan LTE terbagi menjadi dua bagian yaitu, radio-access network (RAN) dan core network yang dapat dilihat pada Gambar 1. Pada core network untuk LTE dapat dikenal pada istilah Evolved Packet Core (EPC) dan juga pada LTE Core network pada LTE juga dikenal dengan istilah Evolved Packet Core (EPC) dan LTE. RAN dapat dikenal juga dengan istilah Evolved Terrestrial Radio Access Network. EPC merupakan evolusi dari GSM/GPRS core network. EPC melayani domain pada packet-switch saja dan tidak dapat melayani circuit-switch. EPC terdiri dari beberapa komponen yaitu mobility management entity (MME) yang berfungsi menangani bearer dengan bearer adalah suatu saluran yang menghubungkan user equipment (UE) dengan jaringan paket data, transisi idle atau aktif, dan kunci keamanan. Pada S-GW dapat berfungsi untuk user-plane node yang dapat menghubungkan EPC dengan LTE RAN. Pada P-GW berfungsi untuk menghubungkan EPC pada internet.. Policy and charging rules function (PCRF) bertugas menangani quality of service (QoS) dan pembiayaan. Selanjutnya pada HSS (Home Subscriber Service) berfungsi untuk menyimpan informasi pelanggan sedangkan pada arsitektur LTE RAN terdiri hanya dari satu node yaitu eNodeB yang dapat menangani pada fungsi radio dari satu atau beberapa cell[7].



Gambar 1 Arsitektur LTE [7]

2.2 Jaringan LTE Backhaul Plane

Pengertian secara umum backhaul merupakan suatu jalur yang digunakan untuk transmisi data dari sumber ke tujuan. Pada transmisi data, sumber akan melakukan penyerahan data pada backhaul lalu kemudian backhaul akan melakukan transmisi dan menyerahkan informasi tersebut pada titik tujuan. Backhaul adalah elemen jaringan yang terletak diantara eNodeB dan elemen core network yang termasuk kedalam jaringan backbone yang menghubungkan antara sentral dan jaringan akses dengan menghubungkan sentral eNodeB. Interface yang dikirim dari eNodeB ke EPC diantaranya S1-U, X2-U, dan X2-C yang dikirim dari eNodeB ke S-GW dan P-GW, dan trafik kontrol S1 control plane (C-plane) antara eNodeB dan MME[3].

2.3 Latency dan Loss LTE Backhaul

Untuk persyaratan delay ke backhaul bergantung pada end-to-end dari aplikasi pengguna (user) dan delay budget yang terdapat pada backhaul. Berikut Tabel 1[3] pada persyaratan end-to-end pada jaringan backhaul dengan pacuan pada 3GPP TS23.203.

Tabel 1 Persyaratan delay backhaul dan loss[3]

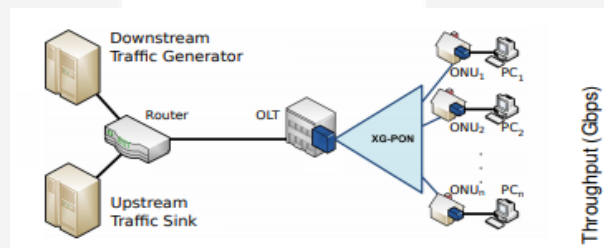
Plane	One Way Packet Delay		One Way Packet Delay Variation		Packet Loss Ratio	
	e2e Requirement	Backhaul Recommendation	e2e Requirement	Backhaul Recommendation	e2e Requirement	Backhaul Recommendation
U-Plane real time	50 ms	20 ms	± 10 ms	± 10 ms	10-Mar	10-Apr
U-Plane nonreal time	300 ms	20 ms	none	none	10-Jun	10-Jul
C-Plane	100 ms	20 ms	none	none	10-Jun	10-Jul
M-Plane C(of eNodeB)	-	100 ms	none	none	10-Mar	10-Jun

2.3 Konsep Teknologi pada Jaringan Backhaul

Jaringan backhaul adalah sistem transmisi gelombang mikro menggunakan frekuensi dan diversitas tanpa diversitas. Dan ada beberapa teknologi yang digunakan pada backhaul seperti teknologi wireless backhaul yang digunakan point-to-point Microwaves Radio [3], sedangkan pada teknologi wireline yang digunakan seperti native ethernet, digital subscriber line (DSL), dan fiber optik.

2.4 Konsep Teknologi pada XG-PON

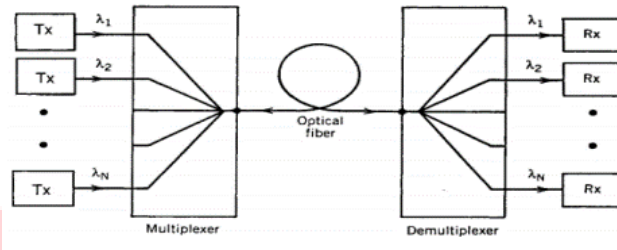
Pada teknologi XG-PON dengan standar yang dikeluarkan dari ITU-G.987. XG-PON terbagi menjadi dua yaitu XG-PON1 dan XG-PON2. XG-PON1 mampu mengirim data hingga 10 Gbps di sisi downstream dan upstream pada 2,5 Gbps pada sisi upstream dan bisa disebut NG-PON1, sedangkan XG-PON2 mampu mengirim data hingga 10Gbps pada sisi downstream dan upstream[4]. XG-PON digunakan pada arsitektur jaringan seperti fiber to the cell site (FTTCell). XG-PON dapat memberi layanan pada point-to-point, point-to-multipoint, dan ethernet sehingga cocok untuk digunakan pada teknologi backhaul. XG-PON dapat digunakan untuk beberapa arsitektur seperti fiber to the cell site (FTTCell) dan juga dapat digunakan pada jaringan backhaul seluler seperti 3G dan 4G yang dapat dilihat pada Gambar 2[4].



