

**ANALISIS PERANCANGAN SISTEM (*WAVELENGTH DIVISION
MULTIPLEXING*) WDM-PON PADA TEKNOLOGI XG-PON DENGAN
MENGUNAKAN *SOFTWARE OPTISYSTEM***



DINI ANGGRAINI

5215122639

Skripsi Ini Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan

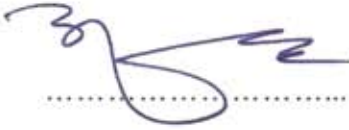
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRONIKA




FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2017

HALAMAN PENGESAHAN

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Dr Efri Sandi, M.T (Dosen Pembimbing 1)		21 Agustus 2017
Arum Setyowati, S.Pd., M.T (Dosen Pembimbing 2)		22 Agustus 2017

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. Wisnu Djatmiko, MT. (Ketua)		21 Agustus 2017
Diat Nur Hidayat, M.T.,I. (Sekretaris)		18 Agustus 2017
Dr. Muhammad Yusro, M.T (Dosen Ahli)		18/8/2017

Tanggal Lulus : 15 Agustus 2017

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi negeri lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Agustus 2017
Yang membuat pernyataan



Dini Anggraini
5215122639

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT karena telah memberikan rahmat, karunia, hidayah, dan pertolongan-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Performansi sistem (*wavelength Division Multiplexing*) WDM-PON Pada Teknologi XG-PON Dengan Menggunakan Optisystem” yang merupakan persyaratan dalam menyelesaikan studi untuk meraih gelar sarjana pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

Selama melakukan penelitian ini, peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Efri Sandi M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan motivasi dan arahan dalam menyelesaikan skripsi.
2. Ibu Arum Setyowati, S.Pd.,MT. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan solusi dan pendapat dalam menyelesaikan skripsi pada penelitian ini.
3. Keluarga tercinta, yang telah memberikan semangat dan dukungan baik moril maupun materi.
4. Teman-teman Jurusan Teknik Elektro dan Elektronika 2012 yang memberikan bantuan serta semangat kepada penulis.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu. Peneliti menyadari bahwa banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, namun peneliti berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Jakarta, Agustus 2017

Peneliti

ABSTRAK

DINI ANGGRAINI. NIM: 5215122639. Analisis Performansi sistem (*Wavelength Division Multiplexing*) WDM-PON Pada Teknologi XG-PON Dengan Menggunakan Optisystem. Skripsi. Jakarta: Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, 2017. Dosen Pembimbing : Dr. Efri Sandi M.T dan Arum Setyowati S.Pd,MT.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perancangan dari sistem WDM-PON pada teknologi XG-PON dengan menggunakan *software optisystem*. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Telkom Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta pada bulan Agustus 2016 – Januari 2017

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode rekayasa teknik yaitu merancang dan menganalisis sistem WDM-PON pada teknologi XG-PON dengan menggunakan *software optisystem*. Teknologi XG-PON merupakan pengembangan dari teknologi G-PON. Perbedaan XG-PON dengan G-PON adalah *bitrate* nya. Pada XG-PON mencapai 10 Gbps pada sisi *downstream* dan 2,5 Gbps pada sisi *upstream*. Pada perancangan penelitian ini memiliki beberapa parameter data yang diambil, antara lain *Q factor* , *Bit Error Rate* dan *Power Budget*. Rancang jaringan WDM-PON pada teknologi XG-PON menggunakan aplikasi *optisystem* ini sudah melalui tahap simulasi dengan cara mengubah jarak 10 – 50 Km dan mengubah nilai P_{TX} sebesar 2-8 dBm pada aplikasi *optisystem*.

Pada penelitian ini didapatkan hasil perhitungan dan simulasi dari rancangan WDM-PON pada Teknologi XG-PON. Hasil yang didapatkan dari rancangan WDM-PON pada teknologi XG-PON adalah layak dengan memenuhi standard jaringan yang ada dengan *Power Link Budget* sebesar -27.54dBm. Serta mendapatkan hasil dari penelitian *Bit Error Rate* terhadap jarak dimana semakin dekat jarak maka *Bit Error Rate* akan semakin bagus dan bila semakin jauh jarak maka *Bit Error Rate* akan semakin buruk.

Kata - kata Kunci: WDM-PON, XG-PON, Optisystem

ABSTRACT

DINI ANGGRAINI. NIM: 5215122639. WDM-PON System Performance Analysis (Wavelength Division Multiplexing) Analysis On XG-PON Technology Using Optisystem. Essay. Jakarta: Electronic Engineering Education Study Program, Faculty of Engineering, Jakarta State University, 2017. Supervisor: Dr. Efri Sandi M.T and Arum Setyowati S.Pd, MT.

This study aims to analyze the design of the WDM-PON system on XG-PON technology using optisystem software. This research was conducted in Telkom Laboratory of Electrical Engineering Faculty of Engineering, State University of Jakarta in August 2016 - January 2017

The method used in this research is engineering method that is designing and analyzing WDM-PON system on XG-PON technology using optisystem software. XG-PON technology is a development of G-PON technology. The difference of XG-PON with G-PON is its bitrate. At XG-PON reach 10 Gbps on the downstream side and 2.5 Gbps on the upstream side. In designing this research has some parameter data taken, among others Q factor, Bit Error Rate and Power Budget. Design the WDM-PON network on XG-PON technology using this optisystem application has gone through the simulation phase by changing the distance of 10 - 50 Km and changing the PTX value of 2-8 dBm in the optisystem application.

In this study obtained the calculation and simulation of the design of WDM-PON on XG-PON Technology. The results obtained from WDM-PON design on XG-PON technology are feasible by meeting existing network standards with Power Link Budget of -27.54dBm. And get the results of research Bit Error Rate to the distance where the closer the distance then Bit Error Rate will be better and if the further distance then Bit Error Rate will get worse.

Keywords: WDM-PON, XG-PON, *Optisystem*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	.vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kerangka Teoritik	5
2.1.1 Definisi Analisis.....	5
2.1.2 Perancangan Sistem	7
2.1.3 Sistem Komunikasi Serat Optik.....	7
2.1.4 Jaringan Lokal Akses Fiber	9
2.1.5 PON (<i>Passive Optikal Network</i>).....	10
2.1.6 Teknologi WDM (<i>Wavelength Division Multiplexing</i>)	24
2.1.7 WDM-PON.....	25
2.1.8 Teknologi GPON dan XG-PON	25
2.1.9 <i>Opti System</i>	28
2.2 Penelitian Terkait.....	30

2.3	Kerangka Berfikir.....	30
2.4	Hipotesis Penelitian.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	33
3.3	Diagram Alir Penelitian	33
3.4	Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data	36
3.5	Teknik Analisis Data	43
BAB IV HASIL PENELITIAN.....		44
4.1	Deskripsi Hasil Penelitian.....	44
4.1.1	Pembuatan Simulasi Penelitian.....	44
4.1.2	Pengukuran Hasil Simulasi.....	49
4.2	Pembahasan Hasil Penelitian.....	57
4.2.1	Analisis BER simulasi dan BER perhitungan terhadap jarak.....	57
4.2.2	Analisis total <i>loss budget</i>	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		71
5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA		73
LAMPIRAN.....		74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis <i>Passive Splitter</i>	20
Tabel 2.2 Spesifikasi layanan GPON.....	26
Tabel 2.3 Spesifikasi XG-PON.....	27
Tabel 3.1 Pengukuran daya menggunakan <i>Optisystem</i>	40
Tabel 3.2 Tabel Pengukuran Q-Factor dan BER.....	41
Tabel 3.3 Pengukuran <i>Link Power Budget</i>	41
Tabel 3.4 Perhitungan Q-Factor dan BER.....	42
Tabel 4.1 Hasil pengukuran PRx	49
Tabel 4.2 Hasil pengukuran Q-factor dan BER terhadap jarak.....	50
Tabel 4.3 Perhitungan <i>Total Loss Link 1</i>	52
Tabel 4.4 Perhitungan <i>Total Loss Link 2</i>	53
Tabel 4.5 Perhitungan <i>Total Loss Link 3</i>	53
Tabel 4.6 Perhitungan <i>Total Loss Link 4</i>	54
Tabel 4.7 Perhitungan <i>Total Link Power Budget</i>	54
Tabel 4.8 Perhitungan BER dan <i>Q-Factor</i>	55
Tabel 4.9 Perbandingan hasil pengukuran simulasi dengan perhitungan pada <i>link 1</i>	58
Tabel 4.10 Perbandingan hasil pengukuran simulasi dengan perhitungan pada <i>link 2</i>	61
Tabel 4.11 Perbandingan hasil pengukuran simulasi dengan perhitungan pada <i>link 3</i>	64
Tabel 4.12 Perbandingan hasil pengukuran simulasi dengan perhitungan pada <i>link 4</i>	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Cara kerja komunikasi serat optic.....	8
Gambar 2.2 JARLOKAF.....	9
Gambar 2.3 Jaringan PON.....	10
Gambar 2.4 Arsitektur PON.....	11
Gambar 2.5 Struktur serat optik.....	13
Gambar 2.6 <i>Step Index Monomode</i>	15
Gambar 2.7 Kabel <i>Single mode</i>	16
Gambar 2.8 Serat <i>Step Index Multimode</i>	17
Gambar 2.9 Kabel <i>Multimode</i>	17
Gambar 2.10 Serat <i>Graded Index Multimode</i>	18
Gambar 2.11 Teknologi WDM.....	24
Gambar 2.12 Kerangka Berfikir.....	31
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	35
Gambar 3.2 Rancangan Simulasi.....	36
Gambar 3.3 <i>XG-PON downstream structure</i>	37
Gambar 3.4 Perencanaan model jaringan.....	37
Gambar 3.5 <i>Optical Power Meter</i> pada <i>Optisystem</i>	39
Gambar 3.6 <i>BER Analyzer</i> pada <i>Optisystem</i>	39
Gambar 4.1 Simulasi OLT pada <i>Optisystem</i>	45
Gambar 4.2 ODN terdiri dari kabel <i>feeder</i> dan ODC <i>splitter</i>	45
Gambar 4.3 ODP pada <i>Optisystem</i>	46
Gambar 4.4 ONU pada <i>Optisystem</i>	46
Gambar 4.5 Simulasi WDM XG-PON pada <i>Optisystem</i>	48
Gambar 4.6 Grafik perbandingan BER simulasi dan BER perhitungan pada <i>link 1</i> ...60	60
Gambar 4.7 Grafik perbandingan BER simulasi dan BER perhitungan pada <i>link 2</i> ...63	63
Gambar 4.8 Grafik perbandingan BER simulasi dan BER perhitungan pada <i>link 3</i> ...66	66
Gambar 4.9 Grafik perbandingan BER simulasi dan BER perhitungan pada <i>link 4</i> ...69	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman yang modern kebutuhan masyarakat akan telekomunikasi semakin meningkat. Telekomunikasi sangat berperan di berbagai bidang kehidupan seperti perekonomian, kesehatan, politik, dan lain sebagainya. Berdasarkan hal ini, perusahaan penyedia layanan telekomunikasi terdorong untuk terus berusaha mewujudkan berbagai jenis pelayanan komunikasi yang lebih canggih dengan akses yang cepat dan dengan harga yang terjangkau.

