

Perancangan Jaringan Backhaul Serat Optik Untuk Komunikasi Lte Penumpang Pada Kereta Cepat Jakarta – Surabaya Sub Jakarta - Cirebon

Designing Optical Fiber Backhaul Network For Passenger's Lte Communication Of High Speed Train On Jakarta - Cirebon

1st Argymnasthiar Ramadhana
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia
argymnasthiar@student.telkomuni-
versity.ac.id

2nd Erna Sri Sugesti
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia
ernasugesti@telkomuniversity.ac.i
d

3rd Rina Pudji Astuti
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia
rinapudjiastuti@telkomuniversity.
ac.id

Abstrak

BPS (Badan Pusat Statistik) menyampaikan bahwa jumlah penumpang sepanjang 2020 mengalami penurunan karena pandemi Covid-19 yang terus meningkat, jumlah penumpang kereta untuk Jabodetabek sebanyak 154,591 (ribu) penumpang dan non-jabodetabek sebanyak 28,805 (ribu). Pada teknologi *backbone* optik dapat digunakan pada (SDH) *Synchronous Digital Hierarchy STM-64 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)*, teknologi jaringan akses menggunakan XG-PON, dan teknologi *core network* LTE (Long Term Evolution) menggunakan EPC. Rancangan yang dibuat berupa dengan parameter *delay*, *power link budget*, *Q-factor*, *rise-time*, SNR, dan BER dengan ketentuan standar ITU-T G.987, ITU-T G696.1 DAN 3GPP TS23.203. Hasil perancangan membutuhkan satu EPC di Jakarta. *Delay* pada link sisi Downstream 1.569633952 ms. *Link downstream* didapat pada link STO Pagaden – Site 26 KROYAML dengan LPB sebesar -19.83 dBm, *Q-factor* 8,960069158, BER $1,64 \times 10^{-19}$ dan RTB 0,046097749 ns. Untuk *link upstream* total *delay* yang didapat adalah 1.569123599 ms, LPB terendah didapat pada site tambahan 14 - STO CIKINI dengan LPB sebesar -19,62 dBm, *Q-factor* 6.76041511, BER $1,02 \times 10^{-12}$, dan RTB 0.046097724. Dan *link backbone* terendah LPB -23,67 dBm, *Q-factor* 11,08921015, BER $7,133 \times 10^{-29}$, dan RTB 0.044821906 ns.

Kata Kunci: LTE (*Long Term Evolution*), *Backhaul*, *Backbone*, EPC, XG-PON, DWDM.

Abstract

BPS (Central Statistics Agency) said that the number of passengers throughout 2020 experienced a decline due to the increasing the Covid-19 pandemic, the number of train passengers for Jabodetabek was 154,591 (thousand) passengers and non-Jabodetabek were 28.805 (thousand). Optical backbone technology can be

used on (SDH) *Synchronous Digital Hierarchy STM-64 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)*, *access network technology using XG-PON*, and *LTE (Long Term Evolution) core network technology using EPC*. The design is made with parameters of *delay*, *power link budget*, *Q-factor*, *rise-time*, SNR, and BER with the standard provisions of ITU-T G.987, ITU-T G696.1 AND 3GPP TS23,203. The design require one EPC in Jakarta. *Delay* on Downstream side link of 1.569633952 ms. The downstream link is obtained at the STO Pagaden – Site 26 KROYAML with LPB of -19,83 dBm, *Q-factor* 8.960069158, BER 1.64×10^{-19} and RTB 0.046097749 ns. For upstream link, total *delay* obtained is 1.569123599 ms, lowest LPB is obtained at additional site 14 - STO CIKINI with LPB of -19,62 dBm, *Q-factor* 6.76041511, BER 1.02×10^{-12} , and RTB 0.046097724. And lowest backbone link, LPB is -23,67 dBm, *Q-factor* is 11.08921015, BER is 7.133×10^{-29} , and RTB is 0.044821906 ns.

Keywords: LTE (*Long Term Evolution*), *Backhaul*, *Backbone*, EPC, XG-PON, DWDM.

I. PENDAHULUAN

Berkembang transportasi memberikan kemudahan dan teknologi bagi masyarakat khususnya di Indonesia. Transportasi tersebut merujuk pada kereta api untuk perjalanan jarak jauh karena angkutan massal efektif, waktu tempuh, kenyamanan, dan mencakup berbagai kota. Berdasarkan data BPS (Badan Pusat Statistik) [1] jumlah penumpang kereta api sepanjang tahun 2020 untuk Jabodetabek sebanyak 154,591 (ribu) penumpang dan non-Jabodetabek sebanyak 28,805 (ribu). Transportasi kereta api memungkinkan masyarakat tetap dapat menggunakan layanan *mobile*

dalam perjalanan baik ponsel, tablet dan sebagainya. Tahun 2020 hingga 2021 menjadi tahun dengan perkembangan akses *mobile* yang cepat dengan adanya pandemik COVID-19 kebutuhan internet semakin luas.

Internet yang semakin dibutuhkan, khususnya kereta cepat wilayah padat penduduk dan aktifitas masyarakat yang sibuk membuat rute Jakarta – Cirebon menjadi pilihan saat ini. 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. 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).

Penelitian sebelumnya [2] melakukan perancangan EPC (*Evolved Packet Core*) yang merupakan jaringan inti 4G LTE. Rancangan tersebut mendapatkan nilai parameter *delay* pada *link* terjauh sisi *downstream* yaitu 1,707611 ms, sedangkan *upstream* 1,707562 ms. Penelitian [3] mendesain teknologi LTE yang menggunakan perangkat RRU dikhususkan untuk meng-cover area rel kereta. Maka dilakukan analisis coverage area dengan melakukan coverage planning dan validasi hasilnya dengan kondisi rel *site existing* yang digunakan. Kemudian analisis tersebut bertujuan untuk melayani penumpang komunikasi data.

Karena belum ada teknologi yang mendukung Tugas akhir ini melakukan perancangan *backhaul* yang terdiri dari jaringan *backbone*, akses, dan core network. Kemudian Teknologi *backbone* fiber optik yang digunakan DWDM, *coverage area site*, akses menggunakan teknologi XG-PON, teknologi EPC untuk *core network* LTE untuk layanan kepada penumpang kereta cepat segmen Jakarta – Cirebon. *Backhaul* mendukung layanan LTE untuk mengatasi *delay* pada penumpang kereta cepat Jakarta – Cirebon berkecepatan 160 km/jam.