Gambar 2 Skema pada transmisi XG-PON[4]

2.5 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

Pada perkembangan teknologi DWDM pada jaringan optik yang di dorong pada kebutuhan akan kapasitas pada transmisi yang sangat besar telah mengakibatkan perubahan yang cepat dalam penyediaan kapasitas bandwidth yang besar dalam jaringan. Sistem transport dalam domain panjang gelombang ini memberikan fleksibilitas yang tinggi bagi penyelenggara jaringan dalam memenuhi kebutuhan yang masa kini maupun masa yang akan datang. Pada teknologi DWDM pada jaringan optik saat ini diyakini akan akan menjadi dari teknologi yang berperan dimasa depan. DWDM juga merupakan perkembangan dari teknologi sebelumnya yaitu Wavelength Division Multiplexing (WDM). Pada spesifikasi teknologi DWDM yang digunakan standar pada rekomendasi ITU-T G.693 adalah 50 GHz, 100 GHz dan 200 GHz atau lebih dan bekerja pada panjang gelombang 1530 nm – 1625 nm[5]. Pada Gambar 3 [5] merupakan rangkaian proses skema dari cara kerja WDM dimana transmitter sebagai sumber cahaya disanding dengan laser sebagai sumber cahaya yang memancarkan panjang gelombang yang akan dilewatkan ke multiplexer menuju ke fiber optik.



Gambar 3 Skema WDM[5]

2.6 Analisis Parameter Jaringan Backhaul

- **Link Power Budget**

Link Power budget atau *Power budget* didefinisikan sebagai total redaman yang dapat diterima dari suatu lintasan fiber optik mulai dari sumber hingga penerima. *Power budget* didapatkan dari redaman kabel, redaman *connector*, redaman penyambungan, dan *margin system*. Tujuan *power budget* adalah untuk memastikan daya link tidak kurang dari yang dibutuhkan [19]. Untuk menentukan nilai link budget power di perlukan perhitungan nilai persamaannya dengan persamaan (1) dan (2) [8].

$$A_{tot} = L_{af} + N_s \cdot a_s + N_c \cdot a_c + S_p + S_M \quad (1)$$

$$P_{Prx} = P_{Tx} - A_{tot} \quad (2)$$

- **Signal to Noise Rasio (SNR)**

Signal to Noise Rasio (SNR) merupakan ukuran yang digunakan dalam ilmu dan rekayasa untuk mengukur seberapa banyak sinyal telah rusak oleh kebisingan, hal ini didefinisikan sebagai rasio dari daya sinyal terhadap daya noise merusak sinyal. Merupakan perbandingan tingkat daya sinyal dengan daya noise pada sistem yang dapat diekspresikan menggunakan persamaan (3) [8].

$$SNR = \frac{\frac{m^2}{2} \cdot I_p^2 \cdot M^2}{2 \cdot q \cdot (I_p + I_D) \cdot F(M) \cdot B_e + \frac{4 \cdot k_B \cdot T \cdot B_e}{R_l}} \quad (3)$$

- **Bit Error Rate (BER)**

Bit Error Rate (BER) merupakan sejumlah bit digital dengan bernilai tinggi pada suatu jaringan transmisi yang dapat ditafsirkan sebagai keadaan rendah atau sebaliknya, kemudian dibagi dengan sejumlah bit yang diterima atau dikirim selama periode yang diterapkan. Bit Error Rate juga merupakan perbandingan antara bit eror yang dikirim dengan bit yang lainnya dengan dikirim secara keseluruhan. Bit Error Rate berfungsi untuk menentukan nilai dari seberapa banyak kesalahan pembacaan yang diterima setiap detik BER yang dapat diekspresikan dengan persamaan (4) [8].

$$BER = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (4)$$

- **Rise-Time Budget**

Rise-Time Budget merupakan suatu metode yang mudah untuk mengurangi limitasi/batasan dispersi dari suatu hubungan serat optik. Dalam pendekatan ini, total rise time dari suatu link adalah akar kuadrat dari suatu rise time tiap-tiap kontributor terhadap degradasi pulsa rise time. Degradasi total waktu transisi link digital untuk NRZ adalah tidak lebih dari 70%, dan untuk RZ tidak lebih dari 35% dalam periode bit. *Rise-Time Budget* dapat diekspresikan dengan persamaan (5) dan (6) [8].

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \quad (5)$$

$$t_f = D \times \sigma_\lambda \times L \quad (6)$$

- **Q-factor**

Q-factor merupakan faktor suatu kualitas yang menggambarkan kinerja sistem transmisi meskipun dimana nilai BER rendah Q-factor tetap dapat terukur dan dapat diwakili oleh fungsi SNR dan persamaan perhitungan (7) [8].

