

Analisis Perancangan Jaringan Backhaul Serat Optik Untuk Layanan Komunikasi Lte Penumpang Kereta Cepat Jakarta-Surabaya Sub Pekalongan-Cepu

Analysis Of Optical Fiber Backhaul Network Design For Passangers' Lte Communication Service On Jakarta-Surabaya High Speed Train Pekalongan-Cepu Section

1st Joses Steven Tarigan
Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia

josessteven@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Erna Sri Sugesti
Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia

ernasugesti@telkomuniversity.ac.id

3rd Rina Pudji Astuti
Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia

rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kereta api merupakan salah satu moda transportasi massal yang sangat digemari masyarakat daripada transportasi lainnya 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-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. Parameter delay pada link terjauh *downstream* yaitu 2,12274208 ms, sedangkan pada sisi *upstream* 2,12271064 ms. Parameter terendah LPB pada sisi *dowstream* bernilai -24,421 dBm, Q-factor 5,8221, BER $2,99 \times 10^{-9}$, dan RTB 0,046097796 ns. Nilai parameter terendah pada link akses *upstream* LPB -24,896 dBm, Q-factor 5,669152517, BER $7,39 \times 10^{-9}$ dan

RTB 0,046097843 ns. Pada sisi backbone nilai terendah LPB -26,09, Q-factor 6,425875721, BER $6,71 \times 10^{-11}$, dan RTB 0,046098000 ns.

Kata Kunci: Backhaul, LTE (Long Term Evolution), XGPON (10-Gigabit Passive Optical Network), STM-64

Abstract

The train is one of the most popular public transportation than other transportation. because the costs are relatively cheap, convenient and timely. Therefore, Indonesia will build fast train transportation facility on the Jakarta - Surabaya route with a speed of 140 km/hour at a frequency of 900 MHz. Optical backbone technology can be used in Synchronous Digital Hierarchy (SDH) STM-64 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM), access network technology using XG-PON and LTE (Long Term Evolution) core network technology using EPC. The design is made with parameters delay, power link budget, Q-factor, rise-time, SNR, AND BER with standard provisions of ITU-T G.987, ITU-T G696.1 AND 3GPP TS23.203. Delay parameter on the farthest downstream link which is

2.12274208 ms, while on upstream side is 2.12271064 ms. The lowest parameter of LPB on downstream side is -24,421 dBm, Q-factor 5.8221, BER 2.99 x 10-9, and RTB 0.046097796 ns. The lowest parameter value on LPB upstream access link is -24,896 dBm, Q-factor 5.669152517, BER 7.39 x 10-9 and RTB 0.046097843 ns. On the backbone side, the lowest value is LPB -26.09, Q-factor 6.425875721, BER 6.71 x 10-11, and RTB 0.046098000 ns.

Keywords: Backhaul, LTE (Long Term Evolution), XGPON (10-Gigabit Passive Optical Network), STM-64

I. PENDAHULUAN

Kereta api adalah salah satu moda transportasi yang sangat digemari masyarakat saat ini karena harga tiket yang relatif murah daripada transportasi udara dan waktu tempuh yang lebih cepat dari angkutan laut. Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat jumlah pengguna angkutan umum [1] yang menunjukkan bahwa jumlah pengguna kereta api pada 3 tahun terakhir lebih tinggi dari angkutan umum lainnya. Begitu juga dengan peningkatan pengguna angkutan umum kereta api yang signifikan. Data tersebut cukup membuktikan bahwa kereta api sangat digemari oleh masyarakat sampai saat ini. Selain itu di dalam kereta api terdapat layanan yang tidak ada di transportasi udara. Misalnya penumpang dapat menggunakan alat komunikasi atau alat elektronik lainnya. Di kereta api terdapat berbagai layanan untuk penumpang antara lain adanya daya listrik di tiap tempat duduk, layanan hiburan dan adanya layanan internet. Dengan layanan tersebut penumpang dapat menggunakan waktunya untuk melakukan berbagai hal selama diperjalanan.

Menurut Menteri perhubungan adanya proyek kereta cepat jalur Jakarta – Surabaya yang sedang berjalan. Kecepatan kereta tersebut adalah 160 km/jam, sehingga waktu yang diperlukan dalam perjalanan hanya 5,5 jam[2]. Dengan adanya kereta cepat tersebut tentunya akan bertambah pengguna layanan komunikasi seperti internet, Voice over IP (VoIP), dan video call di jalur tersebut. Karena meningkatnya kebutuhan layanan komunikasi tersebut, sehingga daya dukung jaringan LTE kurang memadai, masih terdapat blank spot, dan masih banyak masalah yang ditemukan ketika kereta cepat terealisasi. Khususnya di jalur Pekalongan – Cepu merupakan salah satu jalur yang akan dilewati kereta cepat Jakarta – Surabaya.