II. KAJIAN TEORI

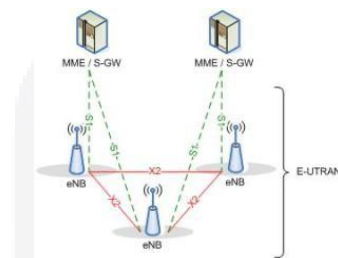
a. Konsep Dasar Kereta Cepat dan LTE untuk Kereta Cepat

Kereta cepat adalah moda transportasi yang terdiri atas rangkaian gerbong dan lokomotif, melaju menggunakan medan magnet antara kereta dan rel. Kecepatan kereta cepat Indonesia dapat melesat hingga 160 km/jam. Pendefinisian rel berbagai negara berbeda, menurut International Union of Railways (UIC) mendefinisikan kereta cepat dibangun dengan jalur khusus untuk kecepatan lebih dari atau sama dengan 250 km/jam [4], untuk dalam negeri menurut Undang – Undang Perkeretaapian

Indonesia No 23/2007 kereta api kecepatan tinggi didefinisikan secara sederhana sebagai jalur dengan kecepatan 200 km/jam [5]. Secara keseluruhan LTE adalah teknologi komunikasi seluler untuk paket data dan *Voice over LTE*. 3rd *Generation Partnership Project* (3GPP) atau LTE dipasarkan dengan nama 4G LTE yang terdiri dari tiga bagian utama yaitu *User Equipment (UE)*, *Evolved Packet Core Network (EPC)*, dan *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)* [6].

b. Konfigurasi Jaringan LTE

Arsitektur jaringan LTE dirancang untuk tujuan mendukung trafik *packet switching* dengan mobilitas tinggi, QoS, dan *latency* yang kecil. Pendekatan *packet switch* membolehkan semua layanan termasuk layanan *voice* menggunakan koneksi paket. Oleh karena itu pada arsitektur jaringan LTE dirancang se-sederhana mungkin, yaitu terdiri dua bagian *radio access network (RAN)* dan *core network*. Bagian RAN terdiri dari *enodeB* dan core network terdiri dari *mobility management entity/gateway (MME/GW)* dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar II.1 Arsitektur jaringan LTE

EPC adalah sebuah sistem yang baru dalam evolusi arsitektur komunikasi seluler [6]. EPC menyediakan fungsionalitas *core mobile* yang pada generasi sebelumnya (2G, 3G). EPC memiliki dua bagian yang terpisah yaitu *circuit switch (CS)* untuk *voice* dan *packet switch* untuk data. EPC terdiri dari *mobility management entity (MME)* yang berfungsi menangani bearer dengan bearer adalah suatu saluran yang menghubungkan *user equipment (UE)* dengan jaringan paket data, *security*, dan *mobility management*. *Serving gateway (S-GW)* adalah jembatan antara *management* dengan *switching user plane*, S-GW merupakan bagian dari infrastruktur penghubung jaringan RAN dengan EPC. *Packet data network gateway (PDN-GW)* mengalokasikan ip address ke UE dan UE dapat melakukan komunikasi dengan ip host lain pada *external network* seperti internet. *Policy and charging rules function (PCRF)* berfungsi menentukan *quality of service (QoS)* untuk masing – masing UE. *Home Subscriber Server (HSS)* berupa sistem database yang bertugas membantu MME dan melakukan management pelayanan dan pengamanan.

c. Backhaul

Backhaul adalah media transmisi jaringan yang terletak diantara elemen core network dengan eNodeB. Pada core network terdapat EPC pada jaringan LTE yang didalamnya terdapat MME, S-GW, dan P-GW. Elemen – elemen tersebut terhubung melalui beberapa interface yang akan dikirimkan dari eNodeB ke EPC seperti S1-U, S1-S, X2-U, X2-C [3]. interface tersebut adalah trafik pengguna S1 userplane (U-plane), yang dikirimkan dari eNodeB ke S-GW dan P-GW, dan trafik control S1 control plane (C-plane) antara eNodeB dan MME. Delay untuk backhaul bergantung kepada end to end (e2e) delay dari aplikasi pengguna dan delay budget yang ada pada backhaul. Persyaratan delay mengacu pada standar 3GPP TS23.203 pada Tabel 2.2 [7].

Plane	One Way Packet Delay		One Way Packet Delay Variation		Variation	
	e2e Requirement	Backhaul Recommendation	e2e Requirement	Backhaul Recommendation	e2e Requirement	Backhaul Recommendation
U-Plane real time	50 ms	20 ms	± 10ms	± 10 ms	10 ⁻³	10 ⁻⁴
U-Plane non-real time	300 ms	20 ms	none	none	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷
C-plane	100 ms	20 ms	none	none	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷
M-Plane (of eNodeB)	-	100 ms	none	none	10 ⁻³	10 ⁻⁶

d. Evolved Packet Core

Dari N_{subs} jumlah pelanggan dan trafik pengguna dapat dihitung jumlah elemen – elemen EPC tersebut. Persamaan (2.1) [8] untuk menentukan jumlah HSS_N . MME bertanggung jawab dalam menangani user registrasion kedalam jaringan dengan persamaan (2.2) [8] yang digunakan untuk menghitung jumlah network element. Tf_c adalah trafik yang menuju MME yaitu trafik control plane S1-MME atau S1-C yang dapat dihitung menggunakan persamaan (2.3) [8]. Jumlah S / P-GW_N adalah jumlah S-GW dan atau P-GW yang dibutuhkan menggunakan persamaan (2.4) [8].

$$HSS_N = Max \left[\frac{N_{subs}}{S_{C-HSS}} \right] \tag{II.1}$$

$$MME_N \tag{II.2}$$

$$= Max \left[\frac{N_s}{S_{C-MME}} ; \frac{B}{B_c} ; \frac{Tf_c}{Th_{C-MME}} \right] \tag{II.3}$$

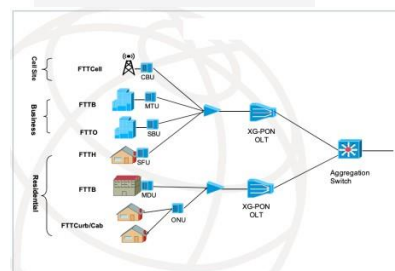
$$Sig = \frac{N_s \times MS}{3600s} \tag{II.3}$$

$$S / P GW_N \tag{II.4}$$

$$= MAX \left[\frac{B}{B_c} ; \frac{Tf_t}{Th_{C-S/P-GW}} \right]$$

e. Teknologi XG-PON

XG-PON teknologi PON yang dikeluarkan oleh ITU-G.987 atau 10-gigabit-capable PON. XG-PON terbagi menjadi dua bagian yaitu XG-PON1 dan XG-PON2, dimana XG-PON memiliki kapasitas downstream sebesar 10 Gbps dan upstream sebesar 2.5 Gbps. XG-PON dapat digunakan untuk beberapa arsitektur jaringan, sebagai contoh adalah Fiber to The Cell (FTTCell) pada Gambar 2.2 [7]. Optical Network Unit (ONU) sebagai perangkat untuk mengubah sinyal optik listrik atau sebaliknya dapat disebut cell-site backhauling unit (CBU). XG-PON dapat memberikan layanan point-to-multipoint untuk digunakan sebagai core network LTE.