$$Q = \frac{10^{\frac{SNR}{20}}}{2} \quad (7)$$

- **Latency pada fiber optik**

Latency adalah waktu yang dibutuhkan data dari asal sampai tujuan dengan diukur dalam satuan mili detik dengan istilah adalah delay atau penundaan. Pada delay ini komunikasi kabel optik jarak jauh menggunakan penguat Erbiun Doped Fiber Amplifier (EDFA). EDFA menguatkan sinyal pada panjang gelombang 1530-1565 nm atau C-band dan 1565-1605 nm atau L-band. EDFA memiliki panjang sekitar 31m untuk menambah delay sebesar 147 ns [9]. Delay pada kabel fiber optik umumnya dipengaruhi pada parameter effective group indeks of refracton. Pada kabel optik yang digunakan umumnya untuk transmisi jaringan fiber optik berupa single mode fiber (SMF). Pada rekomendasi ITU-T G.652 Dengan mengetahui n_{eff} untuk panjang gelombang 1310 adalah 1,4676 dan panjang gelombang 1550nm adalah 1,4682 [9]. Dengan mengetahui n_{eff} dapat menghitung kecepatan cahaya pada kabel fiber optik pada persamaan (8) dan dapat menghitung delay sepanjang Link optik dengan menggunakan persamaan (9). *Forward Error Corection* digunakan untuk meminimalisir penggunaan proses elektris pada kedua ujung koneksi fiber optik. Pengguna FEC memberikan delay 15-1500 bergantung pada algoritma yang digunakan, jumlah bit overhead, coding gain, dan waktu prosesnya [9]. *Network Interface* berfungsi untuk memberikan perbandingan antara waktu yang dibutuhkan untuk mengirim sebuah paket dengan ukuran data rate.

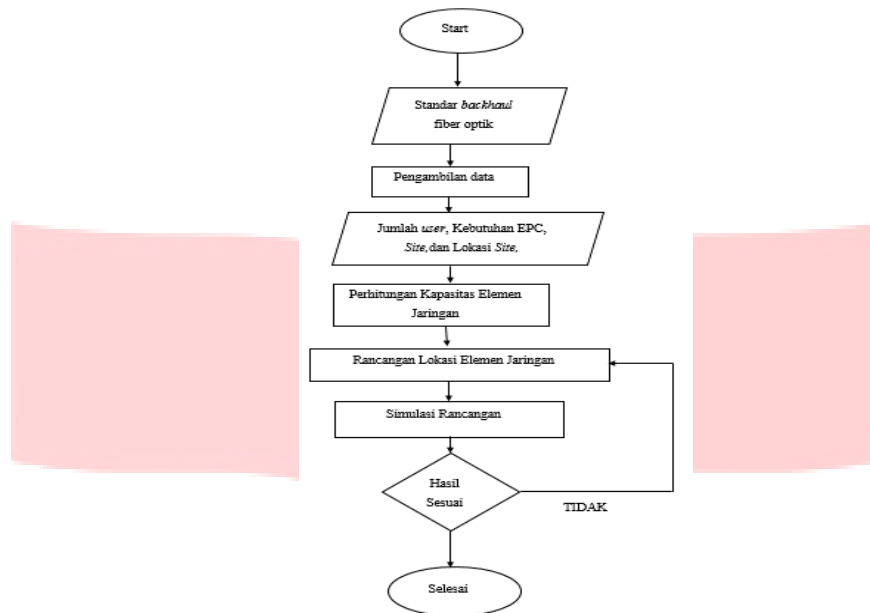
$$V_{\lambda} = \frac{c}{n_{eff}} \quad (8)$$

$$\Delta_{\lambda} = \frac{L}{V_{\lambda}} \quad (9)$$

3. Perancangan Jaringan Backhaul

3.1 Deskripsi Rancangan

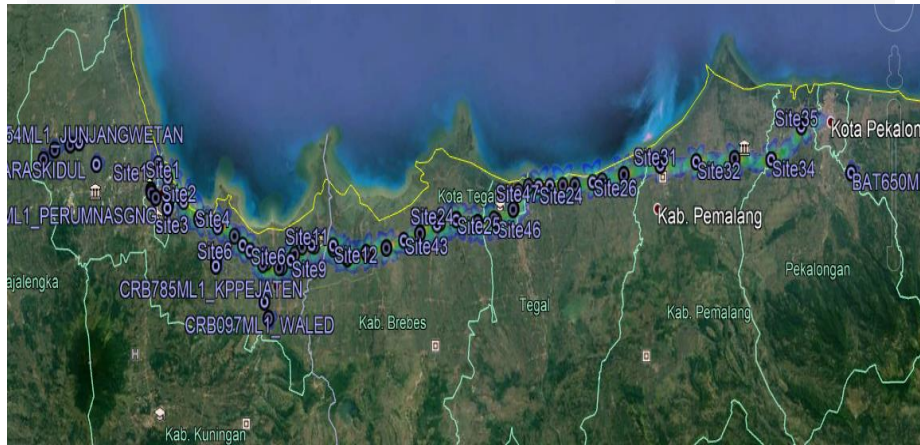
Pada perancangan jaringan backhaul untuk kereta cepat dengan jalur backhaul untuk penumpang kereta cepat dimulai tahap awal dengan mengamati standar backhaul pada kabel fiber optik. Pada perancangan ini backhaul akan dirancang dengan panjang 150 km dengan memanfaatkan backbone dari perusahaan telekomunikasi dengan menggunakan teknologi DWDM dan teknologi XG-PON. Untuk kapasitas EPC yang perlu dihitung berguna untuk menentukan jumlah dari EPC yang diperlukan dalam perancangan jaringan backhaul tersebut. Adapun skema dari model sistem yang dirancang dalam Tugas Akhir ini tertera pada Gambar 4.



