

Perancangan Jaringan *Last-Mile* ENodeB dan ODP Berbasis Fiber Optik Di Kecamatan Panjalu, Ciamis, Jawa Barat

1st Fauzi Muhammad Iqbal
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
fauzimuhammadiqbal@student.telkomu
niversity.ac.id

line 1: 2nd Ir. Akhmad Hambali, M.T.
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ahambali@telkomuniversity.ac.id

3rd M. Irfan Maulana, S.T., M.T.
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
muhammadirfanm@telkomuniversity.a
c.id

Abstrak — Zaman sekarang masyarakat sangat bergantung pada internet sebagai salah satu sumber informasi dan komunikasi. Sudah seharusnya pembangunan layanan akses internet di Indonesia dilakukan secara adil dan merata bagi seluruh masyarakat di berbagai pelosok negeri, khususnya *last-mile network*. *Last-mile network* merupakan istilah pada jaringan akses internet yang berada paling ujung dan paling dekat dengan pelanggan. Salah satu daerah yang belum merasakan manfaat akses internet *last-mile* secara optimal dan merata adalah Kecamatan Panjalu. Tujuan Penelitian ini adalah membuat rancangan jaringan *last-mile* dengan eNodeB dan ODP berbasis fiber optik yang menunjang layanan akses internet di Kecamatan Panjalu. Perancangan jaringan *last-mile* dilakukan berdasarkan *capacity planning* untuk meniadakan jumlah eNodeB dan menentukan target user bangunan instansi atau rumah sebagai penentu jumlah ODP yang dibutuhkan. Selanjutnya membuat rancangan *link* akses dengan menentukan titik STO terdekat yang dihubungkan dengan OLT Kecamatan Panjalu menggunakan fiber optik STM-64. Kemudian OLT akan dihubungkan ke eNodeB dan ODP dengan fiber optik GPON. Hasil simulasi performansi perancangan *last-mile network* memenuhi semua parameter kelayakan performansi dan pada link akses terjauh yaitu *last-mile* ODP 17 downstream dengan jarak 9,24 Km memperoleh nilai *power received* sebesar -20,757 dBm, nilai Q-factor sebesar 7,2707 dan nilai BER sebesar $1,786 \times 10^{-13}$.

Kata kunci — eNodeB, GPON, *Last-Mile*

I. PENDAHULUAN

Zaman sekarang masyarakat sangat bergantung pada jaringan internet sebagai salah satu sumber informasi dan komunikasi. Sudah seharusnya pembangunan akses internet di Indonesia dilakukan secara adil dan merata bagi seluruh masyarakat di berbagai pelosok negeri, karena semua masyarakat Indonesia memiliki kesamaan hak untuk mendapatkan fasilitas layanan akses internet khususnya *last-mile network*. *Last-mile network* merupakan istilah pada suatu jaringan akses internet yang berada paling ujung dan paling dekat dengan pelanggan [1]. Salah satu daerah yang belum merasakan manfaat jaringan akses internet *last-mile*

secara optimal dan merata adalah Kecamatan Panjalu, Ciamis, Jawa Barat. Di Kecamatan Panjalu terdapat banyak tempat wisata alam. Mayoritas perekonomian masyarakat Kecamatan Panjalu bergerak di sektor pertanian, peternakan dan perikanan. Era pandemi Covid-19 saat ini menjadikan pelajar harus melakukan pembelajaran secara daring. Oleh karena itu, perlunya optimasi dan pemerataan layanan akses internet di Kecamatan Panjalu, sehingga dapat meningkatkan kualitas dari tiga aspek bidang utama yaitu pendidikan, perekonomian dan wisata yang berpotensi untuk berkembang ketika di bantu dengan layanan akses internet sebagai sarana pembelajaran *online*, perdagangan *online* dan terlayannya wisatawan yang datang dengan akses internet.

II. KAJIAN TEORI

A. Long Term Evolution (LTE)

LTE merupakan nama teknologi internet *Fourth Generation* (4G) yang dibuat oleh 3GPP sebagai pengembangan teknologi *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) yang dapat menjadi solusi dari kebutuhan layanan akses internet di masa sekarang [2]. LTE juga mempunyai arsitektur *Internet Protocol* (IP) sehingga membuat kecepatan akses internet lebih cepat dari arsitektur *circuit-switching* yang dipakai di generasi sebelumnya [2]. Seperti generasi sebelumnya, kecepatan transmisi data internet pada teknologi LTE juga di pengaruhi oleh banyak faktor, anatara lain faktor internal seperti *bandwidth* dan *power signal*, lalu faktor eksternal seperti *User Equipment* (UE), kondisi geografis dan iklim cuaca [2].

B. Last-Mile Network

last-mile network merupakan istilah pada suatu jaringan akses internet yang berada paling ujung dan paling dekat dengan pelanggan, contohnya adalah eNodeB atau ODP sebagai bagian akhir dari arsitektur jaringan akses internet. *Last-mile network* menghubungkan antara *central office* sampai ke *end user* [1].

C. Fiber Optik

Fiber optik adalah suatu *filament* atau *material* yang bahan utamanya terbuat dari serat kaca dengan teknologi canggih dan memiliki diameter kurang lebih 120 mikrometer [3]. Fiber optik dipakai sebagai media transmisi jarak jauh yang mampu mencapai lebih dari 50 kilometer tanpa memerlukan perangkat bantuan penguat sinyal (*repeater*) dan mampu mentransmisikan lebih banyak sinyal dalam bentuk pulsa cahaya (komunikasi *voice* atau data) [3].