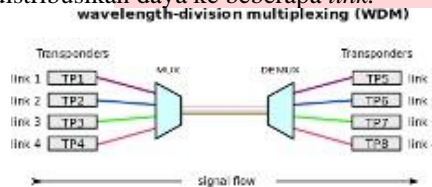


Gambar II.2 Skema XG-PON [7]

f. Dense Wavelength Division Multiplexing

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan teknologi multiplexing yang menggabungkan beberapa panjang gelombang berbeda dalam satu fiber optik. Teknologi DWDM beroperasi dalam sinyal dan domain optik dan memberikan fleksibilitas yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan akan kapasitas transmisi yang besar dalam jaringan. DWDM merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya yaitu Wavelength Division Multiplexing (WDM), Penggunaan teknologi DWDM menawarkan kemudahan dalam hal peningkatan kapasitas transmisi dalam suatu sistem komunikasi serat optik. Sistem DWDM mampu untuk mengakomodasi pada rekomendasi ITU-T seri G.652 dan G.653, yang umum digunakan pada jaringan eksisting. Channel spacing pada sistem DWDM oleh masing – masing pabrikan dilakukan dengan mempersempit jarak antar panjang gelombang yang berdekatan, atau

yang lebih dikenal dengan istilah *channel spacing*. Dalam rekomendasi ITU-T seri G.693 telah dinyatakan bahwa *channel spacing* yang mungkin adalah 50 GHz, 100 GHz dan 200 GHz atau lebih. Teknologi DWDM dapat membawa sejumlah panjang gelombang (4, 8, 16, 32 dan seterusnya). Skema kerja WDM pada Gambar 2.6 dari sumber cahaya berupa laser memancarkan panjang gelombang berbeda yang akan melewati ke *multiplexer* pada pemancar untuk menggabungkan sinyal, dan *demultiplexer* pada penerima untuk mendistribusikan daya ke beberapa *link*.



Gambar II.3 Skema WDM

g. Parameter perhitungan pada *Backhaul* Fiber Optik

• **Link power budget**

Link power budget atau *Power budget* bertujuan untuk menghitung daya yang diperlukan *receiver* sehingga level daya terima tidak kurang dari sensitivitas minimum. Tujuan dilakukannya perhitungan adalah untuk menentukan apakah komponen dan parameter desain yang dipilih dapat menghasilkan daya sinyal hingga di pelanggan sesuai dengan syarat peformansi berlaku. *Link power budget* dapat dihitung dengan persamaan (2.5) [10]. Kemudian melakukan perhitungan daya terima pada *photodetector* melalui persamaan (2.6).

$$\alpha_{tot} = (L \cdot \alpha_{serat}) + (N_c \cdot \alpha_c) + (N_s \cdot \alpha_s) + \alpha_{sp} + SM \tag{II.5}$$

$$P_{rx} = P_{tx} - \alpha_{tot} \tag{II.6}$$

• **Rise time budget**

Rise time budget (RTB) digunakan untuk menganalisis kinerja jaringan secara keseluruhan dan sesuai dengan kapasitas kanal yang dibutuhkan. Secara umum degradasi total waktu transisi dari *link* digital tidak melebihi 70% dari satu periode bit NRZ atau 35% dari satu periode bit untuk data RZ [10]. Maka persamaan (2.7) dan (2.8) untuk menghitung RTB.

$$t_f = D \times \sigma_\lambda \times L \tag{II.7}$$

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \tag{II.8}$$

• **Signal to Noise Ratio**

Signal to noise ratio (SNR) merupakan perbandingan tingkat daya

sinyal dengan daya *noise* pada sistem jaringan, berikut persamaan (2.9) [10]. I_p adalah *primary current* yang dapat dicari menggunakan persamaan (2.10).

$$SNR = \frac{\frac{m^2}{2} \cdot I_p^2 \cdot M^2}{2 \cdot q \cdot (I_p + I_D) \cdot F(M) \cdot B_e + \frac{4 \cdot k_B \cdot T \cdot R_L}{R_L}} \tag{II.9}$$

$$I_p = R \cdot P_{in} \tag{II.10}$$

• **Q-factor**

Q-factor merupakan nilai faktor kualitas yang menentukan baik buruk performansi sistem, nilai minimal untuk fiber optik adalah 6 [10]. Berikut persamaan (2.13) [10] untuk mencari nilai Q.

$$Q = \frac{10^{\frac{SNR}{20}}}{2} \tag{II.11}$$

• **Bit Error Rate**

Bit Error Rate (BER) adalah rasio perbandingan *bit error* dengan *bit* yang dikirim secara keseluruhan. Sedangkan, *BER test* adalah pengujian yang bertujuan menguji seberapa banyak kesalahan pembacaan yang diterima setiap detik, melalui persamaan (2.12) [10]

$$BER = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \tag{II.12}$$

• **Latency**

Latency adalah sebagai penunda waktu yang dialami sistem dan menggambarkan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan data dari sistem transmisi ke sisi penerima. Beberapa faktor yang menyebabkan *delay* pada jaringan kabel optik antara lain kabel optik, *optical amplifier*, *transponder* dan konversi opto-elektrik, *forward error correction* dan *digital signal processing*, dan *network interface delay*.

Delay kabel fiber optik yang umum digunakan untuk transmisi jaringan fiber optik adalah *single mode fiber* (SMF). *Delay* pada SMF dipengaruhi oleh parameter *effective group index of refraction* (η_{eff}). Rekomendasi ITU-T G.652 η_{eff} untuk panjang gelombang 1310 nm adalah 1,4676 dan panjang gelombang 1550 nm adalah 1,4682 [11]. Dengan mengetahui η_{eff} dapat menghitung kecepatan cahaya pada kabel fiber optik dengan persamaan (2.13) dan *delay link* optik menggunakan persamaan (2.14).