Gambar 4

3.2 Perancangan Simulasi Jaringan

Pada perancangan menggunakan *software* Google Earth. Pada ini EPC diletakkan di kantor opretor telekomunikasi nasional Cirebon. *Site* yang telah dirancang akan disambungkan ke EPC menggunakan jaringan *backhaul* fiber optik yang terhubung dengan *backbone*. Pada hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5

Tabel 2 Jarak link *backbone*

No.	Backbone Link	Jarak (km)
1	Cirebon - Brebes	58,64
2	Brebes - Tegal	21,57
3	Tegal - Pemalang	38,90
4	Pemalang - Pekalongan	30,89

Tabel 6 Jarak link akses

No.	Asal STO	Site tujuan	Total jarak (km)
1	STO CRB	Site 1	2,45
		Site 2	6,62
		CRB633ML1 MUNDUMASIGIT	10,33
		Site 4	13,48
		Site 5	16,64
		Site 6	18,76
		Site 7	27,73
		Site 8	26,49
		Site 9	27,61
		Site 10	27,85
		Site 11	28,82
		Site 12	27,74
2	STO BRS	Site 13	24,29
		Site 14	18,49
		Site 17/23	14,49
		Site 43	11,15
		Site 18/44	8,14
		Site 24	4,72
		Site 22	1,26
3	STO TGL	Site 26/42	8,5
		Site 23/46	5,42
		Site 43/45	1,89
		Site 47	0,85
		Site 27	2,24
		Site 24	3,87
		Site 47	5,86
		Site 25	8,29
		Site 28	10,53
		Site 26	13,84
4	STO PML	Site 29	15,67
		Site 30	7,6
		Site 31	1,05
5	STO PKL	Site 32	6,02
		Site 33	17,46
		Site 34	11,07
		site 35	4,17

3.3 Hasil Perhitungan Parameter

Pada jaringan link akses *downstream* dengan menggunakan XG-PON1 mendapatkan nilai terendah pada *Link Power Budget* (LPB), *Q-factor*, dan *Bit Error Rate* (BER) dengan nilai LPB -25,856 dBm, *Q-factor* 5,8639164617185, BER $2,3 \times 10^{-9}$, pada jaringan link akses *upstream* dengan menggunakan XG-PON1 mendapatkan nilai terendah pada *Link Power Budget* (LPB), *Q-factor*, dan *Bit Error Rate* (BER) dengan nilai LPB -27,32 dBm, *Q-factor* 5,91917104755475, BER $1,7 \times 10^{-9}$, nilai pada *Rise Time Budget* (RTB) pada link akses *downstream* dan *upstream* memiliki nilai terendah sebesar 0,046097867 *upstream* dan 0,046097811, sedangkan pada link *backbone* nilai terendah pada link STO CRB – STO BRS sebesar 0,00017592 ns, *delay* berpengaruh terhadap jarak semakin jauh jarak semakin besar nilai *delay* Nilai *delay* di dapat sebesar 1,070516601 ms.

4. Analisis Perancangan dan Simulasi

4.1 Analisis LPB Perancangan Berdasarkan Perhitungan

Nilai LPB terendah pada link akses *downstream* diakibatkan pada jarak link yang lebih jauh dibandingkan link akses *downstream* lainnya. Pada link akses *upstream* nilai LPB terendah diakibatkan karena jarak yang jauh dan daya transmit yang berbeda. Sedangkan jarak terdekat link akses *upstream* dan *downstream* memiliki LPB yang cukup rendah karena ditambahkan perangkat attenuator. LPB link *backbone* mendapatkan nilai terendahnya akibat jarak yang lebih jauh dibanding link *backbone* lainnya. Meski begitu, seluruh link pada perhitungan matematis memenuhi standar LPB yaitu -28 dBm.

Tabel 7 perhitungan LPB

Asal STO	Total Jarak (km)	Power Receive (dBm)	Q-factor	BER	Rise Time System (ns)	Total Delay (s)
STO CRB	2,45	-20,735	6,498126234	4,15853E-11	0,046097723	0,00017239
	6,62	-19,016	9,366792207	3,78021E-21	0,046097727	0,000192798
	10,33	-23,159	8,792874099	7,38107E-19	0,046097734	0,000210955
	13,48	-24,134	7,27607534	1,74969E-13	0,046097742	0,000226371
	16,64	-25,112	7,642475807	1,08308E-14	0,046097752	0,000241836
	18,76	-25,748	6,815093337	4,80758E-12	0,04609776	0,000252211
	27,73	-25,499	8,090816059	3,0073E-16	0,046097804	0,000296111
	26,49	-25,127	8,509165351	8,87734E-18	0,046097797	0,000290042
	27,61	-25,463	8,130577371	2,16766E-16	0,046097803	0,000295523
	27,85	-25,535	8,051207762	4,16047E-16	0,046097805	0,000296698
STO BRS	28,82	-25,856	7,70470996	6,66406E-15	0,046097811	0,000301445
	27,74	-25,602	7,977897798	7,55584E-16	0,046097804	0,00029616
	24,29	-24,567	9,021348285	9,40092E-20	0,046097785	0,000279275
	18,49	-22,767	9,473575107	1,36688E-21	0,046097759	0,00025089
	14,49	-25,537	7,791114891	3,37407E-15	0,046097745	0,000231314
	11,15	-25,505	7,122291391	5,40822E-13	0,046097736	0,000214968
	8,14	-19,602	8,278570779	6,32159E-17	0,046097729	0,000200237
	4,72	-18,546	10,33216834	2,54359E-25	0,046097725	0,0001835
	1,26	-19,478	8,498667941	9,71825E-18	0,046097722	0,000166566
STO TGL	8,5	-19,61	8,26455265	7,11082E-17	0,04609773	0,000201999
	5,42	-18,656	10,09848005	2,83224E-24	0,046097725	0,000186925
	1,89	-20,567	6,737431579	8,23103E-12	0,046097723	0,00016965
	0,85	-20,255	7,203826074	2,98172E-13	0,046097722	0,00016456
	2,24	-20,672	6,586918428	2,29484E-11	0,046097723	0,000171363
	3,87	-21,161	5,926542341	1,58873E-09	0,046097724	0,00017934
	5,86	-18,788	9,824376733	4,46586E-23	0,046097726	0,000189079
	8,29	-19,547	8,375539368	2,78671E-17	0,04609773	0,000200971
	10,53	-23,219	8,692387366	1,79741E-18	0,046097734	0,000211934
	13,84	-24,242	7,122722575	5,39131E-13	0,046097743	0,000228133
STO PML	15,67	-24,791	6,385620646	8,73531E-11	0,046097748	0,000237089
	7,6	-21,21	5,863916462	2,32275E-09	0,046097728	0,000197594
	1,05	-19,215	8,983373251	1,32884E-19	0,046097722	0,000165539
STO PKL	6,02	-20,736	6,496725909	4,19744E-11	0,046097726	0,000189862
	17,46	-24,258	7,100242086	6,34597E-13	0,046097755	0,000245849
	11,07	-22,281	10,37759445	1,58218E-25	0,046097735	0,000214577
STO PKL	4,17	-20,181	7,318770206	1,27383E-13	0,046097724	0,000180808