D. Gigabyte Passive Optical Network (GPON)

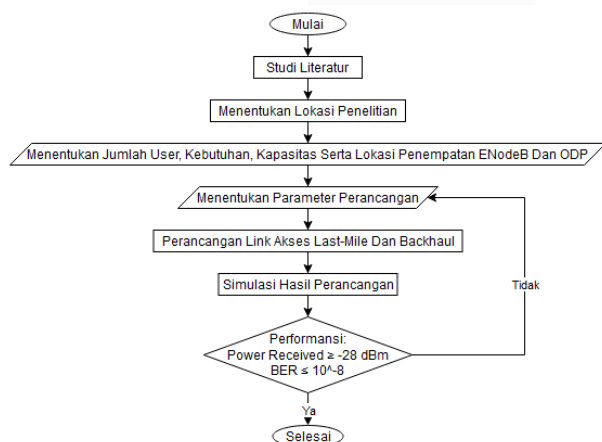
GPON adalah teknologi optik pasif berkemampuan gigabit, merupakan topologi *point-to-multipoint* yang mendistribusikan data internet dari *Optical Line Termination* (OLT) hingga sampai ke *Optical Network Unit* (ONU) dengan *feeder* fiber [4]. GPON memiliki standarisasi di dalam ITU-T G.984.x yang memiliki kecepatan data *downstream* sebesar 2,488 Gbps sampai 10 Gbps dalam keadaan maksimum dan *upstream* sebesar 1,244 Gbps sampai 2,5 Gbps dalam keadaan maksimum [5].

E. Synchronous Transport Module Level 64 (STM-64)

STM-64 merupakan struktur paling tinggi didalam teknologi *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) yang mampu melayani kecepatan data internet hingga 10 Gbps, sehingga dapat memenuhi kapasitas dalam mentransmisikan data internet dengan jumlah besar dan handal [6].

III. METODE

A. Metode Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Tahap pertama yang dilakukan adalah studi literatur dari penelitian terdahulu. Tahap kedua adalah penentuan lokasi penelitian yang berlokasi di Kecamatan Panjalu. Tahap ketiga adalah pengumpulan data-data, selanjutnya melakukan perhitungan jumlah *user* untuk menentukan jumlah, kapasitas dan lokasi penempatan eNodeB dan ODP. Tahap keempat adalah menentukan parameter dalam perancangan seperti fiber optik, *transmitter*, *receiver* dan parameter umum lainnya. Tahap kelima adalah perancangan *link akses last-mile network* dan *backhaul*. Tahap keenam adalah melakukan simulasi perancangan dengan *software optisystem7*. Tahap terakhir adalah penentuan apakah rancangan memenuhi kelayakan performansi atau tidak, jika perancangan

memenuhi performansi maka perancangan berhasil dan selesai.

B. Capacity Planning

Perancangan berdasarkan *capacity planning* sangat diperlukan dalam perancangan jaringan *last-mile* eNodeB untuk mendapatkan jumlah *site* yang memenuhi kebutuhan kapasitas. Tahapan yang perlu dilakukan yaitu:

a. Prediksi Jumlah User

Perancangan jaringan akses internet harus mampu memenuhi kebutuhan *traffic user* yang meningkat dalam beberapa tahun ke depan. Jumlah penduduk suatu daerah dapat diperkirakan untuk beberapa tahun mendatang dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$P_n = P_o(1 + Gf)^n, \quad (1)$$

Kemudian dilanjutkan dengan prediksi Jumlah pengguna LTE dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$Total\ User = P_n \times A \times B \times C, \quad (2)$$

Selanjutnya adalah penghitungan *user density* untuk menentukan jumlah *user* per kilometer persegi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$User\ Density = \frac{Jumlah\ Penduduk \times Persen\ Usia\ Produktif \times Market\ Share}{Luas\ Area}, \quad (3)$$

b. Throughput Demand

Pertama yaitu mencari nilai dari *throughput per session*. Untuk mendapatkan nilai *throughput per session* dapat dicari dengan persamaan [7]:

$$\frac{Throughput}{Session} = BR \times ST \times SDR \times \left(\frac{1}{1 - BLER} \right), \quad (4)$$

kedua yaitu mencari nilai total *throughput* dari seluruh *user* disertai dengan pertimbangan berbagai *service model parameters*. *service model parameters* dapat dilihat di tabel berikut:

Tabel 2 Service Model Parameters

Traffic Parameters	Uplink (UL)				Downlink (DL)			
	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BL ER	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BL ER
VoIP	26.90	80	0.4	1%	26.90	80	0.4	1%
Video Phone	62.53	70	1	1%	62.53	70	1	1%
Video Conference	62.53	1800	1	1%	62.53	1800	1	1%
Real Time Gaming	31.26	1800	0.2	1%	125.06	1800	0.4	1%
Streaming Media	31.26	3600	0.05	1%	250.11	3600	0.95	1%
IMS Signalling	15.63	7	0.2	1%	15.63	7	0.2	1%
Web Browsing	62.53	1800	0.05	1%	250.11	1800	0.05	1%
File Transfer	140.69	600	1	1%	750.34	600	1	1%
Email	140.69	50	1	1%	750.34	15	1	1%
P2P File Sharing	250.11	1200	1	1%	750.34	1200	1	1%