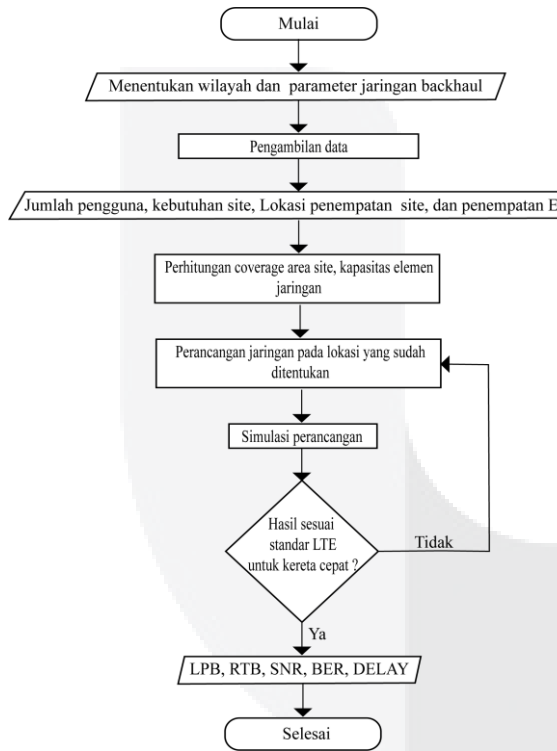
$$V_\lambda = \frac{c}{\eta_{eff}} \tag{II.13}$$

$$\Delta_\lambda = \frac{L}{V_\lambda} \tag{II.14}$$

III. METODE

a. Model Perancangan jaringan *Backhaul*

Tahapan dalam perancangan jaringan *backhaul* sesuai standar ITU-T G.987, ITU-T G.691, 3GPP TS23.203. Menghitung jumlah *coverage area site* berdasarkan wilayah dan jumlah elemen jaringan *backhaul*. Selanjutnya merancang elemen jaringan berdasarkan penempatan posisi *Site*, EPC, STO, dan akses pada *google earth*. Setelah itu, menghitung nilai yang didapat dari elemen jaringan dan simulasi parameter tersebut dan dibandingkan dengan standar yang sudah disepakati, jika nilai tersebut baik maka dapat dilanjutkan dan jika hasil tersebut tidak memenuhi syarat maka harus dikalkulasi ulang. Adapun skema dari model sistem yang dirancang dalam Tugas Akhir ini tertera pada Gambar 3.1.



Gambar 0.1 Diagram alir perancangan

NAMA STO		
NO	STO	KM
1	STO TELKOM CIKINI	20,4
	STO TELKOM BEKASI	
2	STO TELKOM BEKASI	38,4
	STO TELKOM KARAWANG	
	STO TELKOM KARAWANG	23,3

b. Perancangan jaringan Jakarta – Cirebon

Perancangan dibuat berdasarkan batasan – batasan dari standar teknologi DWDM dan XG-PON yang telah diuraikan. Perancangan menggunakan *software* Google Eart. EPC diletakan di kantor operator telekomunikasi Jakarta. *Site* telah dirancang akan disambung ke EPC menggunakan jaringan *backhaul* fiber optik yang terhubung dengan *backbone*. Hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 3.2. Setiap jaringan terhubung dengan sentral yang bertetangga dan setiap sentral memiliki sejumlah *enodeB*. Jarak sentral dengan sentral lainya dan sentral dengan *site* cakupan pada Tabel 3.1. adapun topologi yang menunjukkan berupa balok yang menandakan sentral STO, segitiga sebagai ODC, serta Tower *enodeB* yang dijangkau. Jaringan akses menghubungkan antara jaringan sentral dengan *enodeB*, sedangkan jaringan *backbone* menghubungkan antara sentral satu dengan sentral lainnya.



Gambar 0.2 Perancangan jaringan *backhaul*

Tabel 0.1 Jarak antara *link* STO (*Backbone*) dan Jarak *link* STO dengan *Site*

3	STO TELKOM CIKAMPEK	
4	STO TELKOM CIKAMPEK	41,1
	STO TELKOM PAGADEN	
5	STO TELKOM PAGADEN	18,5
	STO TELKOM JAYAMULYA	
6	STO TELKOM JAYAMULYA	43,2
	STO TELKOM JATIBARANG	

7	STO TELKOM JATIBARANG	43
	STO TELKOM CIREBON	

JARAK LINK STO - SITE			
NO	Asal STO	Site tujuan	Total jarak (km)
1	CIKINI	site tambahan 13	17,7
2		site tambahan 14	11,4
3		site tambahan 15	3,1
4		site tambahan 16	5,7
5	BEKASI	site tambahan 9	25,4
6		site tambahan 10	17,7
7		site tambahan 11	10,8
8		site tambahan 12	2,8
9	KARAWANG	site tambahan 5	18,7
10		site tambahan 6	10,7
11		site tambahan 7	2,3
12		site tambahan 8	8,2
13	CIKAMPEK	41_KPCIDANGDARML1	20,51
14		site tambahan 1	20,5
15		site tambahan 2	14,52
16		site tambahan 3	7,24

17		site tambahan 4	0,56
18	PAGADEN	32_KARANGTUMARITISMR1	7,23
19		34_PARIGIMULYAMT1	0,57
20		37_GAMBARSAIRML1	6,9
21		39_CIKAUMBARATML1	12,9
22	JAYAMULYA	24_BLOKGUNUNGSARIML1	21,97
23		26_KROYAML	15,8
24		30_JAYAMULYAMT1	9,5
25		JLMANDIRANCANML1	2,9
26	JATIBARANG	11_ANGGABAYAML	15,6
27		13_KLIWEDML	7,02
28		17_BULAKML1	0,5
29		19_SALAMMULYAMR1	8,75
30		22_TARIKKOLOTMR1	16,7
31	CIREBON	1_JLDWAHIDINCRBML1	2,2
32		4_BLOKSAWITML	11,2
33		15_DSBULAKML	27,1
34		9_DSTEGALGUBUKLORTBGML	26,3

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Perhitungan Parameter

Parameter LPB, *Q-factor*, BER, RTB, dan *delay* dihitung berdasarkan nilai terendah pada rancangan Gambar 3.2. *link downstream* memiliki nilai LPB, *Q-factor*, BER, RTB dan *delay* terendah yaitu didapat pada *link* STO CIREBON – *site* 15_DSBULAKML sepanjang 1,2 km dengan LPB sebesar -21,31 dBm, *Q-factor* 6,959747665, BER $1,74 \times 10^{-12}$, RTB 0.0460978 ns, dan *delay* 0.29311926 ms. Sedangkan pada *link upstream* memiliki nilai LPB, *Q-factor*, BER, RTB dan *delay* terendah dengan nilai LPB -24,02 dBm, *Q-factor* 7,04946272, BER $9,15 \times 10^{-13}$, RTB 0.04609785 ns, dan *delay* 0.284547006 ms. Pada *link backbone* memiliki nilai LPB, *Q-factor*, BER, RTB, dan *delay*

(a)