4.2 Analisis Hasil Perhitungan pada *Q-factor*

Untuk nilai *Q-factor* dipengaruhi pada nilai LPB dan SNR. Nilai *Q-factor* yang didapatkan pada hasil perhitungan pada Tabel 7 berbanding lurus dengan nilai SNR dan LPB. Pada link akses downstream nilai terendah terjadi karena dipengaruhi oleh attenuator redaman yang besar jika dibandingkan dengan link akses downstream lainnya. Pada link akses upstream nilai terendah didapat karena ditambahkannya attenuator redaman dan perbedaan daya transmit.

4.3 Analisis Hasil Perhitungan pada *Bit Error Rate*

Nilai BER berbanding terbalik dengan nilai *Q-factor*. Pada link akses *downstream* nilai BER terbesar terjadi karena redaman *attenuator* yang besar dan daya yang dikirim terlalu kecil jaraknya yang paling jauh diantara link akses *downstream* lainnya. Sedangkan, nilai BER terbesar pada link akses *upstream* terjadi karena jarak yang jauh dan perbedaan daya transmit serta redaman *attenuator* yang besar. Pada jarak terdekat link akses *upstream* dan *downstream* nilai BER cukup besar dikarenakan pengaruh penggunaan *attenuator*. Pada link *backbone* nilai terbesar didapatkan karena pengaruh jarak yang paling jauh diantara link *backbone* lainnya. Namun seluruh link memenuhi standar nilai BER yaitu 10^{-9} dan hasil perhitungan dilihat pada Tabel 7.

4.4 Analisis Hasil Perhitungan pada *Rise Time Budget*

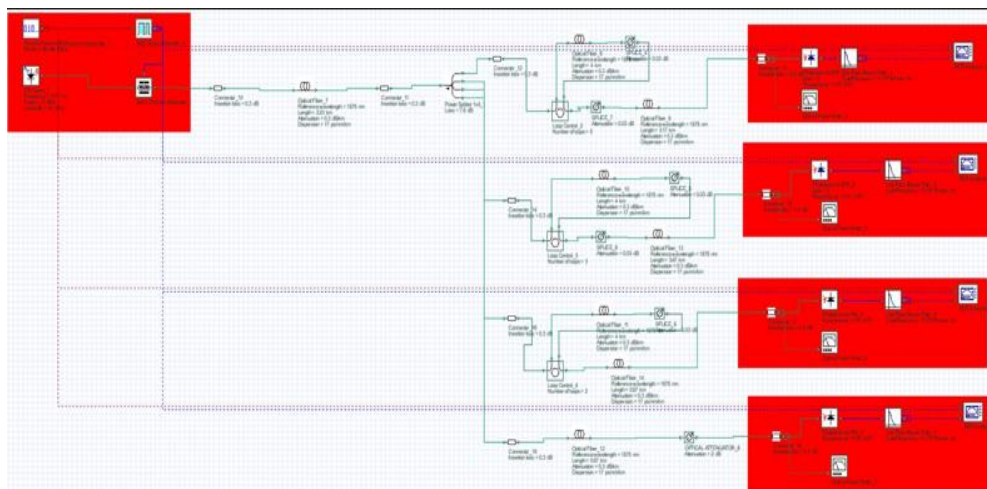
Hasil perhitungan RTB untuk link akses dapat dilihat pada Tabel 7, untuk link akses besarnya nilai RTB berbanding lurus pada jarak. Semakin jauh jarak link optik maka semakin besar nilai RTB. Nilai RTB terbesar yang dirasakan pada link terjauh karena faktor jarak link optik yang paling jauh diantara link yang lainnya.