Tugas Akhir ini melakukan perancangan jaringan Backhaul serat optik yang terdiri dari EPC, akses, dan backbone untuk mendukung kebutuhan layanan komunikasi pada kereta cepat Jakarta – Surabaya jalur Pekalongan – Cepu dengan kecepatan 160 km/jam yang merupakan lanjutan dari Tugas

Akhir sebelumnya yang sudah mendesain jaringan LTE[3]. Dengan desain yang sudah ada, penelitian dilanjutkan pada perancangan backhaul dengan menggunakan teknologi 10 Gigabit Passive Optical Network (XGPON) dan perancangan Backbone menggunakan teknologi DWDM.

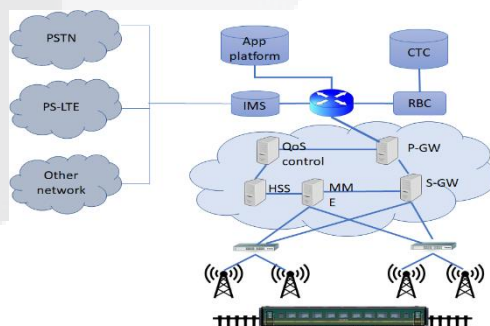
II. KAJIAN TEORI

a. Jaringan LTE untuk Komunikasi Kereta Api

LTE adalah sebuah nama proyek dari Third Generation Partnership Project (3GPP). Proyek ini dimulai pada November 2004 yang bertujuan untuk membuat evolusi jangka Panjang dari standar teknologi selular sebelumnya yaitu UMTS WCDMA [5]. Proyek ini juga merupakan generasi keempat (4G) yang merupakan pengembangan dari generasi sebelumnya yaitu 3G. Teknologi LTE ini dapat memberikan kecepatan akses data sebesar 300 Mbps untuk downlink dan 75 Mbps untuk uplink. Layanan layanan yang ditawarkan LTE merupakan full IP based.

Berdasarkan kebijakan pemerintah, diputuskan untuk mengembangkan sistem komunikasi kereta api LTE pada tahun 2010[4]. Pengembangan ini ditujukan untuk mendukung transmisi kecepatan tinggi dan fungsi baru seperti group communication, layanan data, quality of service, komunikasi searah, dan lain sebagainya.

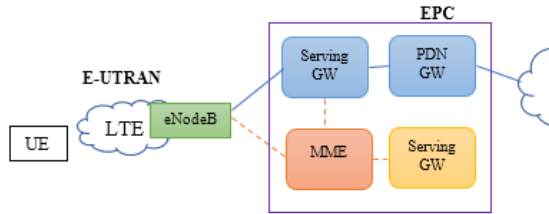
Gambar 1 [6] menunjukkan konfigurasi dari jaringan LTE untuk komunikasi kereta api yang terdiri dari radio access networks, LTE core system, application platforms dan Central Train Control (CTC) termasuk Radio Block Center (RBC)[6]. Radio access network terdiri dari Digital Unit (DU) dan Remote Radio Unit (RRU), LTE core system terdiri dari Qos control system, P-GW, S-GW, HSS dan MME[6].



Gambar 1. Konfigurasi Jaringan LTE pada kereta api[6].

b. Evolved Packet Core (EPC)

Evolved Packet Core (EPC) diperkenalkan pertama kali oleh 3GPP pada saat keluarnya *release 8*. EPC menangani muatan lalu lintas data secara efisien dari segi kinerja dan biaya. EPC merupakan evolusi dari arsitektur komunikasi seluler yang menggunakan *all-IP* yang dapat memungkinkan konektivitas dan peralihan ke teknologi lain, termasuk teknologi 3GPP dan 3GPP2 serta WIFI dan *fixed line broadband* seperti GPON. EPC memisahkan data pengguna (*user plane*) dan persinyalan (*control plane*).

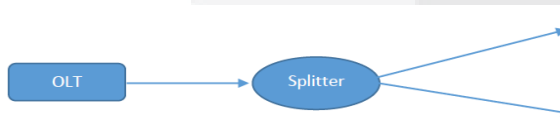


Gambar 2. Arsitektur EPC [7]

Gambar 2 [7] merupakan arsitektur EPC dengan UTRAN *access*. Gambar tersebut menunjukkan *User Equipment* (UE) terhubung ke EPC melalui E-UTRAN (jaringan akses LTE). *Evolved NodeB* (eNodeB) adalah *base station* LTE. EPC terdiri dari empat elemen jaringan yaitu *Serving Gateway* (*Serving GW*), *PDN Gateway* (*PDN GW*), *MME* dan *HSS*. EPC terhubung ke jaringan eksternal, yang dapat mencakup *IP Multimedia Core Network Subsystem* (*IMS*)[7].

c. Passive Optical Network

PON merupakan teknologi jaringan akses masa depan yang memiliki kesederhanaan konfigurasi dan konsumsi daya yang rendah. PON terdiri dari bagian utama seperti *Optical Line Termination* (OLT), *Optical Network Unit* (ONU) dan *Optical Network Distribution* (ODN) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 [8].