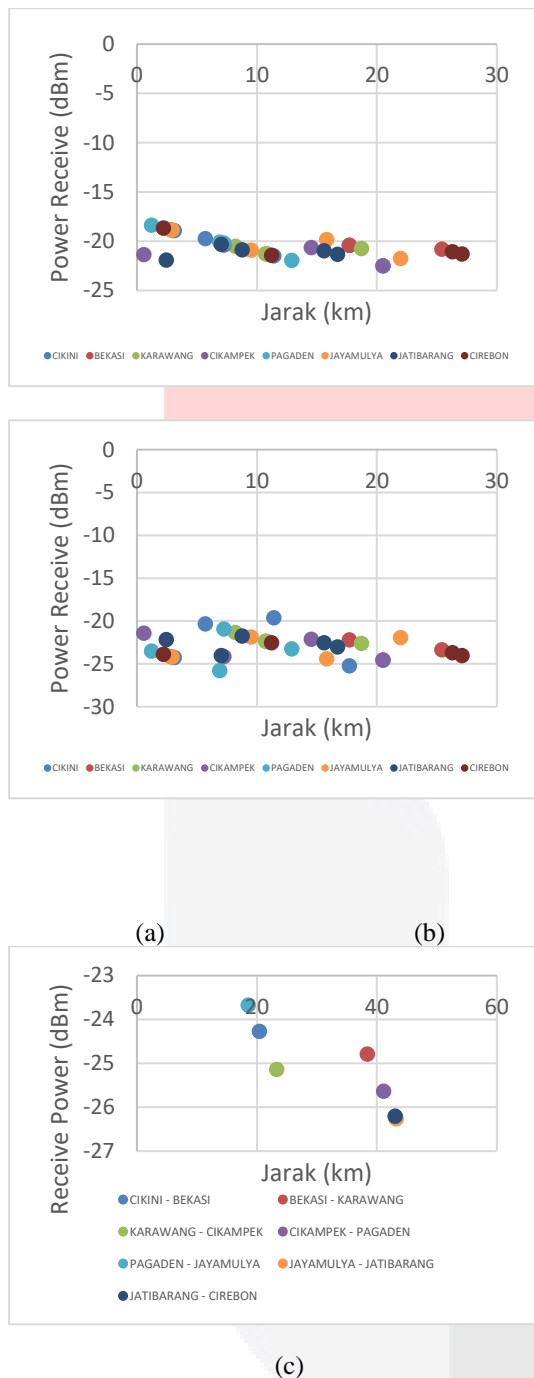
(b)

pada *link* terjauhnya STO JAYAMULYA – STO JATIBARANG sejauh 43,2 km dengan nilai LPB -26,2 dBm, *Q-factor* 8.86157043, BER $3,99 \times 10^{-19}$, RTB 0.044822067, dan *delay* 0.371967164 ms. *Delay* terbesar untuk *link downstream* adalah 1.5696339 ms yang terjadi pada STO CIKINI – *site* 15_DSBULAKML, sedangkan *link akses upstream* terbesar bernilai 1.569123 ms yang terjadi pada *link site* 15_DSBULAKML - STO CIKINI dan *link backbone delay* terbesar pada *link* STO

JAYAMULYA – STO JATIBARANG adalah 0.371967164 ms.

b. Analisis Perancangan dan simulasi

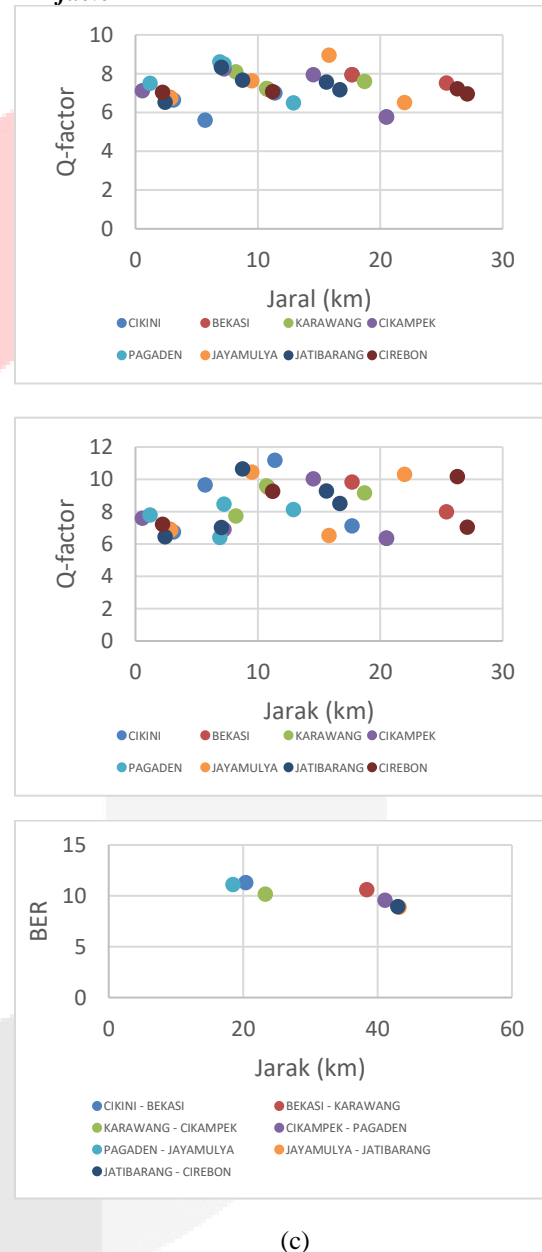
c. Analisis hasil perhitungan terhadap *Link Power Budget*



Gambar 0.1 LPB perhitungan (a) link downstream (b) link upstream (c) link backbone

Berdasarkan persamaan (2.5) dan (2.6). hasil perhitungan ditunjukkan oleh Gambar 4.1. Untuk nilai daya terima terhadap jarak terendah didapat pada STO CIKINI – site tambahan 14 sepanjang 11,4 km dengan LPB sebesar -19,62 dBm. Nilai daya terima terhadap jarak tertinggi didapat pada STO CIKAMPEK – site 41_KPCIDANGDARML1 sepanjang 20,51 km dengan LPB sebesar -24,55 dBm. LPB link backbone mendapatkan nilai terendah akibat jarak yang jauh dibanding link backbone lainnya dapat. Maka seluruh link pada perhitungan matematis memenuhi standart LPB yaitu -28 dBm [12].