4.5 Analisis Hasil Perhitungan pada *Delay*

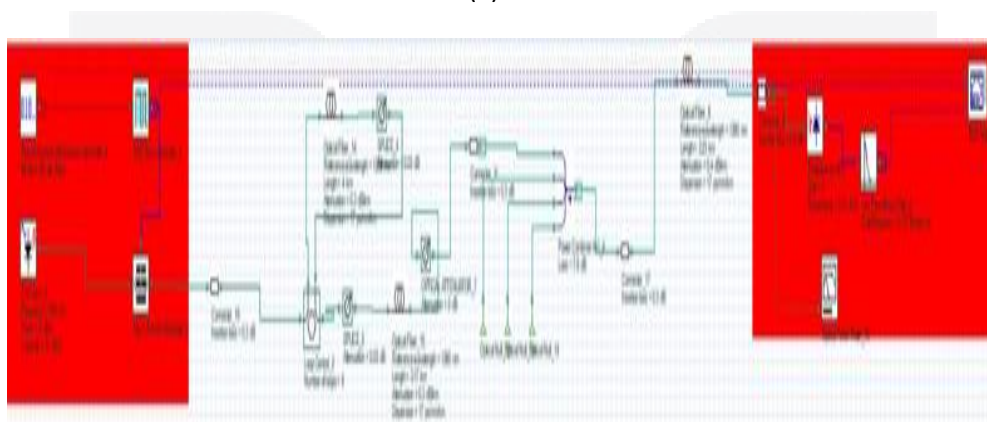
Untuk besarnya *delay* terjadi karena berbanding lurus dengan jarak, maka semakin jauh jarak link optik maka nilai *delay* semakin besar. Faktor *delay* yang paling mempengaruhi *delay* adalah panjang kabel optik dan panjang gelombang yang digunakan. *Delay* jaringan backhaul dihitung pada site terjauh hingga EPC (Site 11 – STO PKL) dengan nilai *delay* downstream 0,30144508 ms, dan upstream 0,39138744 ms. Maka nilai *delay* pada jaringan backhaul masih berada didalam standar 3GPP TS23.203

4.6 Model Sistem Simulasi

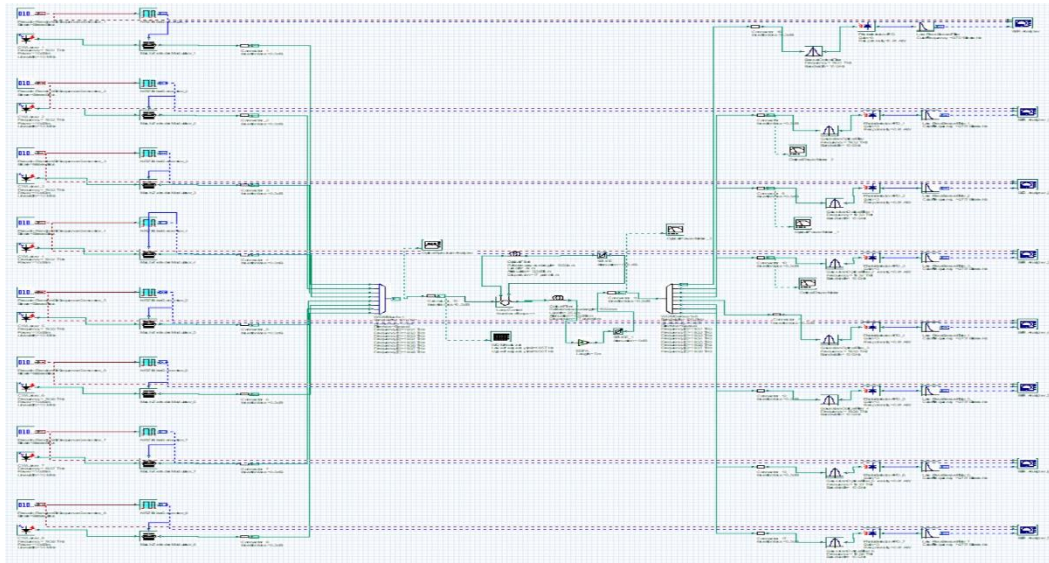
Pada pemodelan sistem simulasi ini link *backhaul* terbagi menjadi dua bagian yaitu pemodelan pada link akses dan link backbone. Untuk model link akses *downstream*, *upstream* dan link *backbone* dapat dilihat pada gambar 6



(a)



(b)



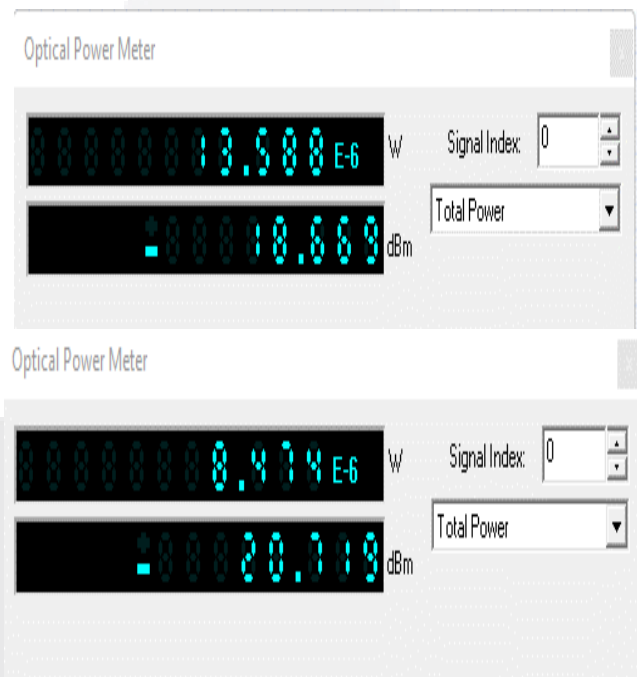
(c)