Kebutuhan akan *bandwidth* menjadi hal yang paling mendasar dalam dunia telekomunikasi terutama dalam komunikasi multimedia. Pada saat ini permintaan akan *high speed service* bertambah dengan pesat. Hal ini menurut para *provider* memberikan layanan yang memuaskan bagi para *customer* (Rika,dkk.,2009:1). Keterbatasan jaringan akses tembaga yang dinilai saat ini masih belum mampu menampung kapasitas *bandwidth* yang besar serta kecepatan yang tinggi telah menekan penyedia layanan untuk membuat atau mengembangkan teknologi baru dari infrastruktur sebelumnya agar dapat memenuhi kebutuhan masyarakat modern yang biasa menggunakan internet sebagai pegangan utama atau alat bantu dalam mendapatkan informasi.

Serat optik merupakan salah satu media transmisi komunikasi optik yang cukup handal. Alternatif ini dipilih karena serat optik mempunyai beberapa kelebihan yang tidak dimiliki oleh media transmisi yang lain. Setelah tahun 1970, ketika mulai terdapat serat optik dengan susutan lebih kecil dari 20dB/km,

perkembangan semakin dipacu. Dengan bahan-bahan dasar yang makin murni dan teknik pembuatan yang makin teliti, koefisien susutan dapat mencapai kurang dari 5 dB/km (Dian, 2005:2, diacu dalam Thomas Sriwidodo, 1995).

Jarlokap (jaringan lokal akses fiber) merupakan solusi strategis bagi jaringan pelanggan untuk layanan *broadband*. Dengan menggunakan berbagai metode transmisi, teknologi jarlokap bisa menjamin ketersediaan *bandwidth* jaringan akses hingga beberapa *Gbps* dan bisa bertambah sesuai dengan perkembangan teknologi.

Didorong oleh maraknya keanekaragaman layanan *bandwidth*, arsitektur *Passive Optical Network* (PON) telah mengalami peningkatan *availibilty*, *data rate* dan *service* dalam decade terakhir. IEEE dan ITU-T bersama-sama dengan *Full Service Access Network* (FSAN) telah mengusulkan *Next Generation PON* (NG-PON). NG-PON dibagi menjadi dua tahap atau *stage*: tahap pertama NG-PON1 (NG-PON *Stage 1*) dan tahap kedua NG-PON2 (NG-PON *Stage 2*). NG-PON1 lebih dikenal dengan *midterm next generation* berdasarkan dengan 10 Gbps untuk setiap *downstream* dan *upstream*. NG-PON 1 atau disebut juga XG-PON, telah digunakan di Negara Singapore oleh provider M1 dan Singtel. (Yulizar,dkk,2011:1)

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Mengetahui teknologi XG-PON

2. Mengetahui sistem (*Wavelength Division Multiplexing*) WDM-PON pada teknologi XG-PON
3. Mengetahui perangkat yang digunakan pada XG-PON
4. Mengetahui standar performasi pada XG-PON
5. Mengetahui cara merancang menggunakan *software optisystem*
6. Menghitung dan menganalisis sistem WDM-PON pada XG-PON menggunakan simulasi jaringan

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut :

1. Parameter performasi yang dianalisis adalah *Q factor*, *Bit Error Rate*, dan *Power Budget*
2. Penelitian dilakukan dengan cara merancang jaringan WDM-PON menggunakan *software Optisystem*. Jaringan yang akan diteliti terdiri dari 4 *link*.
3. Pengambilan data dilakukan dengan mengubah jarak sampai dengan 50 Km dan mengubah nilai P_{Tx} sebesar 2-8 dBm pada jarak 20 Km.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah dan identifikasi masalah di atas, maka masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan menjadi

1. Bagaimana merancang sistem WDM-PON pada teknologi XG-PON dengan menggunakan *software Optisystem*?

2. Bagaimana analisis perancangan sistem WDM-PON pada teknologi XG-PON dengan menggunakan *software Optisystem*?

1.5 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan masalah yang telah dirumuskan, maka tujuan yang hendak dicapai dari penelitian pada pembuatan skripsi ini adalah :

- a. Mengetahui cara merancang sistem (*Wavelength Division Multiplexing*) WDM-PON pada teknologi XG-PON dengan menggunakan *software Optisystem*.
- b. Mengetahui cara menganalisis perencanaan sistem (*Wavelength Division Multiplexing*) WDM-PON pada teknologi XG-PON dengan menggunakan *software Optisystem*.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari analisis performasi sistem (*wavelength division multiplexing*) WDM-PON teknologi XG-PON dengan menggunakan *optisistem* adalah sebagai berikut :

1. Memberikan pengetahuan mengenai jaringan komunikasi menggunakan XG-PON.
2. Memberikan pengetahuan cara menganalisis *performasi* dengan parameter-parameter *Q factor*, *Bit Error Rate*, dan *PowerBudget*.
3. Memberikan saran untuk pengembangan jaringan kedepannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerangka Teoritik

2.1.1 Definisi Analisis

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), analisis adalah penyelidikan terhadap suatu peristiwa (karangan, perbuatan, dan sebagainya) untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya (sebab-musabab, duduk perkaranya, dan sebagainya).

Sedangkan menurut Dwi Prastono Darminto dan Rifka Julianty, analisis adalah penguraian suatu pokok atas berbagai bagiannya dan penelaahan bagian itu sendiri, serta hubungan antara bagian untuk memperoleh pengertian yang tepat dan pemahaman arti keseluruhan. (Darminto dan Julianty, 2002:52)

Analisis merupakan tingkat keempat (C4) dalam taksonomi kognitif menurut Bloom, setelah pengetahuan, pemahaman, dan penerapan. Analisis adalah langkah selanjutnya dalam penelitian setelah kegiatan mengumpulkan data. Secara garis besar, kegiatan analisis data meliputi :

1. Persiapan

Persiapan yang dilakukan dalam kegiatan analisis adalah memilih atau menyortir data sedemikian rupa sehingga hanya data penting atau dibutuhkan yang tersisa. Langkah persiapan bermaksud untuk merapihkan data agar siap diolah lebih lanjut dan dianalisis.

2. Tabulasi

Pada dasarnya kegiatan tabulasi dibedakan menjadi beberapa langkah, yaitu : mengatagorikan data, membuat kode (*coding*), dan mengikhtisirkan data. Penelitian yang bersifat kuantitatif biasanya lebih mudah untuk dikatagorikan dibanding penelitian yang bersifat kualitatif.

Coding merupakan suatu upaya untuk mengkonversikan data yang dikumpulkan ke dalam kode-kode atau simbol-simbol tertentu sehingga mudah dianalisis. Data yang diperoleh dikumpulkan pada kolom-kolom variabel untuk diolah menggunakan rumusan-rumusan ilmiah.

Dalam penelitian ini, langkah persiapan analisis yang dilakukan adalah membuat jaringan optik yang akan dianalisis untuk mengetahui *Q factor*, *Bit Error Rate*, dan *Power Budget*.

3. Penerapan data sesuai dengan pendekatan penelitian

Data yang sudah dikelompokkan dan dikodekan selanjutnya diolah menggunakan rumus-rumus atau aturan-aturan yang ada, sesuai dengan pendekatan atau desain yang diambil.

Langkah penerapan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah mengolah data dari sisi *input* untuk kemudian dibandingkan dengan sisi *output* dan standar kelayakan dari ITU-T, lalu dianalisis.

2.1.2 Perancangan Sistem

Menurut Satzinger, Jackson, dan Burd (2012:5), perancangan sistem adalah sekumpulan aktivitas yang menggambarkan secara rinci bagaimana sistem akan berjalan. Hal itu bertujuan untuk menghasilkan produk perangkat lunak yang sesuai dengan kebutuhan user.

Kenneth dan Jane (2006:G12) menjelaskan bahwa perancangan sistem adalah kegiatan merancang detail dan rincian dari sistem yang akan dibuat sehingga sistem tersebut sesuai dengan requirement yang sudah ditetapkan dalam tahap analisa sistem. Lebih lanjut O'Brien dan Marakas (2009:639) menjelaskan bahwa perancangan sistem adalah sebuah kegiatan merancang dan menentukan cara mengolah sistem informasi dari hasil analisa sistem sehingga dapat memenuhi kebutuhan dari pengguna termasuk diantaranya perancangan user interface, data dan aktivitas proses.

Menurut Bentley dan Whitten (2009:160) melalui buku yang berjudul "System Analysis and Design for The Global Enterprise" juga menjelaskan bahwa perancangan sistem adalah teknik pemecahan masalah dengan melengkapi komponen-komponen kecil menjadi kesatuan komponen sistem kembali ke sistem yang lengkap. Teknik ini diharapkan dapat menghasilkan sistem yang lebih baik.