1.1. Analisis hasil perhitungan terhadap Q-factor

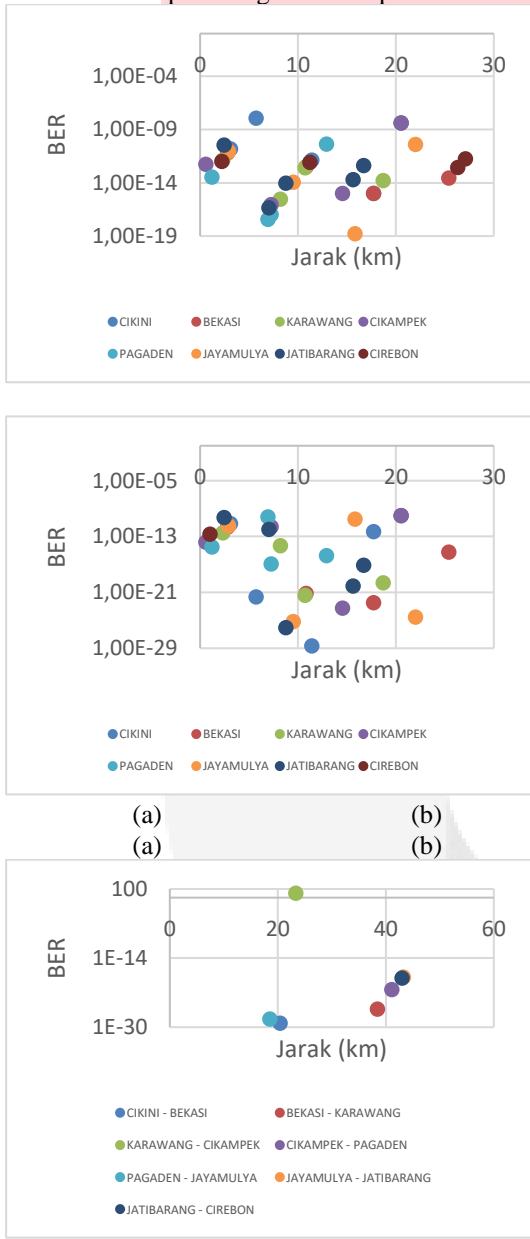


Gambar 0.2 Q-factor perhitungan (a) link downstream (b) link upstream (c) link backbone

Sebelum melakukan perhitungan, SNR perlu dihitung terlebih dahulu menggunakan persamaan (2.9) kemudian nilai Q-factor dihitung menggunakan (2.11). hasil perhitungan matematis Q-factor dapat dilihat pada Gambar 4.2. Nilai Q-factor dipengaruhi oleh nilai LPB dan SNR. Nilai Q-factor yang didapatkan pada hasil perhitungan berbanding lurus dengan nilai SNR dan LPB. Pada link downstream nilai terendah terjadi karena dipengaruhi oleh jarak link yang dekat serta

penggunaan *photodetector* dengan sensitifitas rendah jika dibandingkan dengan *link downstream* lainnya. Pada *link akses upstream* nilai terendah didapat karena jarak yang jauh dan perbedaan daya transmit serta penggunaan *photodetector*. Attenuator pada *link downstream* dan *upstream* berpengaruh besar karena mempengaruhi redaman. Dan pada sisi *backbone* nilai *Q-factor* terkecil didapat dari jarak *link backbone* yang jauh.

d. Analisis hasil perhitungan terhadap *Bit Error Rate*

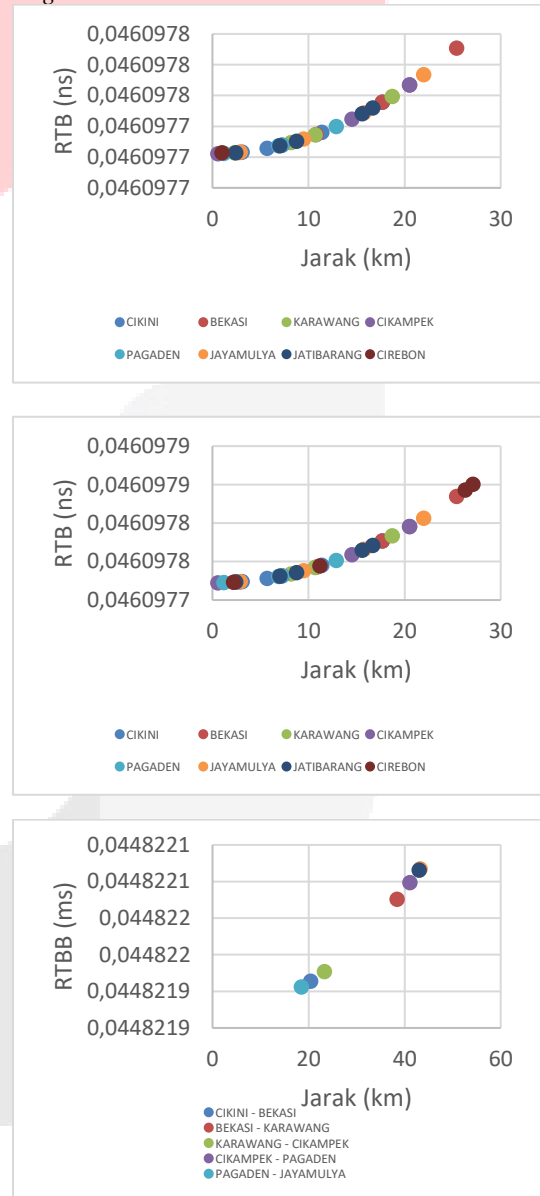


Gambar 0.3 BER perhitungan (a) *link downstream* (b) *link upstream* (c) *link backbone*

BER dapat dihitung menggunakan persamaan (2.12). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.3. Nilai BER berbanding terbalik dengan nilai *Q-factor*. Pada *link downstream* nilai BER terbesar terjadi karena 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. Pada jarak terdekat *link upstream* dan *downstream* nilai BER cukup besar dikarenakan pengaruh penggunaan daya serta *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^{-12} [10].

e. Analisis hasil perhitungan terhadap *Rise Time Budget*

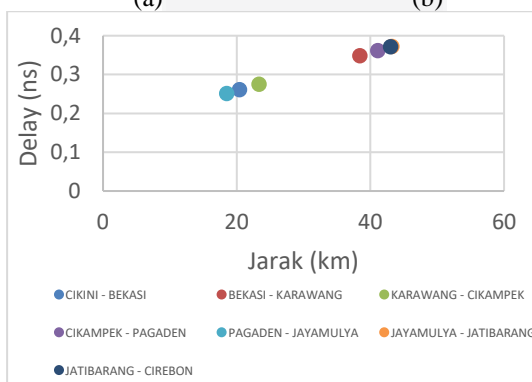
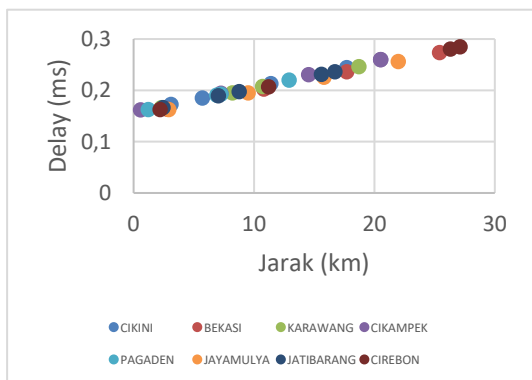
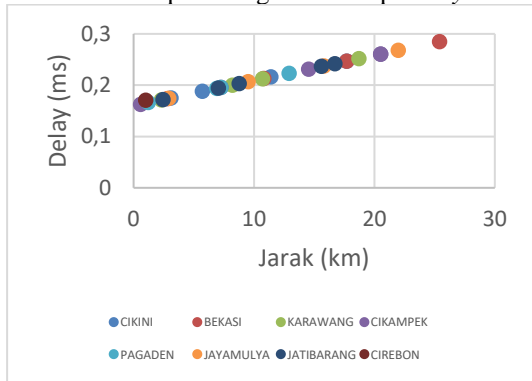