Dengan adanya *service model parameters*, maka nilai *single user throughput* dapat dicari dengan menggunakan persamaan [7]:

$$SUT_{UL/DL} = \frac{\sum \frac{\text{Throughput}_{\text{session}}}{3600} \times BSA \times \text{Pen.Ratio} \times (1 + \text{PeakToAverageRatio})}{3600} \quad (5)$$

Tabel 2 Model Traffic Parameters

User Behavior	Dense Urban		Urban		Sub Urban		Rural	
	Penetration Ratio	BH SA	Penetration Ratio	BH SA	Penetration Ratio	BH SA	Penetration Ratio	BH SA
VoIP	100%	1,4	100%	1	50%	1	50%	0,9
Video Phone	20%	0,2	20%	0,1	20%	0,1	20%	0,0
Video Conference	20%	0,2	15%	0,1	10%	0,1	5%	0,0
Real Time Gaming	30%	0,2	20%	0,2	10%	0,1	5%	0,1
Streaming Media	15%	0,2	15%	0,1	15%	0,1	15%	0,1
IMS Signalling	40%	0,5	40%	4	40%	3	40%	3
Web Browsing	100%	0,6	100%	0,4	100%	0,3	100%	0,2
File Transfer	20%	0,3	20%	0,2	20%	0,2	20%	0,2
Email	10%	0,4	10%	0,3	10%	0,2	10%	0,1
P2P File Sharing	20%	0,2	20%	0,3	20%	0,2	20%	0,1

Selanjutnya yaitu mencari nilai total *throughput uplink* dan *downlink* semua *user* di daerah penelitian dengan menggunakan persamaan [7]:

$$\text{Network throughput} = \text{Total user} \times SUT, \quad (6)$$

c. Cell Capacity

Cell capacity atau *cell throughput* merupakan nilai *throughput* dari sebuah sel. *cell throughput* dapat dicari dengan menggunakan persamaan [7]:

$$\text{Cell Throughput}_{UL} = (168-24) \times CB \times CR \times Nrb \times C \times (1000-CRC), \quad (7)$$

$$\text{Cell Throughput}_{UL} = (168-36-12) \times CB \times CR \times Nrb \times C \times (1000-CRC), \quad (8)$$

Dengan adanya nilai *cell throughput* maka jumlah sel dapat dicari dengan menggunakan persamaan [7]:

$$\text{JumlahSel} = \frac{\text{Network Throughput}}{\text{Cell Throughput}}, \quad (9)$$

C. Penentuan Jumlah ODP

Penentuan jumlah ODP pada penelitian ini berdasarkan pada jumlah instansi pendidikan, pemerintahan, kesehatan dan 5% dari jumlah rumah yang akan menjadi target *user* ODP di Kecamatan Panjalu.

D. Kelayakan Performansi

a. Power Link Budget (PLB)

Link power budget adalah redaman total yang diterima suatu jaringan fiber optik dari sumber hingga sampai ke [8]. *Link power budget* dapat dihitung dengan persamaan berikut [8]:

$$\alpha_{tot} = (L \times \alpha_{FO}) + (N_C \times \alpha_C) + (N_S \times \alpha_S) + \alpha_{sp} + SM, \quad (10)$$

b. Power Received

Power Received merupakan daya terima sinyal *input* yang mengalami *attenuation* dan dapat dihitung dengan persamaan berikut [8]:

$$PRx = PTx - \alpha_{Total}, \quad (11)$$

c. Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR merupakan tingkat perbandingan daya sinyal dengan daya *noise* pada sistem dalam satuan dB. SNR dapat dihitung dengan persamaan berikut [8]:

$$SNR = \frac{(P_{Rx}RM)^2}{2 \cdot q \cdot P_{Rx} \cdot RM^2 \cdot F(M) \cdot B_e + \frac{4 \cdot K_B \cdot T \cdot B_e}{RL}} \quad (12)$$

d. Q-Factor

Q-factor adalah faktor kualitas berupa nilai yang menentukan performansi baik atau buruknya suatu sistem [8]. *Q-factor* dapat dihitung dengan persamaan berikut [8]:

$$Q = \frac{10 \cdot \frac{SNR}{20}}{2}, \quad (13)$$

e. Bit Error Rate (BER)

BER merupakan perbandingan rasio antara *bit* yang dikirimkan secara keseluruhan dengan *bit error*. BER dapat dihitung dengan persamaan berikut [8]:

$$BER = \frac{EXP(-\frac{Q^2}{2})}{Q\sqrt{2\pi}}, \quad (14)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Jumlah ENodeB Yang Dibutuhkan

Dengan menggunakan metode *capacity planning* maka jumlah *user* untuk kebutuhan layanan dalam beberapa tahun ke depan dapat prediksi. Dengan didapatkannya prediksi jumlah *user* maka nilai *network throughput* dan jumlah *eNodeB* yang dibutuhkan untuk perancangan dapat diketahui.