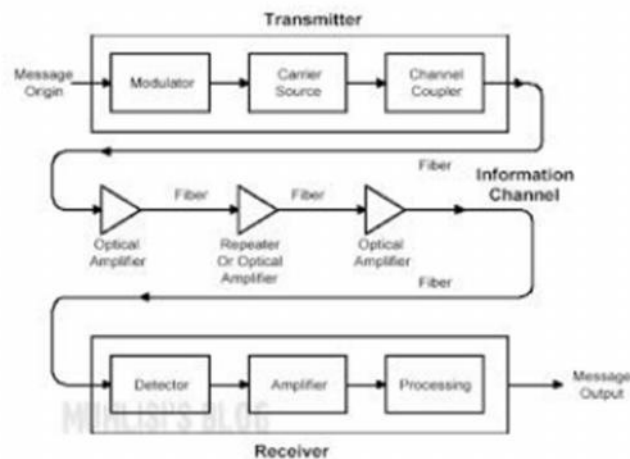
2.1.3 Sistem Komunikasi Serat Optik

Komunikasi serat optik adalah suatu metode penyaluran informasi dalam bentuk sinyal cahaya dari satu tempat ke tempat yang lain dengan mengirimkan cahaya melalui suatu kabel serat optik. Serat optik terbuat dari bahan dielektrik berbentuk seperti kaca (*glass*). Di dalam serat inilah energi cahaya yang

dibangkitkan oleh sumber cahaya disalurkan (*ditransmisikan*) sehingga dapat diterima di ujung unit penerima (*receiver*).

2.1.2.1 Cara Kerja Komunikasi dengan Serat Optik

Fungsi dari serat optik sebagai media transmisi telekomunikasi adalah untuk menyalurkan sinyal informasi dalam bentuk sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat yang lain. Cara kerja komunikasi serat optik ditunjukkan pada gambar 2.1, ada tiga elemen pada sistem telekomunikasi dengan serat optik, yaitu :



Gambar 2.1 Cara kerja komunikasi serat optik (Pragulo, 2012:8)

Transmitter atau pemancar yaitu berfungsi menerima input yang berbentuk sinyal elektrik yang kemudian memberikan arus pada LED atau laser, selanjutnya LED atau laser mengeluarkan cahaya sesuai arus sinyal input.

Kabel serat optic dan komponennya fungsinya adalah cahaya yang berubah ubah intensitasnya atau padam dan nyala akan disalurkan pada serat optik atau gelas yang berbentuk kabel serat optik dan komponennya.

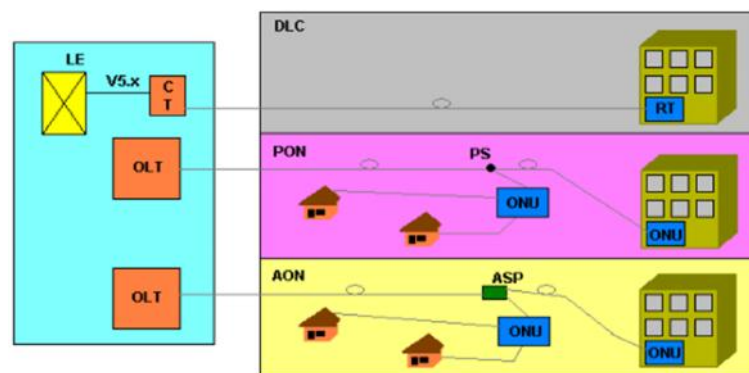
Receiver atau penerima fungsinya menerima sinyal cahaya dari serat optic yang mengandung sinyal informasi. Sinyal tersebut menyinari *photo diode* atau

photo sensor, photo diode akan mengeluarkan arus sesuai dengan intensitas cahaya yang diterima. Selanjutnya arus tersebut adalah merupakan sinyal output elektrik yang identik atau sama dengan sinyal input elektrik.

Optical Amplifier, kabel serat optic bila digunakan pada jarak yang jauh, akibatnya sinyal cahaya akan semakin melemah sebelum sampai tujuan, sehingga penerima tidak dapat mengenali. Oleh sebab itu dilakukan penguatan dan perbaikan sinyal cahaya, agar sinyal yang diterima masih dapat dikenali. Alat yang memperkuat dan memperbaiki sinyal cahaya disebut *repeater* atau pengulang atau juga disebut *Optical Amplifier* atau disingkat OP AMP.

2.1.4 Jaringan Lokal Akses Fiber

Jaringan lokal akses optik (JARLOKAF) adalah jaringan yang menghubungkan *Central Office* (CO) pada operator telekomunikasi ke *Remote Unit* (RU) dengan menggunakan kabel fiber optik. Pada komunikasi fiber optik sinyal yang digunakan adalah dalam bentuk sinyal digital, sedangkan penyaluran sinyal melalui fiber optik adalah dalam bentuk pulsa cahaya. Ada empat teknologi JARLOKAF yang dikenal saat ini yaitu : DLC (*Digital Loop Carrier*), PON (*Passive Optikal Network*), AON (*Active Optikal Network*) dan HFC (*Hybrid Fiber Coax*). Hal tersebut digambarkan pada gambar 2.2 .



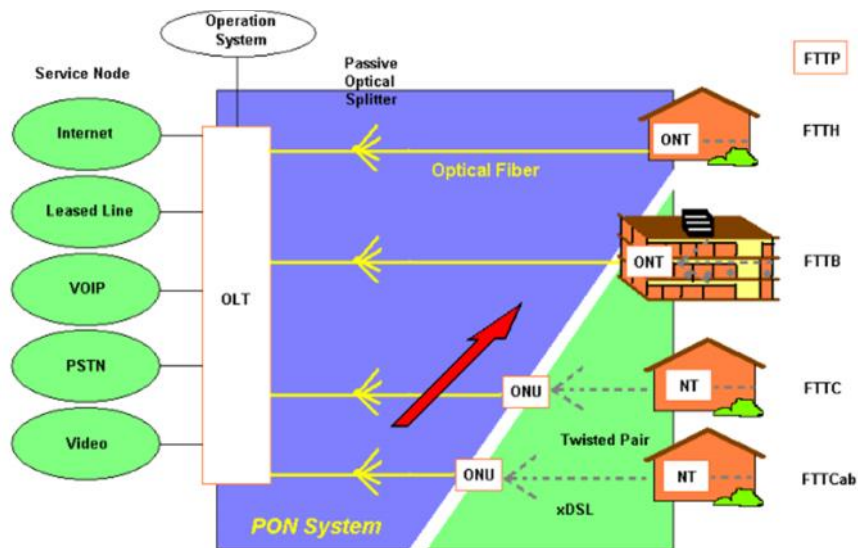
Gambar 2. 2 JARLOKAF (Yulizar,dkk,2011:3)

Konfigurasi teknologi JARLOKAF terdiri dari :

1. DLC (*Digital Loop Carrier*)
2. PON (*Passive Optik Network*)
3. AON (*Active Optik Network*)

2.1.5 PON (*Passive Optik Network*)

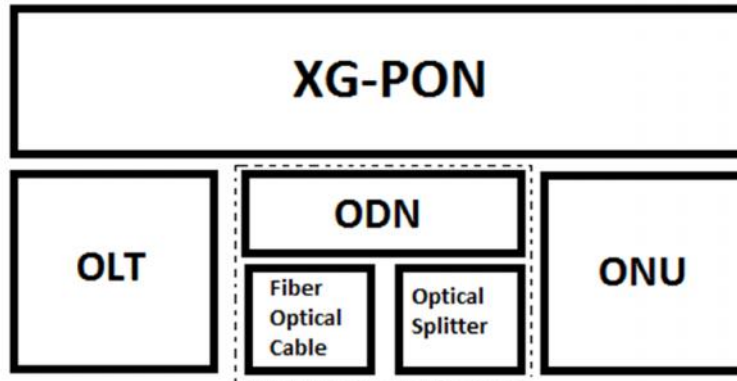
Passive Optik Network (PON) merupakan salah satu alternative yang bisa menggantikan teknologi tembaga untuk *narrowband* atau *broadband*, dan jaringan PON terintegrasi dengan jaringan tembaga (*copper*). Seperti terlihat pada gambar 2.3, dengan *Passive Optik Network* (PON) kinerja dapat ditingkatkan dan biaya operasi dapat ditekan.



Gambar 2. 3 Jaringan PON (Yulizar,dkk,2011:5)

Dengan teknologi fiber optik beberapa layanan seperti telepon, data, dan video bisa melalui satu saluran.Layanan ini menggunakan PON yang

menggunakan sistem *multiplexer* sehingga beberapa layanan dapat diakses hanya dengan satu saluran. *Multiplexer* saluran transmisi dihubungkan ke saluran pelanggan. Berikut pada gambar 2.4 adalah arsitektur PON



Gambar 2.4 Arsitektur PON (Pragulo, 2012: 14)

Arsitektur jaringan PON memiliki tiga entitas penting yaitu OLT (*Optikal Line Terminal*) yang diletakkan di CO (*Central Office*), ODN (*Optikal Distribution Network*) yang merupakan komponen dalam media transmisinya, ONU (*Optikal Network Unit*) yang diletakkan dekat dengan pelanggan.

2.1.5.1 Optikal Line Terminal (OLT)

Optikal Line Terminal (OLT) merupakan perangkat aktif yang menyediakan *interface* antara sistem *passive optikal network (PON)* dengan penyedia layanan. OLT memiliki 2 fungsi utama : 1. Untuk mengkonversi antara sinyal listrik yang digunakan oleh peralatan provider dengan sinyal fiber optik yang digunakan oleh jaringan PON. 2. Untuk proses multiplexing dengan perangkat pada ujung jaringan.

OLT mencakup beberapa fitur berikut :

1. Fitur memproses frame *downstream*, yaitu untuk menerima dan memproses sebuah sel ATM untuk menghasilkan frame *downstream*, dan mengubah data parallel dari *framedownstream* menjadi data serial tersebut.
2. Fitur WDM, yaitu melakukan konversi elektrik/optik dari data serial *framedownstream* dan melakukan WDM tersebut.
3. Fitur pemroses *frame upstream* yaitu untuk mengekstraksi data dari proses WDM, mencari *overhead field*, menggambarkan batas slot, dan membagi slot secara terpisah.