Gambar 6. *Setup* simulasi (a) link akses *downstream* (b) link akses *upstream* (c) link *backbone*

4.7 Analisis LPB Perancangan Berdasarkan Simulasi

Tabel 8 Perhitungan simulasi

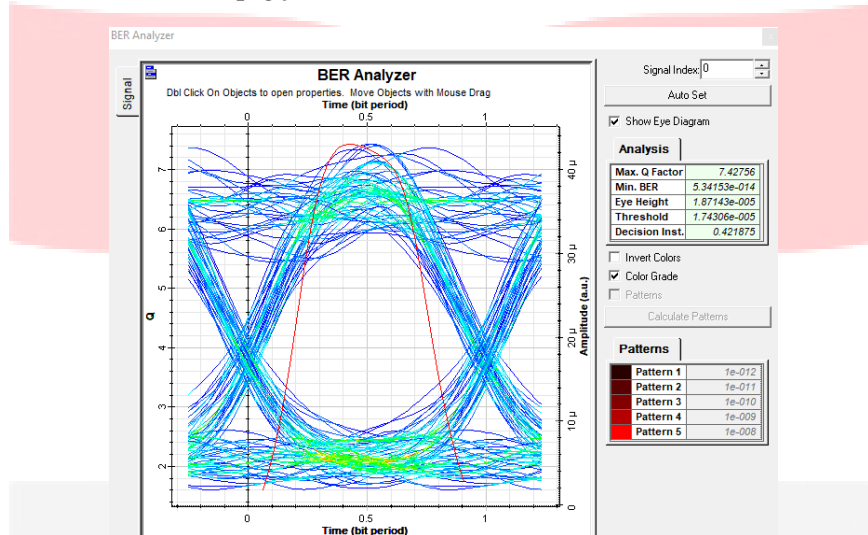
Asal STO	Total Jarak (km)	Power Receive (dBm)	Q-factor	BER
STO CRB	2,45	-21,852	10,525	3,3E-26
	6,62	-21,886	10,4383	8,25E-26
	10,33	-23,488	9,80274	5,36E-23
	13,48	-24,147	10,0751	3,52E-24
	16,64	-24,81	11,2563	1,07E-29
	18,76	-25,234	10,4006	1,22E-25
	27,73	-26,107	7,84229	2,1E-15
	26,49	-25,86	8,15179	1,72E-16
	27,61	-26,083	7,86182	1,8E-15
STO BRS	27,85	-26,132	7,82635	2,38E-15
	28,82	-26,162	7,80181	2,9E-15
	27,74	-20,369	9,30383	6,37E-21
	24,29	-21,369	8,98472	1,23E-19
	18,49	-20,539	9,5913	4,11E-22
	14,49	-19,709	9,00579	1E-19
	11,15	-19,509	9,81354	5,76E-21
	8,14	-18,879	7,3342	1,11E-13
	4,72	-18,079	8,38213	2,54E-17
STO TGL	1,26	-17,29	8,93961	1,94E-19
	8,5	-21,462	9,52724	8,04E-22
	5,42	-21,362	10362	1,84E-25
	1,89	-21,723	8,83314	5,07E-19
	0,85	21,456	9,43347	1,98E-21
	2,24	21,873	7,09142	6,61E-13
	3,87	-20,334	8,5913	8,37E-18
	5,86	-21,654	8,30087	5,14E-17
	8,29	22,612	7,27928	1,67E-13
STO PML	10,53	-23,622	9,61175	3,39E-22
	13,84	-25,162	8,94905	1,71E-16
	15,67	-23,822	7,8245	2,45E-15
	7,6	-18,669	8,77234	1,35E-18
	1,05	-20,079	7,91549	1,23E-15
	6,02	-20,669	6,21653	2,53E-10
STO PKL	17,46	-24,882	7,42756	5,34E-14
	11,07	-23,422	7,88583	1,5E-15
	4,17	-18,669	10,4317	8,86E-26



Gambar 7 LPB *Optical Power Meter*

Hasil simulasi yang memberikan gambaran nilai LPB terhadap variasi jarak site untuk link akses dan link *backbone*. Tabel 8 simulasi LPB memberikan nilai yang serupa dengan perhitungan LPB. Nilai LPB *downstream* simulasi terendah pada link akses di akibatkan jarak link yang lebih jauh dibandingkan link akses site lain. Pada link akses *upstream* nilai LPB terendah diakibatkan karena jarak yang jauh dan daya transmit yang berbeda. Sedangkan pada link jarak terdekat link akses *downstream* dan *upstream* memiliki LPB yang cukup rendah karena ditambahkan komponen *attenuator*

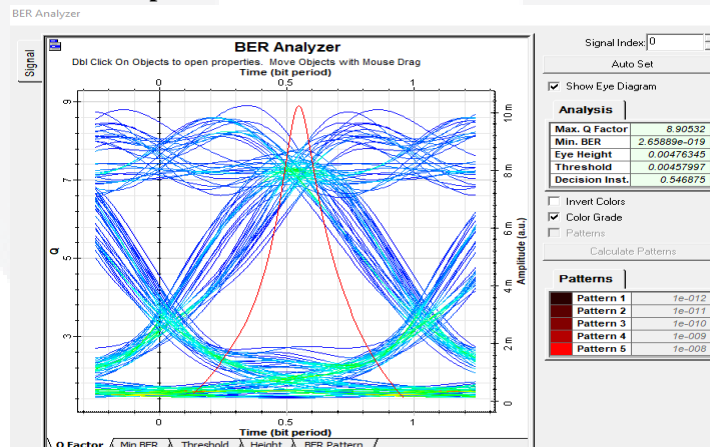
4.8 Analisis Hasil Simulasi Terhadap *Q-factor*



Gambar 8 BER analyzer simulasi

Simulasi yang dilakukan pada perangkat lunak optik membutuhkan komponen BER *analyzer* untuk menampilkan nilai *Q-factor*. Hasil pengukuran menggunakan BER *analyzer* dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 8. Pada simulasi *Q-factor* Pada link akses nilai terendah didapat karena jarak yang jauh nilai redaman dan perbedaan daya transmit. Jika diamati pada jarak terdekat link akses nilai *Q-factor* karena terdampak oleh *attenuator*. Pada sisi *backbone* nilai *Q-factor* terkecil didapat karena redaman yang besar.