Tabel 3 Network Throughput

Total Target User	SUT Uplink	SUT Downlink	Network Throughput Uplink (Kbps)	Network Throughput Downlink (Kbps)
9.515	5,89	23,58	56.043,35 (56,043 Mbps)	224.363,7 (224,364 Mbps)

Setelah nilai *network throughput* didapatkan, kemudian jumlah sel dan site *eNodeB* yang di butuhkan dapat dicari sebagai berikut:

$$\text{JumlahSel} = \frac{\text{Network Throughput}}{\text{Cell Throughput}}$$

➤ Jumlah Sel pada sisi *uplink* pada Kecamatan Panjalu:

$$\text{JumlahSel} = \frac{56,043}{9,963} = 5,625 = 6 \text{ sel.}$$

$$\text{JumlahSite} = \frac{\text{JumlahSel}}{3} = \frac{6}{3} = 2 \text{ site.}$$

➤ Jumlah Sel pada sisi *downlink* pada Kecamatan Panjalu:

$$\text{JumlahSel} = \frac{224,364}{16,605} = 13,512 = 14 \text{ sel.}$$

$$\text{JumlahSite} = \frac{\text{JumlahSel}}{3} = \frac{14}{3} = 4,667 = 5 \text{ site.}$$

B. Jumlah ODP Yang Dibutuhkan

Berikut adalah jumlah target *user* ODP berdasarkan jumlah instansi pendidikan, pemerintahan, kesehatan dan 5% dari jumlah rumah/keluarga yang menjadi target *user* ODP di

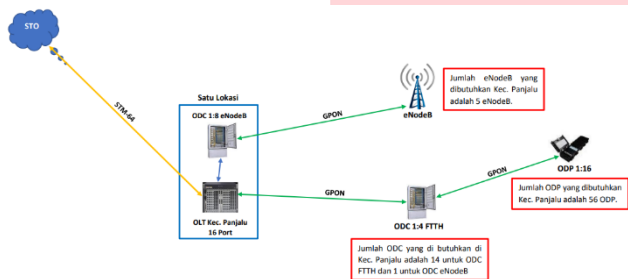
Kecamatan Panjalu dan ODP yang digunakan adalah ODP 1:16.

Tabel 4 Jumlah ODP

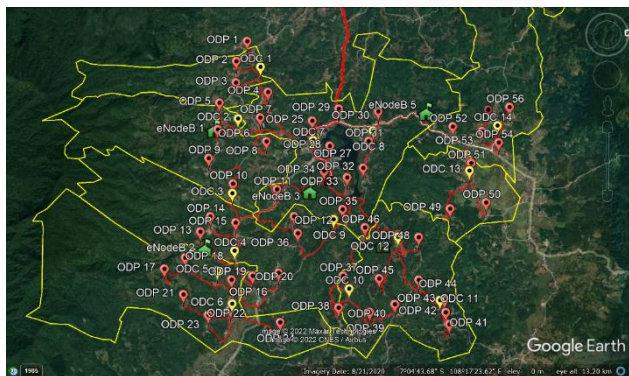
No	Kelurahan/Desa	Total Target User	Jumlah ODP
1	Mandalare	43	3
2	Kertamandala	69	5
3	Ciomas	126	8
4	Sandingtaman	99	7
5	Maparah	176	11
6	Panjalu	211	14
7	Bahara	47	3
8	Hujungtiwu	72	5
Total	Kec. Panjalu	843	56

C. Perancangan Link Akses Network

Perancangan *link akses last-mile network* berbasis fiber optik dilakukan setelah didapatkan jumlah eNodeB dan ODP yang dibutuhkan Kecamatan Panjalu. *Link akses backhaul* dari STO sampe ke OLT menggunakan fiber optik STM-64 dan untuk *link akses last-mile* dari OLT sampe ke eNodeB dan ODP menggunakan fiber optik GPON. Berikut adalah konfigurasi *link akses jaringan last-mile*:



Gambar 2 Konfigurasi Perancangan Link Akses



Gambar 3 Perancangan Link Akses di Google Earth

D. Teknologi Pada Perancangan Link Akses Network

a. Backhaul Link

Backhaul link menggunakan STM-64 karena memiliki kecepatan hingga 9953,28 Mbps (10 Gbps) sehingga mampu memenuhi kebutuhan kapasitas eNodeB dan ODP di Kecamatan panjalu. Berikut adalah *optical interface* STM-64 mengacu pada ITU-T G.961 [9]:

Tabel 5 Optical Interface Parameters STM-64

Item	Unit	Value
Nominal line rate	Mbps	9953,28
Optical Wavelength	nm	1530 - 1565
Line Code	-	NRZ
Mean launch power minimum	dBm	-2
Mean launch power maximum	dBm	2
Sensitivity	dBm	-26

b. Link Last-Mile Network

Teknologi yang digunakan dalam perancangan *link last-mile network* adalah GPON karena dapat mendukung jaringan pengiriman data internet dari OLT ke titik eNodeB dan ODP. Berikut adalah *optical interface* GPON mengacu pada ITU-T G.984.2 [10]:

Tabel 6 Optical Interface Parameters GPON Downstream

Item	Unit	Value
OLT Transmitter		
Nominal line rate	Mbps	2488,32
Line code	-	NRZ
ODN Class		A B C
Mean channel launch power min.	dBm	0 +5 +3
Mean channel launch power max.	dBm	+4 +9 +7
ONU Receiver		
ODN Class		A B C
Sensitivity	dBm	-21 -21 -28
Overload	dBm	-1 -1 -8