Gambar 0.4 RTB (a) *link downstream* (b) *link upstream* (c) *link backbone*

Perhitungan RTB menggunakan persamaan (2.7) dan (2.8). Hasil perhitungan dilihat pada Gambar 4.4. Besarnya RTB berbanding lurus dengan jarak. Semakin jauh jarak *link optik*, maka

akan semakin besar RTB. Nilai RTB terbesar yang dirasakan pada *link* terjauh diakibatkan karena jaraknya yang paling jauh diantara *link* lain. Namun, nilai RTB setiap *link* pada rancangan jaringan *backhaul* masih berada dalam standar.

f. Analisis hasil perhitungan terhadap Delay

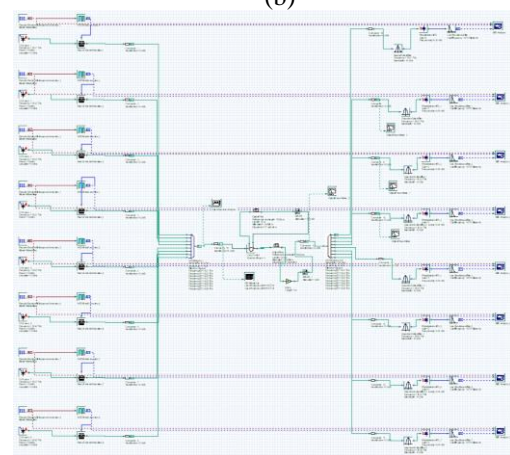
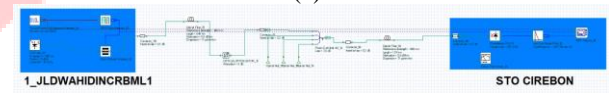
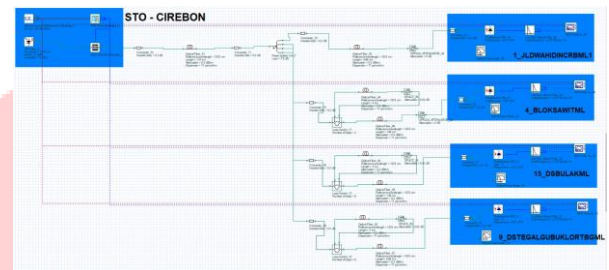


Gambar 0.5 Delay (a) *link downstream* (b) *link upstream* (c) *link backbone*

Perhitungan *delay* menggunakan persamaan (2.13) dan (2.14). hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.5. Besarnya *delay* berbanding lurus dengan jarak. Semakin jauh jarak *link* optik, maka akan semakin besar *delay*. Faktor *delay* yang paling mempengaruhi *delay* adalah panjang kabel optik dan panjang gelombang yang digunakan

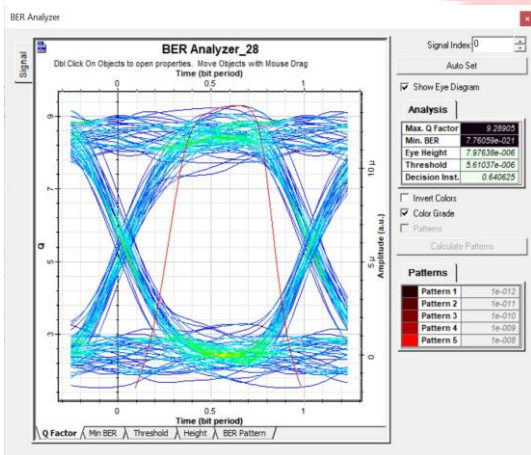
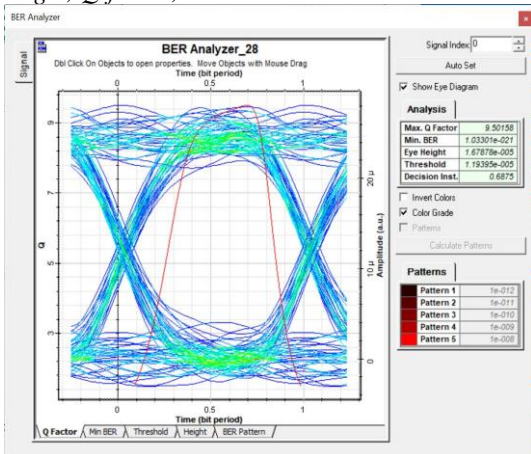
g. Model Sistem Simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak optik. Model simulasi pada *link backhaul* terbagi menjadi 3 bagian, *link downstream*, *link upstream*, dan *link backbone*. *Setup design* simulasi sistem dapat dilihat pada Gambar 4.6 merujuk pada STO CIREBON – *site 15_DSBULAKML*.



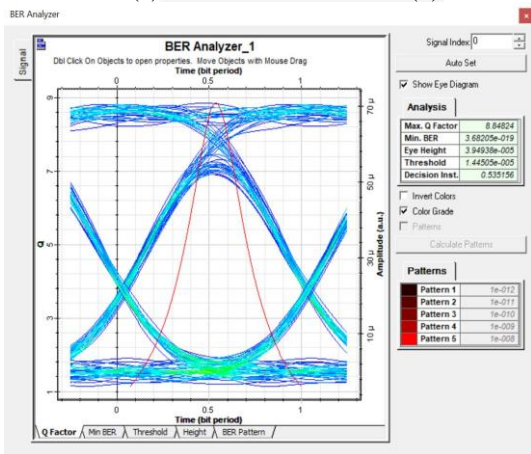
Gambar 0.6 *Setup design* simulasi (a) *link downstream* (b) *link upstream* (c) *link backbone*

h. Analisis hasil simulasi terhadap *Link Power Budget, Q-factor, BER*



(a)

(b)



(c)

Gambar 0.7 LPB, *Q-factor*, dan BER (a) *link* downstream (b) *link* upstream (c) *link* backbone

Simulasi yang dilakukan pada perangkat lunak optik berdasarkan Gambar 4.7. pada simulasi LPB pada gambar 4.7 (a), hasil Nilai LPB simulasi terendah pada *link* akses downstream diakibatkan jarak *link* yang pendek serta perbedaan penguat (M) pada sisi transmitter dibandingkan *link* akses downstream site lain. Pada *link* upstream nilai LPB

terendah diakibatkan karena jarak yang dekat dan daya transmit yang berbeda. perangkat attenuator mempengaruhi kinerja setiap *link*, karena daya yang digunakan berbeda-beda. 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 [12].