Gambar 3. Arsitektur PON [8]

GPON merupakan teknologi FTTH yang dapat mengirimkan informasi sampai ke pelanggan menggunakan kabel optik. prinsip kerja dari GPON dapat dilihat dari Gambar 3 [8], yaitu ketika data atau sinyal dikirimkan dari OLT, maka ada perangkat yang bernama *splitter* yang berfungsi untuk memungkinkan fiber optik tunggal dapat meneruskan ke berbagai ONU. ONU akan memberikan data dan sinyal yang diinginkan pelanggan. Pada prinsipnya, PON adalah

sistem *point to multipoint*, yang dimana menggunakan *splitter* sebagai pembagi jaringannya. Arsitektur sistem GPON berdasarkan pada *Time Division Multiplexing* (TDM).

d. XG-PON

XG-PON dikeluarkan dengan standar dari ITU-G.987 dengan nama lain *10-gigabit-capable* PON. Prinsip kerja dari XG-PON sama dengan prinsip kerja GPON, hanya ada pengembangan pada kapasitasnya saja, yaitu XGPON memiliki kapasitas *downstream* sebesar 10 Gbps dan kapasitas *upstream* sebesar 2.5 Gbps[9]. Komponen yang digunakan pada XGPON hampir sama dengan komponen yang digunakan pada teknologi GPON, hanya saja ada beberapa komponen yang harus diganti agar dapat mendukung teknologi XGPON ini. Perangkat XGPON masih memiliki fungsi yang sama, seperti contohnya pada OLT dan ONT.

e. XG-PON

Parameter analisis performasi merupakan cara untuk menentukan dan menyatakan ukuran performansi sistem komunikasi optik. Parameter tersebut diantaranya adalah *Bit error rate* (BER), *Q-factor*, *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dan *Rise Time Budget* (RTB). Kemudian ada Parameter *Link Power Budget* (LPB) untuk mengetahui total redaman *link* optik dari sumber hingga yang didapat penerima.

f. Parameter Analisis

- *Link Power Budget*

Link power budget (LPB) adalah parameter untuk mengetahui total redaman *link* optik mulai dari sumber hingga penerima. Tujuan *link power budget* adalah untuk memastikan daya *link* tidak kurang dari yang dibutuhkan [10]. *Link power budget* didapatkan dari redaman kabel, redaman *connector*, redaman *splice*, dan *margin system*. *Link power budget* dapat dihitung menggunakan persamaan (1) [10].

$$\alpha_{tot} = L \cdot \alpha_f + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + S_p + SM \tag{1}$$

- *Bit Error Rate*

Bit Error Rate (BER) adalah parameter yang dapat membandingkan rasio antara kesalahan atau kerusakan bit (*error*) dengan keseluruhan bit yang telah dikirimkan. Standar minimum nilai BER yaitu tidak melebihi 10^{-9} . Parameter ini memiliki hubungan dengan *Q-Factor*, dapat dilihat dari persamaan (2) [10]

$$BER = \frac{\exp(-\frac{Q^2}{2})}{Q\sqrt{2\pi}} \tag{2}$$

• **Signal to Noise Ratio**

SNR merupakan nilai perbandingan dari daya sinyal yang dikirimkan terhadap daya noise yang ada didalam sistem. Nilai SNR didapat menggunakan persamaan (3) [10].

$$SNR = \frac{\frac{m^2}{2} \cdot I_p^2 \cdot M^2}{2 \cdot q \cdot (I_p + I_D) \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot B_e + \frac{4 \cdot k_b \cdot T \cdot B_e}{R_L}} \tag{3}$$

• **Rise Time Budget**

Rise Time Budget (RTB) adalah kemampuan komponen sistem untuk menjamin bahwa sistem yang didesain dapat melayani bit rate transmisi yang dikirimkan. Pada NRZ anggaran rise time terpenuhi jika, rise time tidak melebihi 70% degradation transition time[10]. Nilai RTB didapat menggunakan persamaan (4) [10]. Dalam mencari nilai RTB terlebih dahulu perlu dicari nilai dispersi intramodal dengan menggunakan persamaan (5) dan (6).