Fitur control, yaitu untuk mengendalikan antara frame *downstream* dengan fram *upstream* dengan menggunakan sinyal waktu

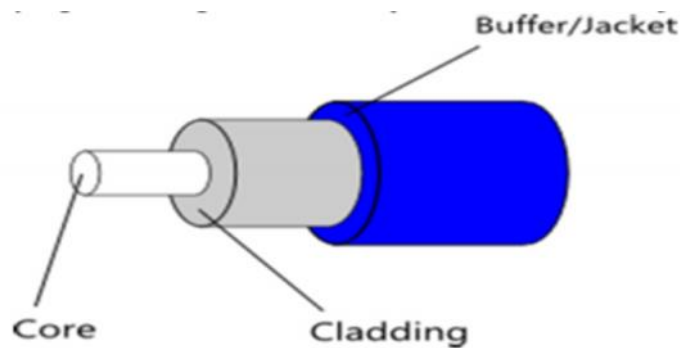
2.1.5.2 Optikal Distribution Network (ODN)

Optikal Distribution Network (ODN) adalah jaringan antara perangkat OLT sampai perangkat ONU.ODN menyediakan sarana transmisi optik dari OLT terhadap pengguna dan sebaliknya.Transmisi ini menggunakan komponen pasif.Perangkat interior pada ODN terdiri dari :

1. *Optikal Fiber* (kabel fiber optik)

Serat optik merupakan helaian optik murni yang sangat tipis dan dapat membawa data informasi digital untuk jarak jauh.Helaian tipis ini tersusun dalam bundelan yang dinamakan kabel serat optik dan berfungsi mentransmisikan cahaya yang berhasil dikirim dari suatu tempat ke tempat

lainnya hanya mengalami kehilangan sinyal dalam jumlah sangat sedikit. Serat optik membentuk kabel yang sedemikian halus hingga ketebalan mencapai 1mm untuk dua puluh helai serat. Sinyal listrik dari *transmitter* (pengirim) digunakan untuk memodulasi berkas laser yang kemudian dikirimkan lewat kabel serat. Serat juga dapat dipakai untuk mengirimkan bayangan, dengan memberikan cahaya pada salah satu ujung kabel sementara ujung yang lain dihadapkan pada kamera. Pada gambar 2.5 adalah bagian-bagian sebuah kabel serat optik tunggal yang terdiri dari inti (*core*), pembungkus (*cladding*), serta jaket penyangga (*buffer jacket*) yang melindungi serat dari temperature dan kerusakan.



Gambar 2.5 Struktur serat optik (Pragulo,2012:20)

Secara umum struktur serat optik terdiri dari 3 bagian, yaitu :

1. Inti Serat Optik (*core*)

Element pertama dari serat optic adalah konduktor yang disebut sebagai inti. Inti mempunyai diameter antara 5 μ m sampai dengan 200 μ m (1 μ m sama dengan 0.000001 m). Diameter inti merupakan hal yang penting, karena menentukan karakteristik

serat. Inti serat optic dibuat dari material Kristal kelas tinggi yang bebas air.

2. Selubung (*cladding*)

Selubung dilapiskan pada inti. Selubung ini juga dibuat dari gelas, tetapi indeks biasanya berbeda dengan indeks bias inti. Hubungan antara kedua indeks refraksi tersebut dibuat kritis. Hal ini memungkinkan terjadinya pemantulan total dari berkas cahaya yang merambat berada di bawah sudut kritis sewaktu dilewatkan sepanjang serat optic.

3. Jaket (*coating*)

Sekeliling inti dan selubung dibalut dengan “Plastik *coating*” yang berfungsi untuk melindungi serat optic dari tekanan luar. Dalam kenyataan ada tiga jenis coating yang digunakan, yaitu : primer, sekunder dan pembungkus pelindung. Serat biasanya terletak bebas didalam selubung sekunder yang berbentuk tabung.

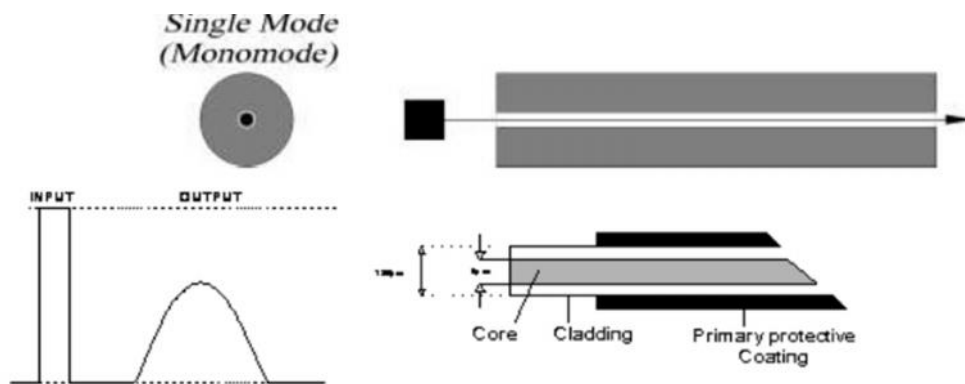
Adapun 3 tiga jenis kabel optik yang umum digunakan yaitu :

a. *Step Index Monomode*

Kebutuhan akan transmisi dengan *bandwidth* yang lebar semakin meningkat. Sehingga dikembangkan tipe serat optic yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Dapat dilihat bahwa semakin rendah jumlah mode, semakin tinggi *bandwidth*nya. Idealnya cahaya

berpropagasi hanya melalui satu mode saja, yang paralel dengan sumbu serat.

Inti mempunyai diameter diantara 2 sampai 10 μm dan selubung telah distandarisasi pada 125 μm . redaman serat *Step Index Monomode* adalah 2 sampai 5 dB/km, dan dengan 50 GHz. Km, hal tersebut digambarkan pada gambar 2.6. (Fauzi, 2016:10)



Gambar 2.6 *Step Index Monomode* (Fauzi, 2016:10)

Kabel fiber optik *single mode* memiliki inti yang lebih kecil (berdiameter 0.00035 inch atau 9 micron) dan berfungsi mengirimkan sinar laser inframerah (panjang gelombang 1300-1550 nm) yang memungkinkan hanya satu mode menyebarkan cahaya melalui inti pada suatu waktu. Serat *single mode* dikembangkan untuk mempertahankan integritas data spasial dan spectrum dari masing-masing sinyal optik jarak yang lebih jauh. (Barry 2005). Gambar 2.7 adalah contoh kabel *single mode*.

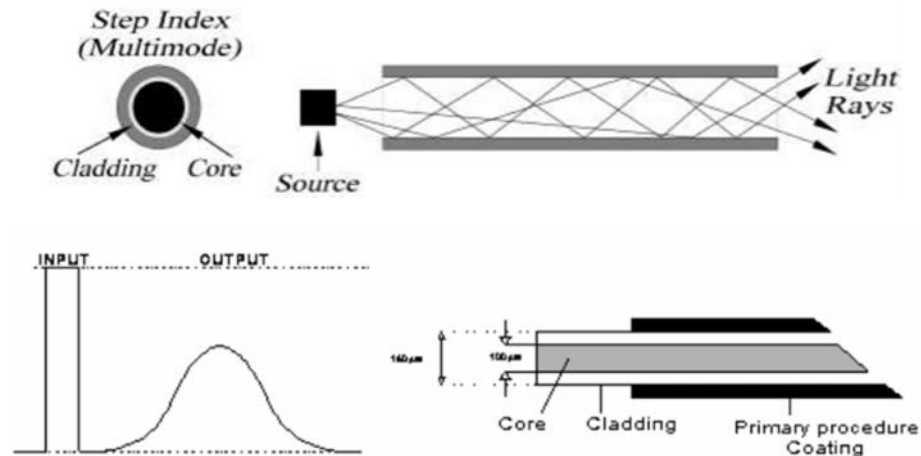


Gambar 2.7 Kabel *Single mode* (Pragulo ,2012:21)

b. *Step Index Multimode*

Serat optic *Step Index Multimode* dibuat dari inti (*Core*) yang relative besar, dengan diselimuti cladding. Intinya mempunyai diameter antara 50 sampai 200 μm , dimana selubung sangat tipis. Inti dan selubung mempunyai indeks bias yang berbeda. Kabel ini mudah dibuat, sehingga kabel serat optic tipe inilah pertama kali yang ada di pasaran.

Serat *Multimode Step Index* digunakan untuk jarak yang pendek dengan *bit rate* yang relatif rendah. Kabel ini cocok untuk transmisi medium. Redaman dari serat *multimode step index* adalah antara 5 sampai dengan 30 dB/km, dan *bandwidth* antara 10 sampai dengan 100 MHz.km. (Fauzi, 2016:11). Serat *multimode step index* digambarkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Serat *Step Index Multimode* (Fauzi, 2016:11)

Kabel fiber optik *multimode* adalah tipe yang digunakan untuk tujuan komersial. Inti lebih besar dari serat *single-mode* memungkinkan ratusan modus cahaya tersebar melalui serat secara bersamaan. Selain itu diameter multimode memiliki serat inti lebih besar (diameter 0.0025 inc atau 62.5 micron) dan berfungsi mengirimkan sinar laser inframerah (panjang gelombang 850-1300nm) (Barry 2005). Pada gambar 2.9 terdapat contoh kabel *multimode*.

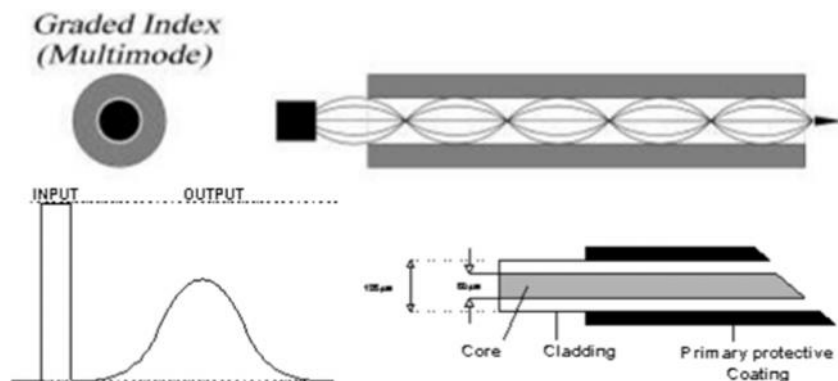


Gambar 2.9 Kabel *multimode* (Pragulo, 2012:22)

c. *Graded Index Multimode*

Tipe ketiga dari serat optic adalah serat optic *graded index multimode*. Kabel ini terdiri dari inti yang mempunyai index bias berkurang sedikit demi sedikit secara *step by step* mulai dari pusat inti sampai batas antara inti dengan selubung. Inti tersebut terdiri dari lapisan-lapisan gelas, masing-masing lapisan mempunyai bias yang berbeda.