Tabel 7 Optical Interface Parameters GPON Upstream

Item	Unit	Value
OLT Transmitter		
Nominal line rate	Mbps	1244,16
Line code	-	NRZ
ODN Class		A B C
Mean channel launch power min.	dBm	-3 -2 +2
Mean channel launch power max.	dBm	+2 +3 +7
ONU Receiver		
ODN Class		A B C
Sensitivity	dBm	-24 -28 -29
Overload	dBm	-3 -7 -8

c. Optical Interface Parameters Yang Digunakan

Berikut adalah *optical parameters interface* yang digunakan pada penelitian ini:

Tabel 8 Optical Interface Parameters Yang Digunakan

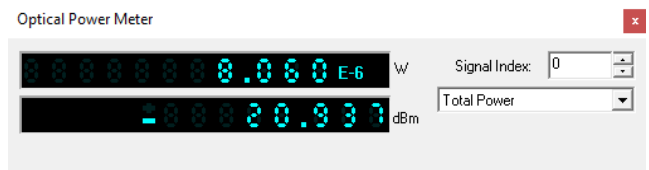
Link Akses	Last-Mile Downstream	Last-Mile Upstream	Backhaul
TX Power	+6 dBm	+7 dBm	+2 dBm
Wavelength	1490 nm	1310 nm	1550 nm
Sensitivity	≥ -28 dBm	≥ -28 dBm	≥ -28 dBm
BER	< 1 × 10 ⁻⁸	< 1 × 10 ⁻⁸	< 1 × 10 ⁻⁸

E. Hasil Simulasi Perancangan

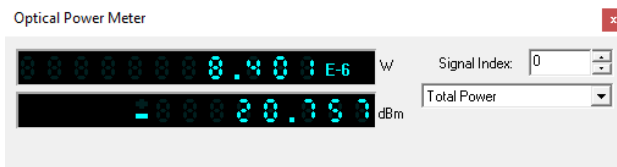
Analisis hasil simulasi dilakukan terhadap nilai *power received*, *Q-factor* dan BER. Simulasi perancangan menggunakan *software Optisystem7*. Berikut adalah hasil simulasi perancangan pada link akses terjauh:

a. Power Received

Power received (PRx) adalah nilai daya yang di terima oleh *reciver*. Nilai PRx dipengaruhi dan berbanding terbalik dengan nilai *link power budget* (LPB), karena semakin besar nilai LPB maka nilai PRx akan semakin kecil. Berikut adalah nilai *power received* yang didapatkan dari hasil simulasi perancangan untuk link akses terjauh:



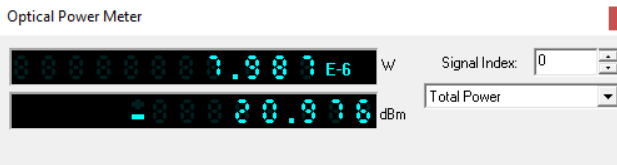
Gambar 4 OPM Last-Mile ENodeB 2 Downstream



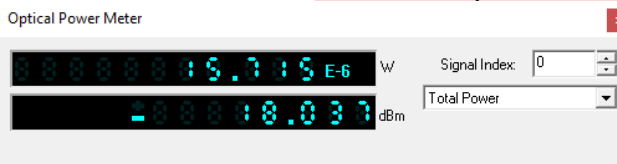
Gambar 5 OPM Last-Mile ODP 17 Downstream



Gambar 6 OPM Last-Mile ENodeB 2 Upstream



Gambar 7 OPM Last-Mile ODP 17 Upstream



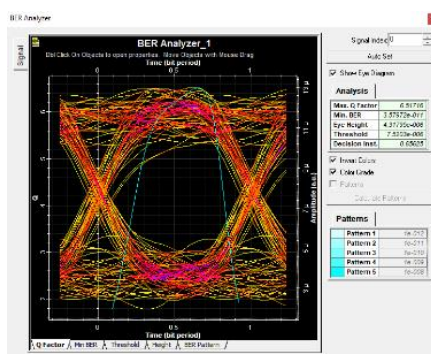
Gambar 8 OPM Backhaul link

Nilai *power received downstream* yang didapatkan pada *link last-mile eNodeB* terjauh yaitu eNodeB 2 yang berjarak 6,1 Km adalah sebesar -20,937 dBm, sedangkan pada *link last-mile ODP* terjauh yaitu ODP 17 yang berjarak 9,24 Km adalah sebesar -20,757 dBm. Nilai *power received upstream* yang didapatkan pada *link last-mile eNodeB* yaitu eNodeB 2 yang berjarak 6,1 Km adalah sebesar -20,742 dBm, sedangkan pada *link last-mile ODP* terjauh yaitu ODP 17 yang berjarak 9,24 Km adalah sebesar -20,976 dBm. Nilai *Power received* yang didapatkan pada *link backhaul* yang berjarak 21 Km adalah sebesar -18,037 dBm.