$$T_{sys} = \sqrt{T_{tx}^2 + \sigma_{ia}^2 + \sigma_{ie}^2 + T_{rx}^2} \tag{4}$$

$$\sigma_{ch} = \Delta\sigma \cdot L \cdot D_m \tag{5}$$

$$\sigma_{wg} = \Delta\sigma \cdot L \cdot D_{wg} \tag{6}$$

• **Latency**

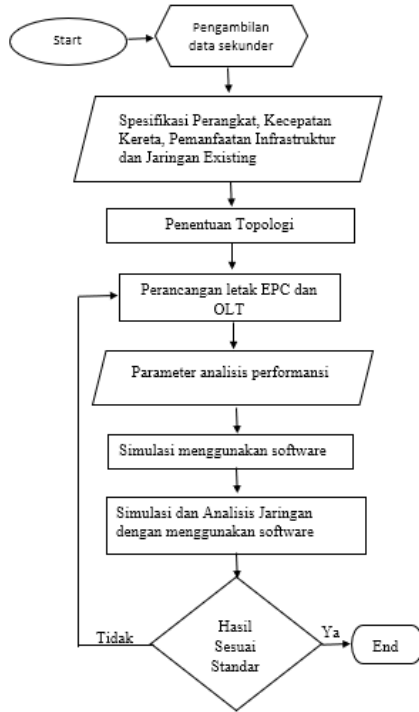
Latensi adalah delay yang dialami oleh sistem dan menggambarkan waktu yang dibutuhkan untuk mendapat data dari sisi pengirim ke sisi penerima [11]. Kabel fiber optik yang biasa digunakan untuk transmisi jaringan fiber optik yaitu single mode fiber (SMF). Parameter effective group index of refraction (η_{eff}) mempengaruhi delay pada SMF. Pada rekomendasi ITU-T G.652 η_{eff} untuk panjang gelombang 1310 nm adalah 1,4676 dan pada panjang gelombang 1550 nm adalah 1,4682[11]. Menghitung kecepatan cahaya pada kabel fiber optik (V_λ) setelah mengetahui η_{eff} dengan persamaan (7) [11]. Untuk komunikasi kabel optik jarak jauh biasanya menggunakan penguat Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA). EDFA dapat menguatkan sinyal pada

panjang gelombang 1530 – 1565 nm dan 1565 – 1605 nm. EDFA memiliki panjang 30m yg menambah delay sebesar 147 ns [11]. Selain itu Transponder dapat mengubah sinyal datang dari client ke sinyal yang sesuai untuk transmisi melalui link WDM dan sinyal datang dari link WDM ke sinyal yg sesuai client. Transponder memberikan delay sebesar 5-10 μ s untuk setiap buahnya [11]. Untuk meminimalisir penggunaan proses elektris pada kedua ujung koneksi fiber optik dapat menggunakan Forward error correction (FEC). Penggunaan FEC memberikan delay 15-150 μ s bergantung dari algoritma yang digunakan, coding gain, jumlah bit overhead dan proses waktunya [11]. Sebagai serialization delay atau network interface delay dimana mendeskripsikan berapa banyak waktu yang dibutuhkan untuk mengubah data bytes ke serial bit stream untuk ditransmisikan melalui kabel fiber optik disebut terjadinya delay.

$$V_\lambda = \frac{c}{\eta_{eff}} \tag{7}$$

g. Diagram Alir Perancangan Jaringan Backhaul

Diagram alir sistem merupakan proses perancangan sistem secara keseluruhan yang dibangun agar mudah dimengerti seperti pada Gambar 3.1. Dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini dimulai dengan pengambilan data sekunder yaitu pengambilan data berupa wilayah yang dilalui oleh kereta cepat, data jaringan existing, jumlah user dan data spesifikasi perangkat. Setelah didapatkan data sekunder maka dilakukan perhitungan yang mengacu pada parameter analisis performansi pada fiber optik. Apabila telah didapat hasil perhitungan, selanjutnya disimulasikan menggunakan software. Perhitungan yang didapat disesuaikan dengan parameter yang termasuk standar untuk performansi optik antara lain Q-factor, BER, SNR, dan RTB.



Gambar 4. Diagram Alir untuk Perancangan Backhaul

III. METODE

Perancangan jaringan menggunakan *software* Google earth. Perancangan ini dibuat berdasarkan standar dari teknologi DWDM dan XG-PON yang telah diuraikan. EPC di letakkan di kantor operator telekomunikasi nasional Semarang. EPC disambungkan ke setiap site yang telah dirancang menggunakan jaringan *backhaul* fiber optik yang terhubung dengan *backbone*. Hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 5. Dapat dilihat pada Gambar 3.6 bahwa setiap sentral memiliki sejumlah *eNodeB* yang dikelola dan setiap sentral yang bertetangga saling terhubung. Tabel 1 menunjukkan jarak link *backbone* dan Tabel 2 menunjukkan jarak link akses.