4.9 Analisis Hasil Simulasi Terhadap Bit Error Rate



Gambar 9 BER analyzer simulasi

Simulasi yang dilakukan pada perangkat lunak optik dapat mengukur nilai BER menggunakan komponen BER *analyzer*. Hasil simulasi BER menggunakan konfigurasi ditunjukkan oleh Tabel 8. Nilai BER terbesar pada link akses *downstream* adalah $2,5 \times 10^{-10}$. Pada link akses *upstream* nilai BER terbesar adalah $1,91 \times 10^{-10}$ pada link *backbone* nilai BER terbesar berada pada link yang dekat dan redaman yang besar $4,52 \times 10^{-13}$.

5. Kesimpulan

Pada rancangan jaringan backhaul serat optik kereta cepat Jakarta – Surabaya sub Cirebon – Pekalongan pada kecepatan 140 km/jam memenuhi seluruh parameter dan dapat digunakan untuk mendu-64Vkung paramter jaringan komunikasi 4G LTE pada penumpang. Terdapat beberapa kesimpulan pada parameter jaringan backhaul sebagai berikut :

1. Pada jaringan link akses downstream dengan menggunakan XG-PON1 mendapatkan nilai terendah pada Link Power Budget (LPB), Q-factor, dan Bit Error Rate (BER) dengan nilai LPB -25,856 dBm, Q-factor 5,8639164617185, BER $2,3 \times 10^{-9}$ dan nilai terendah pada link downstream memenuhi standar sehingga rancangan dapat direalisasikan.
2. Pada jaringan link akses upstream dengan menggunakan XG-PON1 mendapatkan nilai terendah pada Link Power Budget (LPB), Q-factor, dan Bit Error Rate (BER) dengan nilai LPB -27,32 dBm, Q-factor 5,91917104755475, BER $1,7 \times 10^{-9}$ dan nilai terendah pada link upstream memenuhi standar sehingga rancangan dapat direalisasikan.
3. Nilai pada Rise Time Budget (RTB) pada link akses downstream dan upstream memiliki nilai terendah sebesar 0,046097867 upstream dan 0,046097811, sedangkan pada link backbone nilai terendah pada link STO CRB – STO BRS sebesar 0,00017592 ns. Nilai parameter RTB untuk link akses downstream, upstream dan backbone telah memenuhi standar sehingga rancangan dapat digunakan.
4. Sistem perancangan pada link backbone menggunakan SUDAH STM -64 DWDM mendapatkan nilai terendah untuk parameter LPB, Q-factor, dan BER pada link STO CRB – STO BRS dengan nilai LPB -25,612, Q-factor sebesar 6,810838463 dan BER sebesar $5,00 \times 10^{-12}$. Nilai terendah pada jaringan backbone telah memenuhi standar parameter sehingga rancangan dapat di realisasikan.
5. Nilai delay berpengaruh terhadap jarak semakin jauh jarak semakin besar nilai delay Nilai delay di dapat sebesar 1,070516601 ms dan nilai sesuai standar One Way Packet Delay.

6. Referensi

- [1] A Aziz, "Efek Domino Bagasi Berbayar, Ganggu Parawisata, Hotel hingga UMKM," 2019. [Online]. Available: <https://tirto.id/efek-domino-bagasi-berbayar-ganggu-pariwisata-hotel-hingga-umkmdfub>. [Accessed 1 Februari 2021].
- [2] A.A. Muiz, "PT KAI Akan Menjalankan Penumpang Kerta Dengan layanan Internet Selama n Perjalanan," 2019. [Online]. Available: <https://suryamalang.tribunnews.com>. [Accessed 4 April 2021].
- [3] E. Metsala and J. Salmelin, *LTE Backhaul Planning and Optimization*, United Kingdom: Wiley, 2015.
- [4] ITU-T, "10-Gigabit-Capable Passive Optical Networks XG-PON: General Requirements," in *ITU-R G Series: G.987.1*, 2016.
- [5] S. Kartalopoulos, *Next Generation Intelligent Optical Network From Access to Backbone*, New York USA: Springer, 2008.
- [6] Nia Sonyanti, *Desain Jaringan Komunikasi LTE Penumpang Kereta Cepat 140 km/Jam Jakarta-Surabaya Jalur Cirebon – Pekalongan*, Bandung: Universitas Telkom, 2019.
- [7] E. Dahlman, S. Parkvall and J. Skold, *4G LTE-Advanced Pro and The Road to 5G*, vol. III, United Kingdom: Elsevier, 2016.
- [8] G. Keiser, *Optical Fiber Communication*, McGraw-Hill, 2010.
- [9] S. Sandis, B. Vjaceslavs and I. Girts, "Latency causes and reduction in optical metro networks (INVITED)," in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, San Francisco, California, 2014.