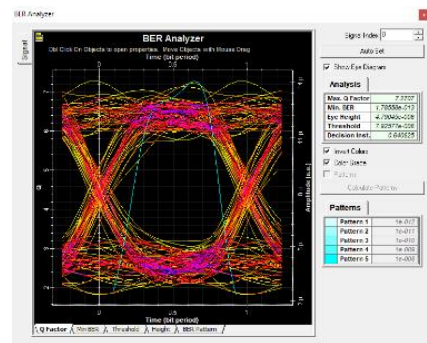
Nilai *power received* dari semua *link akses* yang didapat dari hasil simulasi dengan *Optisystem7* memenuhi standar perancangan karena memiliki nilai *power received* ≥ -28 dBm.

b. Q-Factor

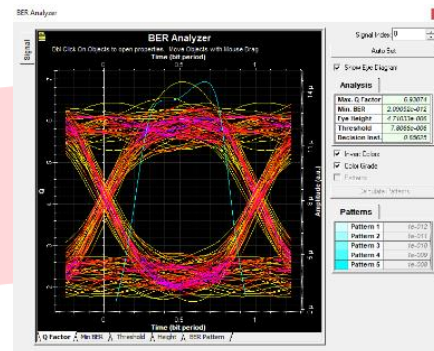
Q-factor dipengaruhi dan berbanding lurus dengan SNR, karena semakin besar nilai SNR maka nilai *Q-factor* akan semakin besar. Berikut adalah nilai *Q-factor* yang didapatkan dari hasil simulasi perancangan untuk *link akses* terjauh:



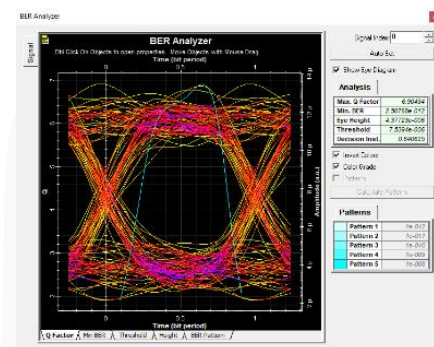
Gambar 9 BER Analyzer Last-Mile ENodeB 2 Downstream



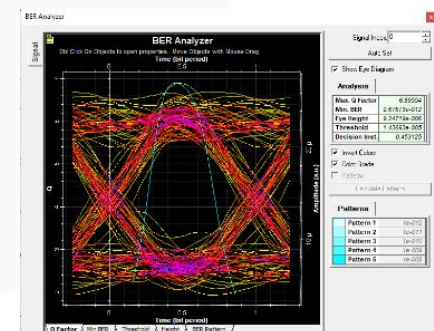
Gambar 10 BER Analyzer Last-Mile ODP 17 Downstream



Gambar 11 BER Analyzer Last-Mile ENodeB 2 Upstream



Gambar 12 BER Analyzer Last-Mile ODP 17 Upstream



Gambar 13 BER Analyzer Backhaul link

Nilai *Q-factor downstream* yang didapatkan pada *link last-mile eNodeB* terjauh yaitu eNodeB 2 yang berjarak 6,1 Km adalah sebesar 6,51716, sedangkan pada *link last-mile ODP* terjauh yaitu ODP 17 yang berjarak 9,24 Km adalah sebesar 7,2707. Nilai *Q-factor upstream* yang didapatkan pada *link last-mile eNodeB* terjauh yaitu eNodeB 2 yang berjarak 6,1 Km adalah sebesar 6,93074, sedangkan pada *link last-mile ODP* terjauh yaitu ODP 17 yang berjarak 9,24 Km adalah sebesar 6,90494. Nilai *Q-factor* yang didapatkan pada *link backhaul* yang berjarak 21 Km adalah sebesar 6,89554.

Nilai *Q-factor* dari semua *link* akses yang didapat dari hasil simulasi dengan *Optisystem7* memenuhi standar perancangan karena memiliki nilai *Q-factor* yang bagus sehingga menghasilkan nilai BER < 1×10^{-8} .

c. BER

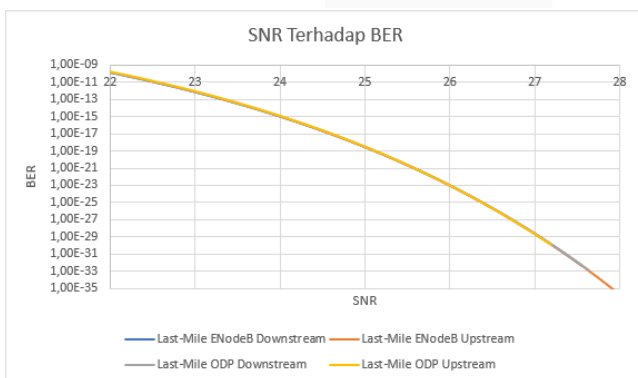
BER dipengaruhi dan berbanding terbalik dengan *Q-factor*, karena semakin besar nilai *Q-factor* maka nilai BER akan semakin kecil. Dapat dilihat pada **Gambar 9** sampai dengan **Gambar 13** nilai BER yang didapatkan dari hasil simulasi perancangan untuk *link* akses terjauh yaitu:

Nilai BER *dowsnstream* yang didapatkan pada *link last-mile* eNodeB terjauh yaitu eNodeB 2 yang berjarak 6,1 Km adalah sebesar $3,580 \times 10^{-11}$, sedangkan pada *link last-mile* ODP terjauh yaitu ODP 17 yang berjarak 9,24 Km adalah sebesar $1,786 \times 10^{-13}$. Nilai BER *upstream* yang didapatkan pada *link last-mile* eNodeB terjauh yaitu eNodeB 2 yang berjarak 6,1 Km adalah sebesar $2,090 \times 10^{-12}$, sedangkan pada *link last-mile* ODP terjauh yaitu ODP 17 yang berjarak 9,24 Km adalah sebesar $2,508 \times 10^{-12}$. Nilai BER yang didapatkan pada *link backhaul* yang berjarak 21 Km adalah sebesar $2,677 \times 10^{-12}$.