Umumnya diameter inti 50 μm dan untuk selubung 125 μm . Berkas cahaya yang merambat melalui kabel ini dibelokkan sampai propagasinya sejajar dengan sumbu serat. Di tempat titik pantul tersebut propagasi diarahkan ke arah sumbu serat. Gambar 2.10 adalah serat *Graded Index Multimode*



Gambar 2.10 Serat *Graded Index Multimode* (Fauzi, 2016:12)

Serat *multimode graded index* mempunyai redaman mulai dari 3 sampai 10 dB/km dan *bandwidth* 1 GHz. Meskipun

mempunyai banyak keuntungan, serat *multimode graded index* sukar pembuatannya dan oleh karena itu harganya menjadi lebih mahal dari pada serat *multimode step index*.
(Fauzi, 2016:12)

2. Splices

Splices merupakan peralatan yang digunakan untuk menyambungkan satu kabel serat optik dengan yang lainnya secara permanen. Ada dua prinsip sambungan yaitu sambungan fusi dan sambungan mekanik. Sambungan fusi menggunakan pancaran listrik untuk mematri dua kabel serat optik secara bersama-sama. Teknik ini memerlukan orang yang ahli dan berpengalaman karena penjajaran kabel serat optik membutuhkan komputer terkontrol untuk mencapai kerugian sesedikit 0.05 dB. Sambungan mekanik semuanya menggunakan elemen biasa, teknik ini lebih mudah diterapkan dilapangan dengan kerugian sekitar 0.2 dB.

3. Konektor

Konektor optik merupakan salah satu perlengkapan kabel serat optik yang berfungsi sebagai penghubung serat. Dalam operasinya konektor mengelilingi serat kecil sehingga cahayanya terbawa secara bersama-sama tepat pada inti dan segaris dengan sumber cahaya (serat lain).

4. Splitter

Splitter merupakan komponen pasif yang dapat memisahkan daya optik dari satu input ke dua atau beberapa output serat. *Splitter* pada PON dikatakan pasif sebab optimasi tidak dilakukan terhadap daya yang digunakan terhadap pelanggan yang jaraknya berbeda dari *node splitter*, sehingga sifatnya *idle* dan cara kerjanya membagi daya optik sama rata.

Jenis-jenis *splitter* antara lain:

- 1:2 (tanpa *back up*)
- 1:4 (tanpa *back up*)
- 1:8 (tanpa *back up*)
- 1:16 (tanpa *back up*)
- 1:32 (tanpa *back up*)
- 2:2 (dengan *back up*)
- 2:4 (dengan *back up*)
- 2:8 (dengan *back up*)
- 2:16 (dengan *back up*)
- 2:32 (dengan *back up*)

Passive splitter memiliki redaman sesuai dengan jenisnya, yaitu seperti yang terdapat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Jenis *Passive Splitter*

Jenis <i>Passive Splitter</i>		Redaman
Tanpa Back Up	Dengan Back Up	(dB)
1:2	2:2	2.7-4.1
1:4	2:4	5.9-7.8
1:8	2:8	8.1-11.4
1:16	2:16	10.5-14.4
1:32	2:32	13.2-18.6

2.1.5.3 Optical Distribution Cabinet (ODC)

Optical Distribution Cabinet (ODC) adalah perangkat pasif yang berfungsi sebagai titik terminasi ujung kabel *feeder* dan pangkal kabel distribusi. Kabel *feeder* yang berkapasitas cukup besar biasanya dibagi menjadi beberapa saluran kabel distribusi pada perangkat ini. Komponen yang terdapat pada *Optical Distribution Cabinet (ODC)* adalah kabel serat optik dan *optical splitter* dengan kapasitas 1:4.

2.1.5.4 Optical Distribution Point (ODP)

Optical Distribution Point (ODP) merupakan titik terminasi ujung kabel distribusi dan kabel *drop*. Kabel distribusi dibagi menjadi beberapa kabel *drop* menggunakan *passive splitter* 1:8. *Optical Distribution Point (ODP)* dapat ditempatkan di tiang maupun tanah antara *Optical Distribution Cabinet (ODC)* dan rumah pelanggan.

2.1.5.5 Optical Network Unit (ONU)

Optikal Network Unit (ONU) adalah perangkat yang mengakhiri salah satu dari *endpoint* atau titik akhir yang didistribusikan oleh ODN. Sinyal optik yang ditransmisikan melalui ODN diubah oleh ONU menjadi sinyal elektrik yang diperlukan untuk *service* pelanggan.

2.1.5.6 Link Power Budget

Link Budget atau loss budget adalah perhitungan dan verifikasi karakteristik operasi pada sistem kabel fiber optik dengan memperhatikan faktor

routing, panjang gelombang cahaya, komponen elektronik, dan panjang kabel. Parameter utama untuk analisa link budget adalah redaman (*attenuation*) dan *bandwidth* atau kecepatan transmisi (*bitrate*) (Pragulo,2012:54). Dalam link budget, variabel yang diperlukan adalah :

1. Daya pemancar OLTE dalam watt/miliwatt atau dBW/dBm
2. Daya sensitivitas penerima OLTE yang diperlukan atau RSL = *Receive Sensitive Level* satuan dalam dBm.
3. Loss atau redaman komponen yang terpasang
4. Gain atau penguatan dari *optical amplifier*

Istilah istilah dalam budget link ;

- a) *Dynamic Range* adalah selisih Daya / power antara pemancar (Tx) dengan daya/power penerima (*Receiver sensitivity*).
- b) *Link Margin* adalah batas loss atau rugi daya yang masih diperbolehkan dalam jaringan kabel fiber optic sesuai ketentuan ITU-T maka besarnya link margin yang memenuhi persyaratan $> \text{RSL} + 3\text{dB}$.

Rumus umum dari *Optical Link Budget* adalah berikut ;

$$P_r = P_{tx} - \Sigma \text{Loss} + \Sigma \text{Gain} + \text{Loss Margin} \quad (2-1)$$

P_r = Power/daya yang harus diterima oleh penerima atau juga sering disebut *receiver sensitivity* (dB)

P_{tx} = Power/daya yang dikirim pemancar (dBW/m)

Loss = Total Redaman pada jaringan kabel FO (dB)

Gain= Total Penguatan pada jaringan kabel FO (dB)

Link Margin = Batas loss atau redaman yang diijinkan pada FO (dB)

(Pragulo,2012:55)

2.1.5.7 Bit Error Rate (BER)

Bit error rate merupakan laju kesalahan bit yang terjadi dalam mentransmisikan sinyal digital. Sensitivitas merupakan daya optik minimum dari sinyal yang datang pada *bit error rate* yang dibutuhkan. Kebutuhan akan BER berbeda-beda pada setiap aplikasi, sebagai contoh pada aplikasi komunikasi membutuhkan BER bernilai 10^{-10} atau lebih baik, pada beberapa komunikasi data membutuhkan BER bernilai sama atau lebih baik dari 10^{-12} . BER untuk sistem komunikasi optik sebesar 10^{-9} . Faktor-faktor yang mempengaruhi BER antara lain *noise*, interferensi, distorsi, sinkronisasi bit, redaman, *multipath fading*, dll.

BER dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{\frac{S}{N} pk}{rms} = 20 \text{ Log } 2Q \quad (2-2)$$

Sehingga diperoleh nilai pendekatan :

$$BER = Pe \quad Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{Q} \quad (2-3)$$

Dimana :

$Q = Q \text{ Factor}$ dan

$Pe = \text{Probability Error}$

Makin tinggi S/N , makin baik mutu komunikasinya. Oleh karena itu, ada suatu batasan minimum dari S/N dalam hubungan telekomunikasi untuk dapat

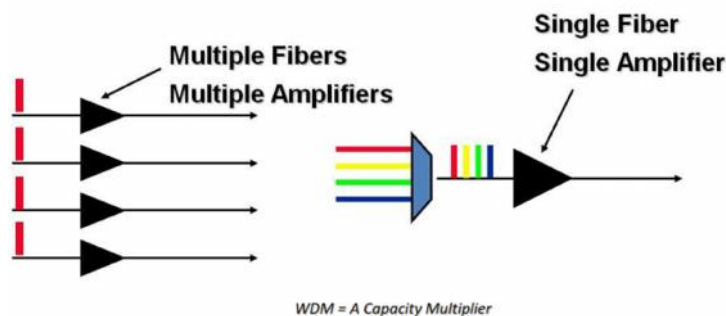
memuaskan konsumen pemakai jasa telekomunikasi. Standar S/N untuk sistem komunikasi serat optik adalah 21,5 dB ($BER = 10^{-9}$)

2.1.5.8 Q factor

Q -factor adalah faktor kualitas yang akan menentukan bagus atau tidaknya kualitas suatu link atau jaringan WDM. Dalam sistem komunikasi serat optik, minimal ukuran Q -factor yang bagus adalah $Q = 6$ untuk $BER = 10^{-9}$, $Q = 7$ untuk $BER = 10^{-12}$ dan $Q = 8$ untuk $BER = 10^{-15}$ dalam *Bit Error Rate* (BER).

2.1.6 Teknologi WDM (*Wavelength Division Multiplexing*)

Konsep WDM pertama kali dipublikasikan pada tahun 1970 dan pada tahun 1978 sistem WDM telah terealisasi di laboratorium. Sistem WDM pertama hanya menggabungkan 2 sinyal. Pada perkembangan WDM, beberapa sistem telah sukses mengakomodasikan sejumlah panjang-gelombang dalam sehelai serat optik yang masing-masing berkapasitas 2,5 Gbps sampai 5 Gbps. Namun penggunaan WDM menimbulkan permasalahan baru yaitu ke-nonlinieran serat optik dan efek dispersi yang semakin kehadirannya semakin *significant* yang menyebabkan terbatasnya jumlah panjang-gelombang 2–8 buah saja di kala itu.