Gambar 5. Perancangan Jaringan Backhaul

No	Backbone Link	Jarak (km)
1	Indihome batang - Telkom Subah	25,9
2	Telkom Subah - Indihome Kendal	51,9
3	Indihome Kendal - STO Wifi monument	21,5
4	STO Wifi monument - STO Perundungan	16,2
5	STO Perundungan - Telkom Gubug	28,9
6	Telkom Gubug - Telkom Purwodadi	35,2
7	Telkom Purwodadi - Telkom Wirosari	39,7
8	Telkom Wirosari - Telkom Randublatung	43,3
9	Telkom Randublatung - STO Telkom Cepu	25,3

Tabel 1 Jarak Link Backbone

OLT	Site	Jarak[km]
Indihome batang	site 1	8,19
	site 2	3,72
	site 3	2,96
	site 4	10,53
Telkom Subah	site 5	9,89
	site 6	11,38
	site 7	19,23
	site 8	26,29
Indihome Kendal	site 9	17,16
	site 10	9,61
	Site 11	5,09
STO Wifi monument	Site 12	7,72
	Site 13	13,81
	Site 14	5,37
STO Perundungan	Site 15	6,73
	Site 16	10,8
	Site 17	6,81
Telkom Gubug	Site 18	8,87
	Site 19	10,12
	Site 20	4,95
	Site 21	3,07
Telkom Purwodadi	Site 22	8,83
	Site 23	18,2
	Site 24	13,28
	Site 25	8,36
Telkom Wirosari	Site 26	15,5
	Site 27	16,26
	Site 28	11,16
	Site 29	14,66
Telkom Randublatung	Site 30	18,2
	Site 31	10,55
	Site 32	4,23
	Site 33	8,34
STO Telkom Cepu	Site 34	15,72
	Site 35	10,32
	Site 36	7,58

Tabel 2 Jarak Link Akses

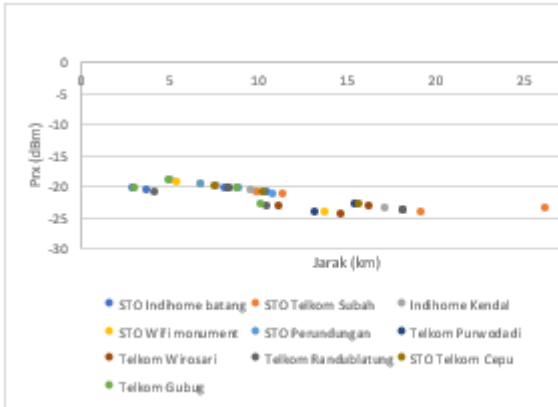
a. Hasil Perhitungan Parameter

Parameter LPB, Q-factor, BER, RTB, dan *delay* dihitung berdasarkan nilai terendah rancangan pada Gambar 5. Link akses *downstream* memiliki nilai LPB, Q-factor, BER, RTB terendah pada link terjauhnya yaitu STO Subah – Site 8 sepanjang 26,29 km dengan nilai LPB sebesar -24,123 dBm, Q-factor 5,822, BER $2,99 \times 10^{-9}$, RTB 0,046097796 ns, *delay* 0,289063 ms. Sedangkan pada *upstream* nilai LPB -24,896 dBm, Q-factor 5,699, BER $7,39 \times 10^{-9}$, RTB 0,046097843 ns, *delay* 0,28901068 ms. pada *backbone* mendapatkan nilai terendah untuk parameter LPB 26,09 dBm, Q-

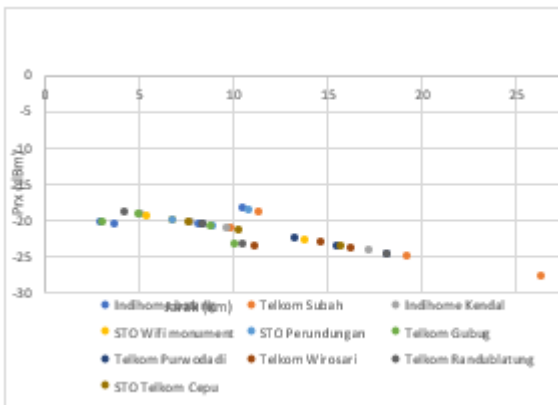
factor 6,425, BER $6,71 \times 10^{-11}$, RTB 0,046098 ns, delay 0,4143986 ms

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

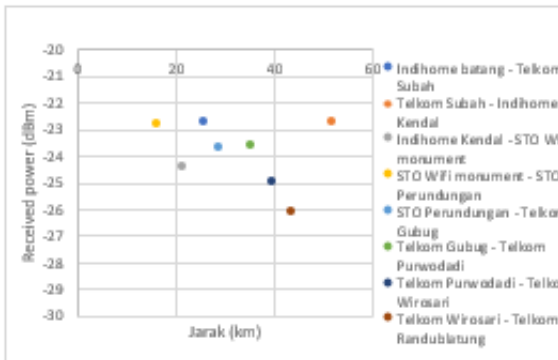
a. Analisis LPB Berdasarkan Perhitungan



Gambar 6. LPB Perhitungan Downstream



Gambar 7. LPB Perhitungan Upstream



Gambar 8. LPB Perhitungan Backbone

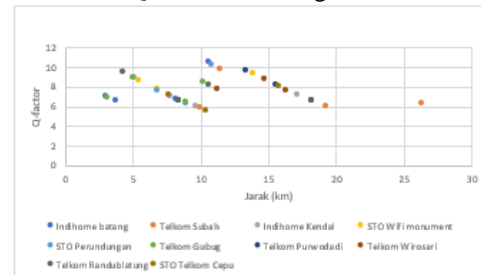
Nilai LPB terendah pada Gambar 6 link akses downstream diakibatkan jarak link yang cukup jauh dan juga disebabkan attenuator yang dipasang cukup besar yaitu 7dB. Pada Gambar 7 link akses upstream nilai terendah diakibatkan jarak link yang paling jauh