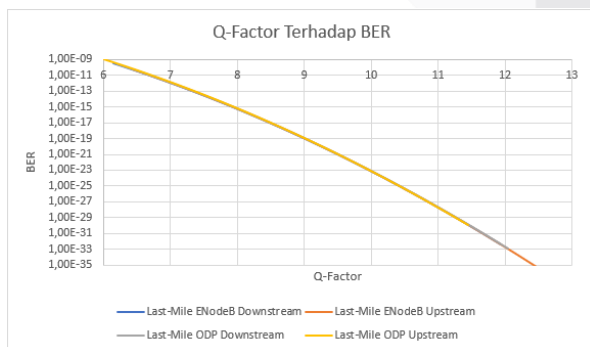
Nilai BER dari semua *link* akses yang didapat dari hasil simulasi dengan *Optisystem7* memenuhi standar perancangan karena memiliki nilai BER < 1×10^{-8} .

F. Grafik SNR dan Q-Factor Terhadap BER

Berikut adalah gambar grafik SNR terhadap BER dan *Q-factor* terhadap BER yang di ambil berdasarkan perbedaan nilai Tx power:



Gambar 14 Grafik SNR Terhadap BER



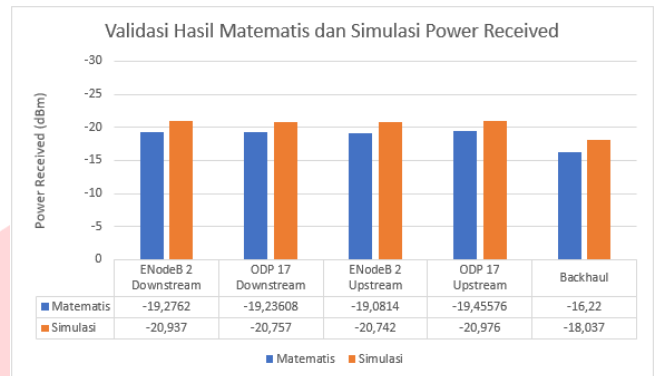
Gambar 15 Grafik Q-Factor Terhadap BER

Gambar grafik SNR dan *Q-factor* terhadap BER di atas menunjukkan bahwa nilai BER dipengaruhi dan berbanding terbalik dengan Nilai SNR dan *Q-factor*, semakin besar nilai SNR dan *Q-factor* akan membuat nilai BER semakin kecil.

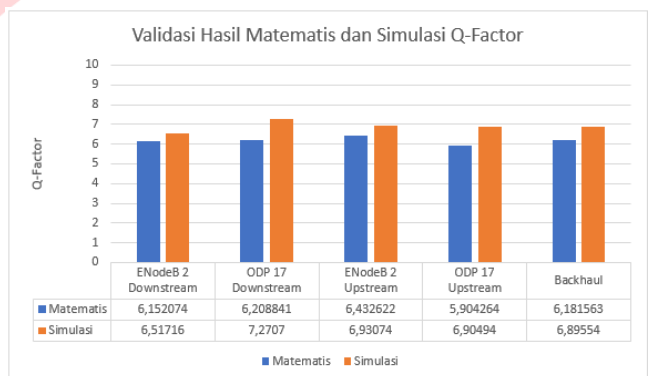
G. Perbandingan Hasil Matematis dan Hasil Simulasi

Data nilai kelayakan performansi dari hasil perhitungan matematis dan hasil simulasi kemudian dibandingkan. Perbandingan dilakukan terhadap nilai *power received*, *Q-factor* dan BER yang didapatkan pada *link* akses terjauh.

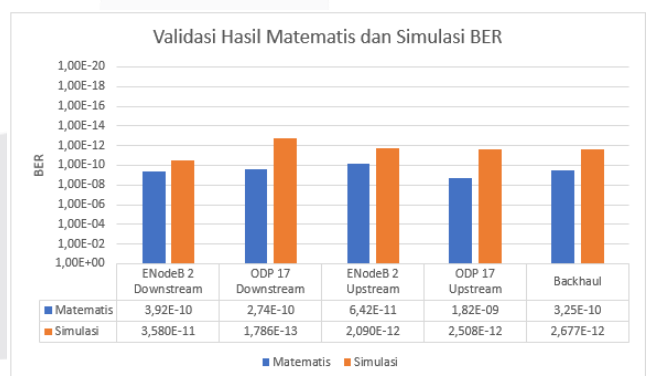
Perbandingan hasil perhitungan matematis dengan hasil simulasi terhadap *power received*, *Q-factor* dan BER dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 16 Perbandingan Terhadap Nilai *power Received*



Gambar 17 Perbandingan Terhadap Nilai *Q-Factor*



Gambar 18 Perbandingan Terhadap Nilai BER

Hasil perbandingan nilai *power received* terhadap hasil perhitungan matematis dan hasil simulasi mendapatkan hasil yang berbeda, dimana nilai PRx hasil perhitungan matematis lebih besar jika dibandingkan dengan nilai PRx hasil simulasi. Sedangkan Hasil perbandingan nilai *Q-factor* terhadap hasil perhitungan matematis dan hasil simulasi mendapatkan hasil yang berbeda, dimana nilai *Q-factor* hasil perhitungan matematis lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai *Q-factor* hasil simulasi. Selain itu Hasil perbandingan nilai BER terhadap hasil perhitungan matematis dan hasil simulasi mendapatkan hasil yang berbeda, dimana nilai BER

hasil perhitungan matematis lebih besar jika dibandingkan dengan nilai BER hasil simulasi.