Gambar 2. 11 Teknologi WDM (Pragulo,2012 :97)

Pada gambar 2.12, teknologi WDM pada dasarnya adalah teknologi transport untuk menyalurkan berbagai jenis trafik (data, suara, dan video) secara transparan, dengan menggunakan panjang gelombang (λ) yang berbeda-beda dalam suatu fiber tunggal secara bersamaan. Implementasi WDM dapat diterapkan baik pada jaringan *long haul* (jarak jauh) maupun untuk aplikasi *short haul* (jarak dekat).

2.1.7 WDM – PON

WDM – PON (*Wavelength Division Multiplexing- Passive Optical Network*) adalah konsep inovatif untuk jaringan akses. Menggunakan beberapa panjang gelombang berbeda melalui infrastruktur serat *point to multipoint* fisik yang tidak mengandung komponen aktif. Penggunaan panjang gelombang yang berbeda memungkinkan pemisahan lalu lintas dalam serat fisik yang sama. WDM-PON memungkinkan operator memberikan *bandwidth* tinggi ke beberapa titik akhir jarak jauh. Keuntungan WDM-PON ini adalah kapasitas tinggi per pengguna, keamanan tinggi, dan jangkauan optic yang lebih panjang.

2.1.8 Teknologi GPON dan XG-PON

a. Teknologi GPON

Teknologi *Passive Optical Network* (PON) merupakan teknologi jaringan akses serat optic yang saat ini sedang berkembang. Menurut keputusan DIRJEN POSTEL NO. 268/DIRJEN/2008, *Passive Optical Network* (PON) adalah arsitektur jaringan akses *broadband* berbasis serat optik yang menggunakan perangkat *passive optic*, sehingga dapat digunakan pada konfigurasi *point to multipoint*. Satu serat optik untuk didistribusikan ke pelanggan (*user*). Perangkat untuk melakukan percabangan ini dinamakan *passive splitter*.

Perangkat *splitter* yang digunakan pada jaringan berbasis *Passive Optical Network* (PON) bersifat pasif, artinya tidak melakukan manipulasi sinyal seperti penguatan sinyal optik.

Gigabyte Passive Optical Network adalah layanan multi media dengan menggunakan *bitrate* >1 Gbps yang menggunakan jaringan fiber optik dari *central office* dengan *end costumer*. Kelebihan dari jaringan G-PON tidak memerlukan daya listrik sepanjang jaringan sehingga menghemat daya konsumsi energi listrik. (Pragulo, 2012:102)

GPON menggunakan *Time Division Multiple Access* (TDMA) sebagai teknik *multiple access*, dengan *data rate upstream* sebesar 1,2 Gbps dan menggunakan *broadcast* kearah *downstream* dengan *data rate* sebesar 2.5 Gbps.

Berikut pada table 2.2 adalah spesifikasi layanan *Gigabyte Passive Optical Network* (GPON) berdasarkan rekomendasi ITU-T G.984

Tabel 2.2 Spesifikasi layanan GPON

<i>Items</i>	Deskripsi target
Performansi layanan dan QoS	<i>Full services (19/100 base-t, voice, leased lines)</i>
Bit Rates	2.4 Gbps <i>symmetric</i> dan 1.2 Gbps <i>upstream</i> ; 2.4 Gbps <i>downstream</i>
Jarak pencapaian fisik maksimum	Max 20 Km dan Max 10 Km
Logical Reach	Max 60 km
Branches	Max 64 pada layer fisik

	Max128 pada layer TC
Alokasi panjang gelombang	<i>Downstream : 1480-1500 nm</i> <i>Upstream : 1260-1360 nm</i>
Kelas ODN	Kelas A,B, dan C (sama seperti persyaratan B-PON)

b. Teknologi XG-PON

XG-PON (juga dikenal sebagai 10G-PON) adalah standar jaringan komputer untuk data link, mampu memberikan akses internet bersama hingga 10 Gbit/s (gigabit per detik). XG-PON adalah standar ITU-T generasi berikutnya sebagai lanjutan dari G-PON atau PON. Serat optik dibagi ke banyak pelanggan dalam jaringan dikenal sebagai FTTx. *Passive Optical Network* (PON) telah menjadi cara yang efektif untuk memenuhi tuntutan kinerja dalam jaringan akses.

Prinsip kerja dari XG-PON sendiri sama dengan prinsip kerja GPON, hanya ada pengembangan pada kapasitasnya saja, yaitu untuk XG-PON memiliki kapasitas *downstream* sebesar 10 Gbps dan kapasitas *upstream* sebesar 2.5 Gbps. Berikut pada tabel 2.3 terdapat spesifikasi XG-PON

Tabel 2.3 Spesifikasi XG-PON

<i>Item</i>	<i>Requirement</i>	<i>Remark</i>
<i>Upstream Speed</i>	2.5 Gbit/s XG-PON 1	10 Gbit/s aka XG-PON 2 is for future study
<i>Downstream Speed</i>	10 Gbit/s	

<i>Multiplexing Method</i>	TDMA (up) / TDM (down)	
<i>Loss Budget</i>	29 dB to 31 dB (Nominal class)	Extended class 33 dB under study
<i>Split ratio</i>	1:64 (1:256 in the logical layer)	
<i>Fiber distance</i>	20 km (60 km in the logical layer)	Reach extender under study
<i>Coexistence</i>	1. With G-PON (1310/1490nm) 2. With RF- video (1550 nm)	
<i>Fibre Characteristic</i>	1. ITU-T G 652 2. ITU-T G 657	
<i>BER (Bit Error Rate)</i>	10^{-9}	

Komponen yang akan digunakan pada XG-PON ini hampir sama dengan komponen yang digunakan pada teknologi GPON, hanya saja ada beberapa komponen yang harus diganti agar dapat mendukung teknologi XG-PON ini tetapi masih dengan fungsi yang sama.

2.1.9 Opti System

Opti System merupakan sebuah paket simulasi yang inovatif untuk sistem komunikasi serat optic yang dapat merancang, menguji, dan mengoptimalkan secara virtual, hampir semua link optik di lapisan fisik untuk spectrum yang luas

dari jaringan optic. Perangkat lunak ini merupakan *system level* simulator yang didasarkan pada pemodelan realistis sistem komunikasi serat optic.

Optisystem merupakan suatu simulator yang berbasis pada pemodelan sistem komunikasi optic yang bersifat nyata. *Optisystem* memiliki basis *Graphical User Interface* (GUI) yang menyeluruh yang terdiri dari *layout project*, komponen jaringan, model komponen dan tampilan grafik. *Library optisystem* terdiri dari komponen aktif dan pasif yang tergantung kepada parameter *wavelength*.

Dalam pensimulasian jaringan fiber optic dari ISP ke *end-user* melalui *optisystem*, pemodelan akan dilakukan dengan menggunakan *software optisystem*. Hal ini dilakukan karena *optisystem* merupakan perangkat lunak yang komprehensif yang memungkinkan kita untuk mendesain, menguji, dan mensimulasikan jaringan optic. Selain itu, *optisystem* dilengkapi dengan instrument virtual sehingga kita bisa melakukan penelitian tanpa terkendala oleh ketersediaan peralatan. (Fauzi, 2016:10)

Opti System memiliki *library* yang cukup lengkap untuk komponen-komponennya. Perangkat ini memiliki kemampuan dapat dengan mudah dihubungkan dengan berbagai komponen yang ada di dalamnya.

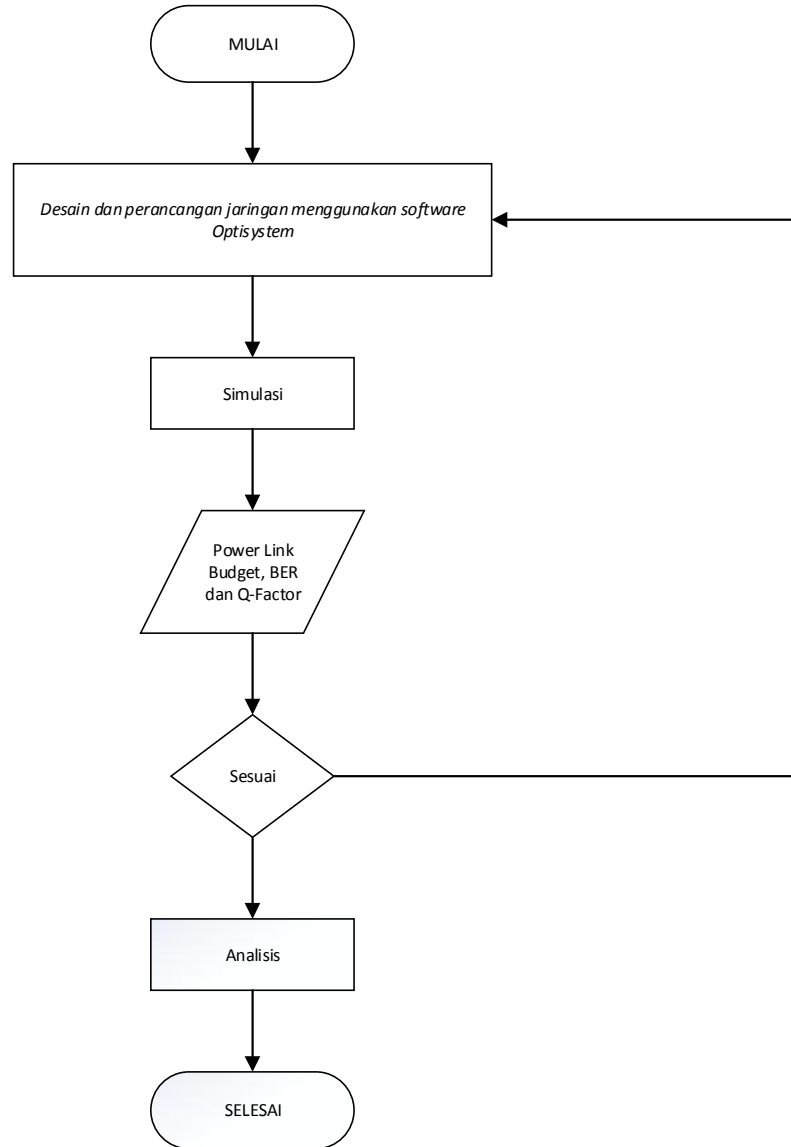
Peneliti melakukan perancangan pada *optisystem* sesuai dengan standar ITU-T untuk XG-PON. Kemudian mengukur *power budget*, BER, dan *Q Factor*. Kemudian peneliti melakukan percobaan dengan merubah nilai daya Tx power pada rancangan, panjang pita, dan jarak pada rancangan di *optisystem*, lalu peneliti mengukur nilai *Bit Error Rate* (BER), *Q-factor* dan *power budget* dan melakukan perhitungan manual.