dibandingkan link akses upstream lainnya dan juga terdapat tambahan attenuator. Sama halnya dengan LPB link backbone yang memiliki nilai terendah diakibatkan jarak link yang cukup jauh dan adanya tambahan attenuator dapat dilihat pada Gambar 8. Meskibegitu, selirih link pada perhitungan matematis memenuhi standar LPB yaitu -28 dBm.

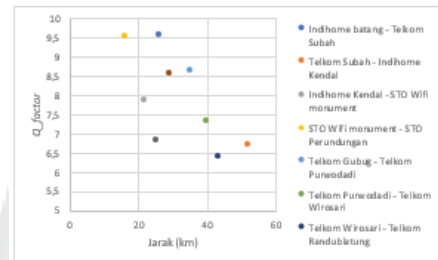
b. Analisis Q-factor Berdasarkan Perhitungan



Gambar 9. Q-factor Perhitungan Downstream



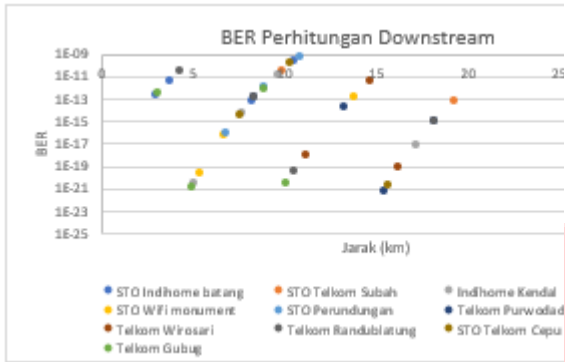
Gambar 10. Q-factor Perhitungan Upstream



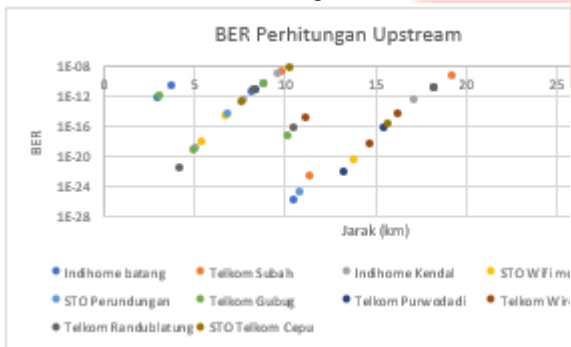
Gambar 11. Q-factor Perhitungan Backbone

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 akses downstream nilai terendah terjadi karena dipengaruhi oleh jarak link yang cukup jauh dan daya receiver yang diterima photodetector. Demikian juga yang terjadi pada nilai Q-factor link akses upstream. Pada sisi backbone nilai terendah dipengaruhi oleh jarak link backbone yang cukup jauh dan nilai attenuator yang besar.

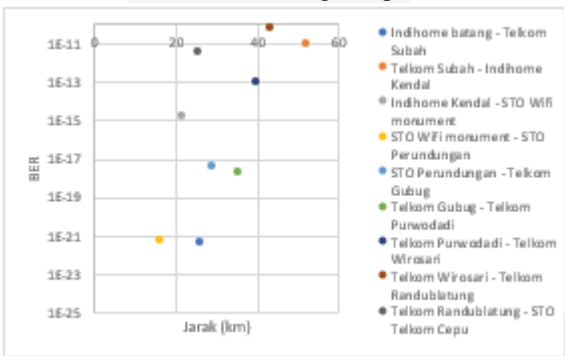
c. Analisis BER Berdasarkan Perhitungan



Gambar 12. BER Perhitungan Downstream



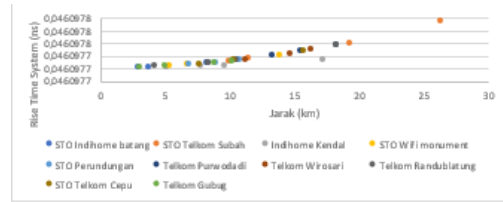
Gambar 13 BER Perhitungan Upstream



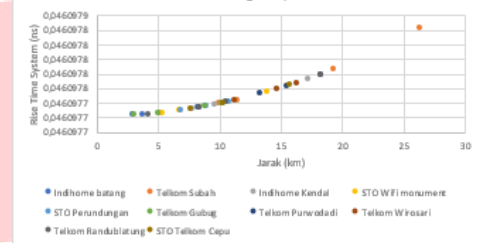
Gambar 14 BER Perhitungan Backbone

Nilai BER berbanding terbalik dengan nilai *Q-factor*. Pada link akses *downstream* nilai BER terbesar terjadi karena dipengaruhi jarak yang cukup jauh dan nilai attenuator yang cukup besar. Sedangkan, nilai BER terbesar pada link akses *upstream* terjadi karena jarak yang cukup jauh dan perbedaan daya transceiver yang diterima. Pada link *backbone* nilai terbesar didapatkan karena pengaruh jarak yang jauh dan adanya attenuator yang cukup besar. Namun, seluruh link memenuhi standar nilai BER yaitu 10^{-9}