Perbedaan nilai *power received*, *Q-factor* dan BER pada hasil perhitungan matematis dan hasil simulasi disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah pada perhitungan matematis tidak dipengaruhi oleh efek *non-linear* dan faktor *random sequence*.

V. KESIMPULAN

Hasil Simulasi perancangan jaringan *last-mile* eNodeB dan ODP berbasis fiber optik di Kecamatan Panjalu, Ciamis, Jawa Barat memenuhi semua parameter performansi dan dapat direalisasikan untuk menunjang layanan akses internet LTE dengan eNodeB dan ODP. Kesimpulan terhadap parameter rancangan jaringan *last-mile network* sebagai berikut:

1. Rancangan *link* akses *last-mile network* GPON *downstream* pada *link last-mile* eNodeB terjauh mendapatkan nilai *power received* sebesar -20,937 dBm, nilai *Q-factor* sebesar 6,51716 dan nilai BER sebesar 3580×10^{-11} . Sedangkan pada *link last-mile* ODP terjauh mendapatkan nilai *power received* sebesar -20,757 dBm, nilai *Q-factor* sebesar 7,2707 dan nilai BER sebesar $1,786 \times 10^{-13}$.
2. Rancangan *link* akses *last-mile network* GPON *upstream* pada *link last-mile* eNodeB terjauh mendapatkan nilai *power received* sebesar -20,742 dBm, nilai *Q-factor* sebesar 6,93074 dan nilai BER sebesar $2,090 \times 10^{-12}$. Sedangkan pada *link last-mile* ODP terjauh mendapatkan nilai *power received* sebesar -20,976 dBm, nilai *Q-factor* sebesar 6,90494 dan nilai BER sebesar $2,508 \times 10^{-12}$.
3. Rancangan *link* akses *backhaul* dengan STM-64 mendapatkan nilai *power received* sebesar -18,037 dBm, nilai *Q-factor* sebesar 6,89554 dan nilai BER sebesar $2,677 \times 10^{-12}$.

REFERENSI

- [1] S. S. Ahmed dan M. Islam, "A Technical Review on Optical Access Networks," vol. 6, no. December, hal. 79–95, 2018.
- [2] F. Karo Karo, E. S. Nugraha, dan F. N. Gustiyana, "Analisis Hasil Pengukuran Performansi Jaringan 4G LTE 1800 MHz di Area Sokaraja Tengah Kota Purwokerto Menggunakan Genex Asistant Versi 3.18," *Aiti*, vol. 16, no. 2, hal. 115–124, 2020, doi: 10.24246/aiti.v16i2.115-124.
- [3] E. Risma, *Mengenal Fiber Optic*. Bandung, Jawa Barat: CV. Media Sainst Indonesia, 2021.
- [4] K. A. Mat Sharif, N. A. Ngah, A. Ahmad, K. Khairi, Z. A. Manaf, dan D. Tarsono, "Demonstration of XGS-PON and GPON Co-Existing in the Same Passive Optical Network," *2018 IEEE 7th Int. Conf. Photonics, ICP 2018*, hal. 2018–2020, 2018, doi: 10.1109/ICP.2018.8533167.
- [5] T. Thangappan, B. Therese, A. Suvarnamma, dan G. S. Swapna, "Review on Dynamic Bandwidth Allocation of GPON and EPON," *J. Electron. Sci. Technol.*, vol. 18, no. 4, hal. 297–307, 2020, doi: 10.1016/j.jnlest.2020.100044.
- [6] R. A. I. Asyari, Firdaus, E. Indarto, I. Nurcahyani, "Perancangan Jaringan Backbone dan Distribusi 4G LTE Di Sleman Berbasis Jaringan Optik," *Pros. SNATIF*, 2017.
- [7] Nst., R. Jufri, R. P. Astuti, A. D. Pambudi, "Analisis Perencanaan Jaringan Long Term Evolution (LTE) Di Kota Bandung Menggunakan Metode Optimal Fractional Frequency Reuse (OFFR) Sebagai Manajemen Interferensi," vol. 3, no. 3, hal. 4537–4543, 2021.
- [8] K. E. Agus Farhan, I. Erna Sri Sugesti, dan I. Rina Pudji Astuti, "Perancangan Dan Analisis Jaringan Backhaul Serat Optik Untuk Komunikasi LTE Penumpang Kereta Cepat Jakarta-Surabaya Sub Ceu-Surabaya," *Agustus*, vol. 7, no. 2, hal. 3847, 2020.
- [9] ITU-T, "G.691: Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks," 2006.
- [10] ITU-T, "G.984.2: Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Physical media dependent (PMD) layer specification," 2019, [Daring]. Tersedia pada: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11>.