Kemudian *Q-factor* Hasil simulasi *Q-factor* menggunakan konfigurasi seperti pada Gambar 4.6 (a) untuk *link* downstream, sedangkan *link* upstream pada Gambar 4.6 (b), dan *link* backbone pada Gambar 4.6 (c). Pada simulasi *Q-factor* *link* downstream nilai tersebut terjadi karena dipengaruhi oleh jarak *link* yang dekat jika dibandingkan dengan *link* downstream lainnya. Pada *link* upstream nilai tersebut didapat karena jarak yang dekat dan perbedaan daya transmit. Jika diamati pada jarak terdekat *link* upstream dan downstream nilai *Q-factor* cukup besar karena terdampak oleh daya transmit. Pada sisi backbone nilai *Q-factor* terkecil didapatkan dari jarak *link* backbone yang terjauh.

Nilai BER terbesar pada *link* downstream adalah $5,05 \times 10^{-22}$ pada site 9_DSTEGALGUBUKLORTBGML. Pada *link* upstream nilai BER terbesar adalah $1,76 \times 10^{-24}$ pada site 15_DSULAML. Pada *link* backbone nilai BER terbesar berapa pada *link* STO PAGADEN - STO JAYAMULYA sebesar $1,57 \times 10^{-20}$. Nilai BER masih berbanding terbalik dengan memiliki *Q-factor* simulasi. Pada *link* downstream nilai BER terbesar terjadi karena faktor daya transmit serta jaraknya yang paling dekat dan paling jauh. Sedangkan nilai BER *link* upstream, dipengaruhi oleh jarak serta peran attenuator dan photodetector. Pada jarak terdekat *link* upstream dan downstream nilai BER cukup besar karena jarak tempuh yang dekat diantara *link* lainnya. Pada *link* backbone nilai terbesar didapat karena pengaruh jarak yang paling jauh diantara *link* backbone lainnya. Seluruh hasil perhitungan mulai dari LPB, *Q-factor*, dan BER memenuhi standar yang telah ditetapkan. Seluruh hasil simulasi memenuhi standar nilai yang ditetapkan. Untuk semua 8 STO serta site yang telah dirancang sebanyak 34 site, menunjukkan nilai yang berbeda dari perhitungan excel, hal tersebut dipengaruhi oleh pemilihan komponen serta pengaruh attenuator. *Link* backhaul serat optik untuk penumpang kereta cepat Jakarta – Surabaya jalur Jakarta – Cirebon.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dari hasil perancangan jaringan backhaul serat optik kereta cepat Jakarta – Surabaya sub Jakarta – Cirebon dengan kecepatan 160 km/jam untuk mendukung komunikasi 4G LTE penumpang kereta terdapat beberapa simpulan terkait parameter jaringan sebagai berikut :

1. Sistem jaringan menggunakan XG-PON 1 nilai *link* power budget (LPB) , *Q-factor*, BER. pada *link* downstream memiliki nilai

terendah sebesar -18,36 dBm dan untuk nilai *link upstream* terendah -19,62 dBm, sedangkan *link backbone* nilai terendah pada *link* STO PAGADEN – STO JAYAMULYA sebesar -23,67 dBm. Hal tersebut masih dalam batas dan memenuhi standar redaman.

2. Nilai *rise time budget* (RTB) pada *link downstream* dan *link upstream* memiliki nilai RTB terbesar untuk *link downstream* adalah 0.046097791 ns yang terjadi pada *link* yaitu STO BEKASI – *site* tambahan 9, sedangkan *link upstream* terbesar bernilai 0.04609785 ns yang terjadi juga pada *link site* 15_DSBULAKML - STO CIREBON dan *link backbone* terbesar bernilai 0.044822067 pada *link* STO JAYAMULYA – STO JATIBARANG.
3. *Delay* terbesar untuk *link downstream* adalah 1.569633952 ms yang terjadi pada *link* yaitu STO CIREBON – *site* 15_DSBULAKML, sedangkan *link akses upstream* terbesar bernilai 1.569123599 ms yang terjadi pada *link site* 15_DSBULAKML - STO CIREBON dan *link backbone delay* terbesar pada *link* STO JAYAMULYA – STO JATIBARANG adalah 0.37197164 ms. Nilai *delay* pada jaringan *backhaul* masih berada didalam standar 3GPP TS23.203.
4. Sistem jaringan *link backbone* menggunakan SDH STM-64 DWDM mendapatkan nilai terendah untuk parameter LPB, *Q-factor*, BER pada *link* STO PAGADEN – STO JAYAMULYA. Dengan nilai LPB -23,67 dBm, sedangkan nilai cukup besar *Q-factor* bernilai 11.08921015, dan BER $7,13 \times 10^{-29}$. nilai tersebut telah memenuhi standar parameter sehingga dapat direalisasikan

REFERENSI

- [1] B. P. Statistik, “Jumlah Penumpang Kereta Api (Ribu Orang) 2020”, 2020. Tersedia: [https://www.bps.go.id/indicator/17/72/2/ju](https://www.bps.go.id/indicator/17/72/2/jumlah-penumpang-kereta-api.html)
- [2] K. Agus. F, “Perancangan dan Analisis Jaringan Backhaul Serat Optik Untuk Komunikasi LTE Penumpang Kereta Cepat,” 2020.
- [3] R. L. Sina, E. S. Sugesti, and R. P. Astuti, “Analisis Coverage dan Handover Komunikasi LTE pada Kereta Cepat 160 km/jam JKT-SUB Track Jakarta Cirebon,” *e-Proceeding Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 3652-3659, 2019.
- [4] International Union of Railways, General Definitions of Highspeed, Paris (2012) <http://www.uic.org/spip.php?article971>
- [5] Indonesian Rail Law No 23/2007, Jakarta (2007)
- [6] V. Oktavia., N.M. Adriansyah., Hafidudin. “Core Network EPC Redimensioning 4G LTE di Wilayah Regional Sulawesi,” TEKTRIKA, Juli 2017.
- [7] E. Metsala and J. Salmelin, Mobile Backhaul, United Kingdom: Wiley, 2012.
- [8] B. Septianto, Perencanaan Evolved Packet Core Network 4G LTE di. Bandung, Bandung: Universitas Telkom, 2015.
- [9] ITU-T, “10-Gigabit-Capable Passive Optical Networks (XG-PON):General Requirements,” in ITU-R G Series: G.987.1, 2016.
- [10] G. Keiser, Optical Fiber Communication, McGraw-Hill, 2011.
- [11] 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.
- [12] ITU-T, “10-Gigabit-Capable Passive Optical Networks (XG-PON): Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification,” in ITU-T G Series: G.987.2, 2016.