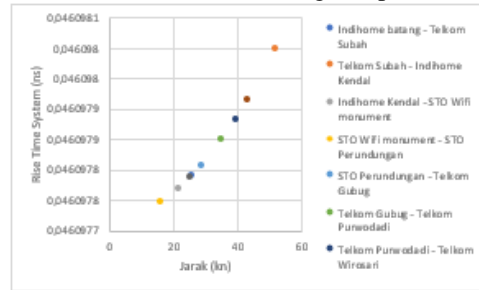
d. Analisis RTB Berdasarkan Perhitungan



Gambar 15 RTB Perhitungan Downstream



Gambar 16 RTB Perhitungan Upstream

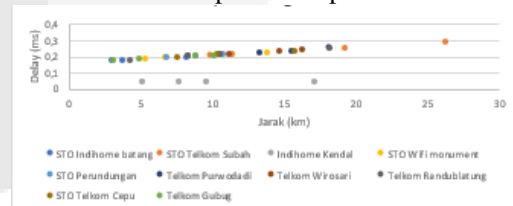


Gambar 17 RTB Perhitungan Backbone

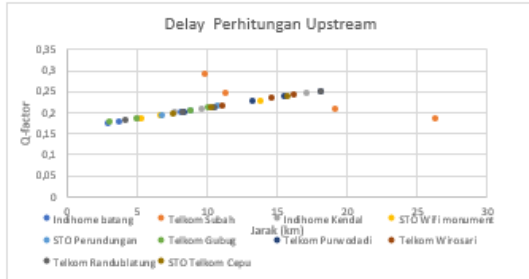
Besarnya RTB berbanding lurus dengan jarak. Semakin jauh jarak link optik, maka akan semakin besar RTB. Nilai RTB terbesar yang dirasakan pada link terjauh diakibatkan karena jaraknya yang paling jauh diantara link lain. Namun, nilai RTB setiap link pada rancangan jaringan *backhaul* masih berada dalam standar.

e. Analisis Delay Berdasarkan Perhitungan

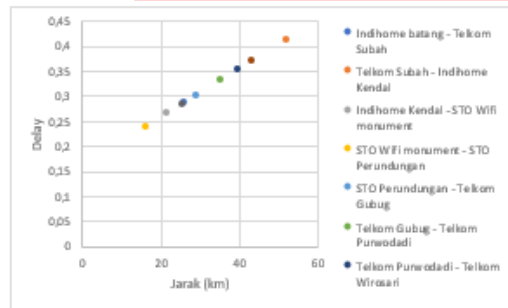
Hasil perhitungan *delay* untuk link akses *downstream* dapat dilihat pada gambar 18, sedangkan untuk link akses *upstream* dapat dilihat pada Gambar 19, dan link *backbone* dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 18 Delay Perhitungan Downstream



Gambar 19 Delay Perhitungan Upstream

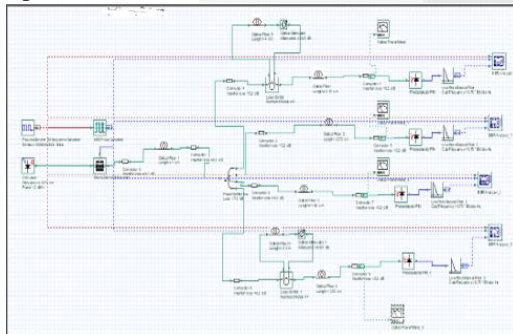


Gambar 20 Delay Perhitungan Backbone

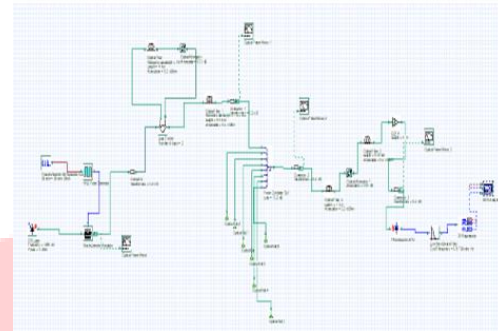
Dengan memperhatikan nilai parameter LPB, *Q-factor*, BER, RTB dan *delay* dapat diketahui bahwa seluruh link pada jaringan *backhaul* yang telah dirancang dan dihitung menggunakan persamaan – persamaan yang telah disebutkan. Desain jaringan *backhaul* memenuhi standar, baik itu pada sisi link akses *downstream*, link akses *upstream*, maupun link *backbone*.