2.2 Penelitian Terkait

Dalam penyusunan skripsi ini, peneliti sedikit banyak terinspirasi dan mereferensi dari penelitian terdahulu yaitu penelitian yang dilakukan oleh Nur Rizki Yulizar ,dkk ,2011, “ Analisis perancangan teknologi *hybrid* GPON dan XGPON pada jaringan FTTH di perumahan Batununggal”. Mendapatkan hasil perhitungan dan simulasi dari proses migrasi teknologi GPON ke XG-PON yaitu penggabungan jaringan yang dirancang adalah layak dengan memenuhi standard jaringan yang ada denga *Link Power Budget* sebesar -20,5547 dBm untuk GPON dan -20.8247 dBm untuk XG-PON dan BER bernilai 6.86×10^{-29} untuk GPON dan $1,477 \times 10^{-20}$ untuk XG-PON.

2.3 Kerangka Berfikir

Dengan adanya teori yang sudah dijelaskan sebelumnya, maka teori fiber optik tersebut menjadi dasar acuan untuk menganalisis performansi sistem XG-PON. Untuk mengetahui hasil analisis lebih lanjut maka diperlukan studi literature yang komprehensif, melakukan simulasi jaringan dengan menggunakan perangkat lunak, dan menganalisis performansi sistem pada teknologi XG-PON sehingga flowchart penelitian tersebut jelas kemana arah penelitian yang dilakukan. Untuk menjelaskan alur kerangka berfikir dalam penelitian ini, diperlukan *flowchart* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14



Gambar 2. 12 Kerangka Berfikir

Kerangka berfikir dimulai dengan merancang simulasi WDM-PON pada teknologi XG-PON di software Optisystem. Setelah itu dilanjutkan dengan melakukan simulasi dan pengukuran BER, Q-Factor, dan *Power Link Budget*. apabila hasil yang telah di lanjutkan memenuhi standard maka penelitian selesai, tetapi apa bila hasil tidak sesuai setandar, maka harus mengulang lagi rancangan simulasinya.

2.4 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan landasan teori yang telah dijelaskan sebelumnya maka hipotesis pada penelitian ini yaitu sistem (*Wavelength Division Multiplexing*)WDM-PON pada teknologi XG-PON dapat dirancang dan dianalisis dengan spesifikasi yaitu *bit rate* 10 Gbit/s untuk downlink, BER (*Bit Error Rate*) 10^{-9} dan *Optikal Power Budget* antara -29 dB – 31 dB.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta pada bulan Agustus 2016 sampai Januari 2017. Proses penelitian berupa merancang dan menganalisis sistem. Waktu tersebut cukup efektif untuk melakukan penelitian.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat penunjang, seperti perangkat lunak yang digunakan melakukan simulasi rancangan dan komputer personal yang digunakan untuk melakukan simulasi penelitian.

Alat penelitian yang digunakan adalah satu unit komputer (laptop) dengan *processor* Core Duo T4200, memori yang terpasang (RAM) adalah 1GB, dan jenis *system* 32-bit *operating system*.

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak *optisystem 7.0*. *Optisystem 7.0* merupakan sebuah paket simulasi yang inovatif untuk sistem komunikasi serat optik yang dapat merancang, menguji, dan mengoptimalkan secara virtual, hampir semua link optik di lapisan fisik untuk spectrum yang luas dari jaringan optik.

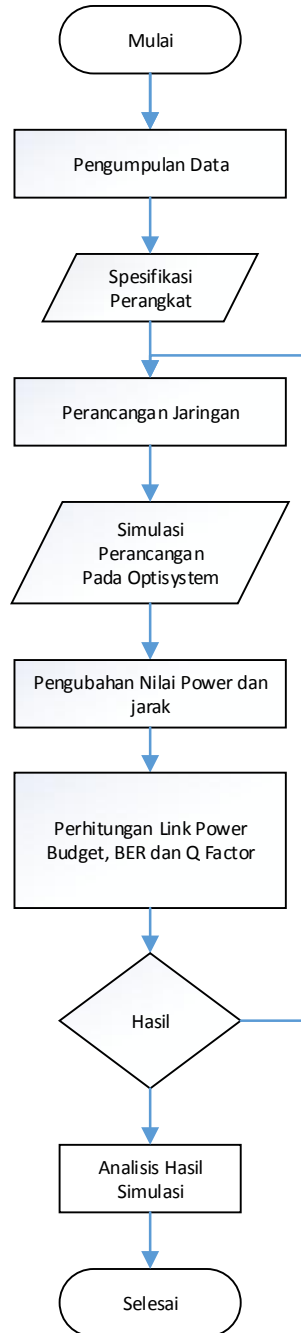
3.3 Diagram Alir Penelitian

Kebanyakan orang mendefinisikan penelitian sebagai upaya sistematis untuk mencari jawaban suatu masalah. Jawaban tersebut dapat berupa jawaban

abstrak dan umum atau yang kongkret dan spesifik. (Sandjaja dan Albertus, 2006:41b)

Jawaban yang abstrak dan umum mengungkap hubungan antar variabel penelitian. Sedangkan, pada penelitian jawaban yang kongkret dan spesifik, seorang peneliti berupaya memberikan pemecahan dari suatu masalah yang diteliti.

Penelitian mengenai analisis performansi sistem WDM-PON pada teknologi XG-PON ini akan menghasilkan suatu jawaban yang mengungkap antar variabel-variabel yang mempengaruhi performansi sistem WDM pada teknologi XG-PON. Diagram alir penelitian ini adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



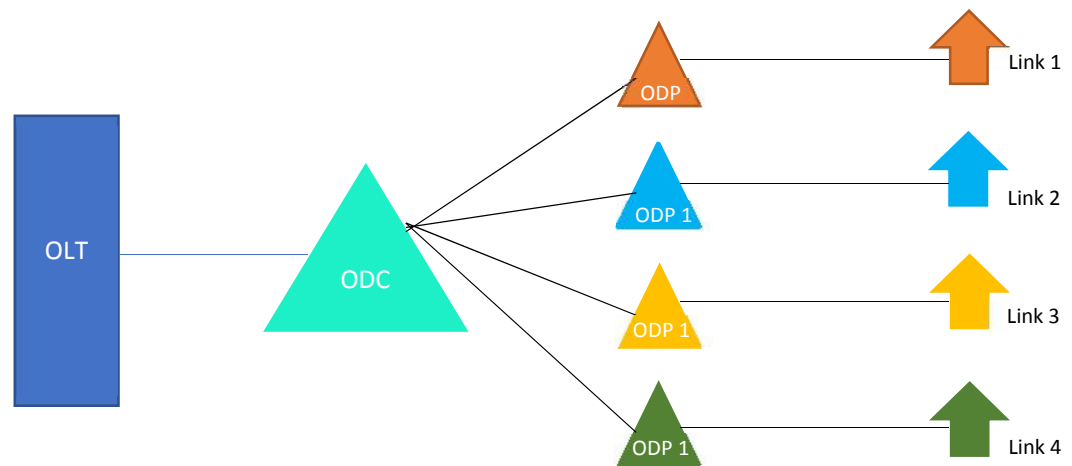
Gambar 3. 1 Diagram Alir

Dalam penelitian ini, peneliti mengawali dengan pengumpulan data mengenai WDM dan teknologi XGPON. Selanjutnya peneliti melakukan pencarian spesifikasi perangkat yang dapat digunakan pada teknologi XGPON.

Kemudian peneliti melakukan pembuatan rancangan yang diawali dengan menentukan *software* yang digunakan. *Software* yang digunakan adalah *Optisystem*. Dengan menggunakan *software* ini peneliti melakukan percobaan simulasi jaringan optik XG-PON dengan mengubah nilai *power*, dan jarak. Kemudian peneliti melakukan perhitungan manual link *power budget*, *bit error rate* (BER), dan *Q-factor*. Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan manual, peneliti akan melakukan analisis simulasi rancangan yang telah dibuat pada *software optisystem* untuk kemudian dibandingkan dengan perhitungan manual yang telah dilakukan.

3.4 Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data

Teknik dan prosedur yang dilakukan peneliti dalam pengumpulan data yang pertama adalah membuat rancangan simulasi penelitian. Rancangan simulasi penelitiannya seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2



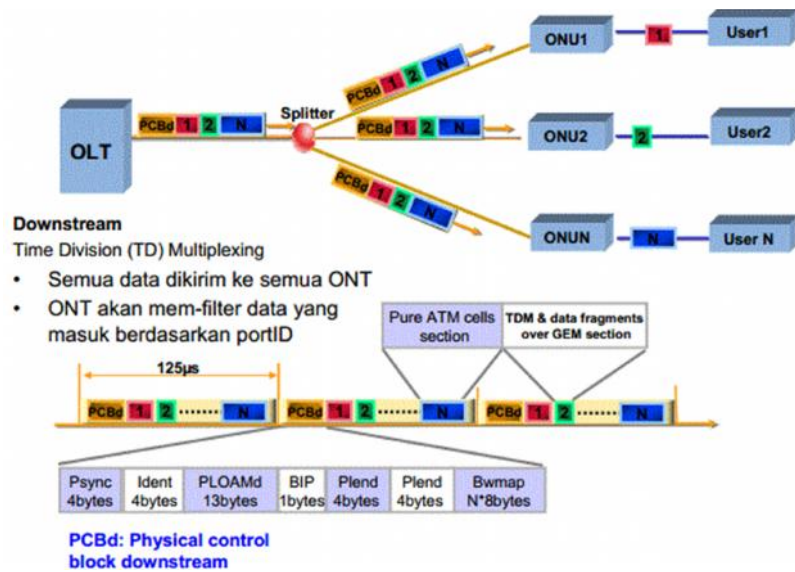
Gambar 3. 2 Rancangan simulasi

Simulasi diawali dengan membuat 1 buah OLT (*Optical Line Terminal*) sebagai daya input (Ptx) dalam dBm. Lalu dilanjutkan dengan menempatkan satu buah ODC (*Optical Distribution Cabinet*) yang berisi *splitter* 1:4. Kemudian

dilanjutkan dengan menempatkan 4 buah ODP (*Optical Distribution Point*) yang masing masing berisi *splitter* 1:8. Untuk keluaranya ditempatkan 1 buah link dari masing masing ODP, sehingga keluarannya 4 link /ONU (*Optical Network Unit*).