f. Model Sistem Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak optik. Model simulasi pada link *backhaul* terbagi menjadi tiga bagian, link akses *downstream*, link akses *upstream* dan link *backbone*. *Setup* simulasi sistem pada perangkat lunak optik dapat dilihat pada Gambar 21, Gambar 22, dan Gambar 23



Gambar 21. Setup Simulasi downstream



Gambar 22. Setup Simulasi Upstream

V. KESIMPULAN

Rancangan Jaringan *Backhaul* serat optik untuk layanan komunikasi LTE kereta cepat Jakarta – Surabaya sub Pekalongan – Cepu memenuhi seluruh parameter dan dapat digunakan untuk mendukung layanan komunikasi LTE pada penumpang. Terdapat simpulan terkait parameter rancangan jaringan *backhaul* sebagai berikut :

1. Nilai rise time budget (RTB) untuk link akses *downstream* terbesar 0,046097796 ns yang terjadi pada link terjauh yaitu STO Subah – Site 8, sedangkan link akses *upstream* terbesar bernilai 0,046097843 ns yang terjadi juga pada link yang sama dan link *backbone* sebesar 0,046098 ns yang terjadi pada link STO Telkom Subah - Indhome Kendal. Nilai parameter tersebut sudah memenuhi standar untuk dirancang dan digunakan
2. Nilai *delay* terbesar terbesar untuk link akses *downstream* adalah 0,289063 ms yang terjadi pada link terjauh yaitu STO Subah – Site 8, sedangkan link akses *upstream* terbesar bernilai 0,28901068 ms yang terjadi juga pada link yang sama. Nilai total *delay* pada perancangan jaringan LTE kereta cepat telah memenuhi standar sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan layanan terhadap penumpang
3. Sistem jaringan XG-PON1 pada link akses *upstream* dan *downstream* telah memiliki parameter dengan nilai terendah. Pada *upstream* nilai LPB -24,896 dBm, *Q-factor* 5,699 , BER $7,39 \times 10^{-9}$ dan pada *downstream* nilai LPB -24,123 dBm, *Q-factor* 5,822, BER $2,99 \times 10^{-9}$. Nilai tersebut sudah dapat direalisasikan
4. Sistem pada *backbone* menggunakan SDH STM-64 DWDM mendapatkan nilai

terendah untuk parameter LPB 26,09 dBm, Q-factor 6,425, BER $6,71 \times 10^{-11}$. Nilai parameter pada backbone telah memenuhi standar dan dapat direalisasikan.

REFERENSI

- [1] G. Ringkang, "Benarkah Penumpang Pesawat Beralih ke Moda Angkutan Lain?," [Online]. Available: <https://tirto.id/benarkah-penumpang-pesawat-beralih-ke-moda-angkutan-lain-dihg>. [Accessed 8 November 2019].
- [2] M. C. Anwar, "Sah! Proyek Kereta Cepat JKT-SBY Dimulai," [Online]. Available: <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190924204435-4-101984/sabar-yah-kereta-cepat-jkt-sby-baru-keluar-2025> [Accessed 8 November 2019].
- [3] K. Nina, Desain Jaringan Komunikasi LTE Untuk Penumpang Kereta Cepat 140 km/jam Jakarta-Surabaya Jalur Pekalongan-Cepu, Bandung: Universitas Telkom, Buku Tugas Akhir, 2019.
- [4] A. C. Sutandi, "Kereta Api Cepat di Indonesia Sebagai Transportasi Massal," in *Kereta Api Indonesia, Transportasi Massal*, Bandung, Unpar Press, 2016, pp. 2-7.
- [5] J. Wiley, The LTE-Advanced, United Kingdom: Wiley, 2016.
- [6] ITU-R, "Introduction to railway communication systems," *M.2395-0*, vol. 0, 2016.
- [7] F. Firmin, "The Evolved Packet Core," 3GPP, [Online]. Available: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core>. [Accessed 8 November 2019].
- [8] E. Mohammed Ahmed, Next Generation Passive Optical Network Stage Two, Gaza: The Islamic University, 2014.
- [9] ITU-T, "ITU-T G.987.1," *10-Gigabit-capable Passive Optical Networks Gen. Requir.*, vol. 97, pp. 187-221, 2016.
- [10] G. Keiser, Optical Communications Essential (Professional), Professional penyunt., USA: McGraw-Hill Companies, 2003.
- [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] Telkom Indonesia, "Domestic Ethernet," [Online]. Available: https://www.telkom.co.id/sites/wholesale/id_ID/page/domestic-ethernet-721. [Accessed 14 February 2022].
- [13] S. Kartalopoulos, Next Generation Intelligent Optical Networks From Access to Backbone, New York, USA: Springer, 2008
- [14] 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.