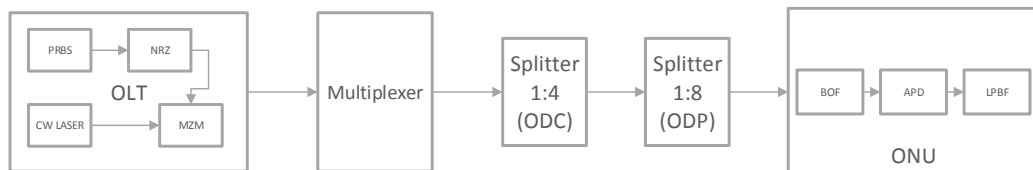
3.4.1 Perencanaan Model Jaringan

Berdasarkan skenario penelitian akan dilakukan pada sisi *downstream* dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3. 3 XG-PON downstream structure (Yulizar,dkk,2011:20)

Berikut ilustrasi dari perencanaan model jaringan pada *software optisystem*, ditunjukkan pada gambar 3.4 :



Gambar 3. 4 Perencanaan model jaringan

Pada gambar 3.4 dalam blok OLT (*Optical Line Terminal*) bit-bit dibangkitkan secara acak oleh generator *Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS) kemudian bit-bit tersebut dikodekan dengan teknik pengkodean *Non-Return-to-Zero* (NRZ), selanjutnya akan dipancarkan menggunakan *Continuus Wave* (CW) Laser, lalu dimodulasikan menggunakan *Mach-zender Modulator* (MZM).

Setelah beberapa tahapan pada OLT sinyal diteruskan ke WDM berupa serat optic yang berujung pada blok ONU (*Optical Network Unit*) atau sering disebut *receiver* (penerima). Pada blok ini sinyal yang diterima berupa sinyal cahaya yang akan diubah ke sinyal listrik dengan menggunakan *Photodetector APD* kemudian keluarannya masuk ke *Low Pass Bessel Filter*.

3.4.2 Instrumen Pengukuran

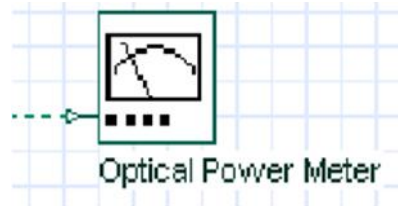
Dalam mengumpulkan data sebagai bahan analisis penelitian analisis performansi sistem WDM-PON pada teknologi XGPON dengan menggunakan *optisystem* ini, peneliti menggunakan simulasi ukur menggunakan *Optical Power Meter* (OPM).

3.4.3.1 *Optical Power Meter* (OPM)

Optical Power Meter (OPM) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui besar daya suatu jaringan serat optic. *Optical Power Meter* dipakai untuk mengukur total loss atau total rugi-rugi dalam sebuah link optic baik saat instalasi atau pemeliharaan.

$$L \text{ dB} = P_{out} \text{ dBm} - P_{in}(\text{dBm}) \quad (3-1)$$

Optical Power Meter mengukur daya pada spectrum panjang gelombang yang dipilih. Misalkan, untuk pengukuran 1310 nm, sebuah *Optical Power Meter* mungkin memiliki panjang gelombang 1260-1360nm, dan 1480-1550 nm untuk pengukuran pada 1490 nm, serta 1540-1565 nm untuk pengukuran pada 1550 nm. Gambar 3.5 adalah lambang *optical power meter* pada *optisystem*



Gambar 3. 5 *Optical Power Meter* pada *Optisystem*

Pengukuran yang dapat diukur menggunakan *Optical Power Meter* adalah

1. Peralatan
2. Rugi-rugi *Patch Cord*
3. Pengukuran *Link*
4. Pengukuran Return Loss
5. *Optical Link Budget*

Selanjutnya pada *optisystem* peneliti menggunakan BER Analyzer seperti yang terlihat pada gambar 3.6, untuk menampilkan BER yang didapat.



Gambar 3. 6 *BER Analyzer* pada *Optisystem*

3.4.4. Tabel Pengukuran

Setelah melakukan pengukuran, pengumpulan data hasil pengukuran dilakukan dengan mengisi tabel 3.1

Tabel 3. 1 Pengukuran daya menggunakan *Optisystem*

P_{Tx} (dBm)	P_{Rx} (dBm)			
	Link 1	Link 2	Link 3	Link 4
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Nilai $\Sigma Loss$ dapat diketahui dengan menggunakan rumus

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \Sigma Loss \quad (3-2)$$

Tabel 3.2 dibawah ini untuk pengukuran Q Factor dan BER

Tabel 3. 2 Tabel Pengukuran Q-Factor dan BER

Jarak (KM)	Link 1		Link 2		Link 3		Link 4	
	Q Factor	BER	Q Factor	BER	Q Factor	BER	Q Factor	BER
1								
2								
3								
Dst								

Untuk mengetahui total *link power budet* dilakukan dengan menggunakan persamaan dan mengisi Tabel 3.3 .

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \Sigma Loss + \Sigma Gain - Loss Margin \quad (3-3)$$

Tabel 3. 3 Pengukuran *Link Power Budget*

No. Link	P_{Tx}	$\Sigma Loss$	$\Sigma Gain$	Loss Margin	P_{Rx}
1					
2					
3					
4					

Setelah mendapatkan hasil perhitungan *link power budget* maka dilanjutkan dengan perhitungan BER (*Bit Error Rate*) dan Q factor menggunakan persamaan dibawah ini dengan mengisi tabel 3.4

3.5 Teknik Analisis Data

Analisis adalah kegiatan penyelidikan, penguraian, dan penelaahan terhadap suatu permasalahan untuk mendapatkan pengetahuan dan pemahaman secara sistematis.

Setelah melakukan pengumpulan data, spesifikasi perangkat, dan melakukan perancangan simulasi dengan menggunakan *software optisystem*, maka langkah selanjutnya adalah menggunakan rumus-rumus perhitungan *link budget*, *BER*, dan *Q factor* seperti yang telah dibahas di BAB II, untuk mendapatkan analisis faktor apa sajakah yang menyumbang dalam sistem WDM-PON pada teknologi XGPON.

Hasil analisis berupa kesimpulan apakah rancangan yang diteliti mempunyai hasil *link power budget* yang sesuai dengan standar teknologi XGPON yaitu sebesar -29dB - 31dB serta *BER* 10^{-9} dan *Q factor* 6. Hasil analisis data penelitian akan dibahas pada BAB IV.

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1. Deskripsi Hasil Penelitian

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan skenario penelitian yang digunakan pada simulasi ini. Dimana skenario yang dipakai adalah meneliti pada sisi *downstream*. Yaitu penelitian dimulai dari sisi OLT (*Optical Line Terminal*) dilanjutkan oleh ODN (*Optical Distribution Network*) lalu diakhiri dengan ONU (*Optical Network Unit*).

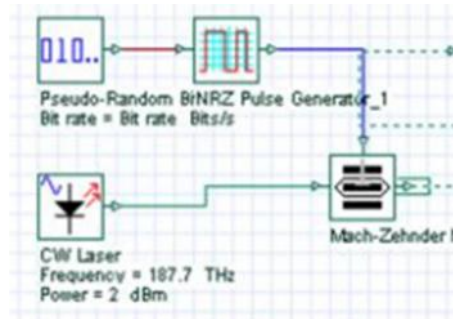
4.1.1 Pembuatan Simulasi Penelitian

Pembuatan simulasi diawali dengan mendownload dan menginstall *software optisystem* pada laptop. Setelah itu membuat rangkaian seperti di skenario.

A. OLT (*Optical Line Terminal*)

Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya, OLT(*Optical Line Terminal*) adalah perangkat aktif yang menyediakan *interface* antara sistem *Passive Optical Network (PON)* dalam penelitian ini menggunakan XGPON, dengan penyedia layanan (*Service Provider*) yang terdiri dari PRBS (*Pseudo Random Binary Sequence*) yang berfungsi membangkitkan bit-bit secara acak, kemudian bit-bit tersebut dikodekan dengan teknik pengkodean *Non-Return-to Zero(NRZ)*, selanjutnya akan dipancarkan menggunakan *Continuous wave*

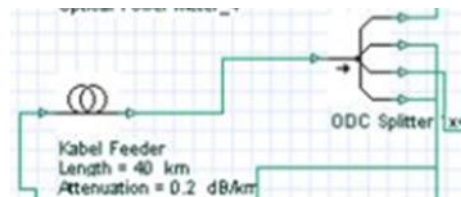
(CW) laser, lalu dimodulasikan menggunakan *Mach-Zender Modulator* (MZM). Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 simulasi OLT pada Optisystem

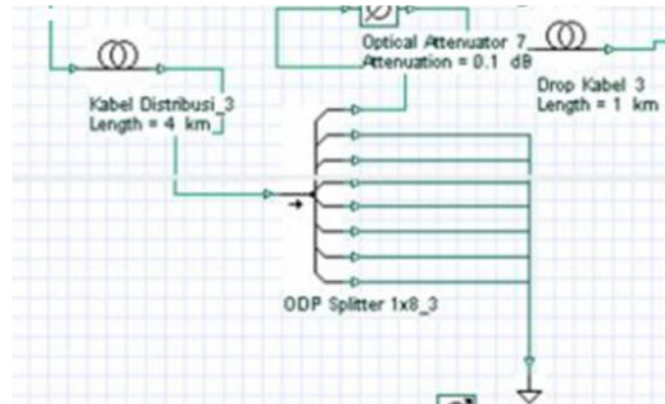
B. ODN (*Optical Distribution Network*)

Pada gambar 4.2, ODN (*Optical Distribution Network*), adalah jaringan antara perangkat OLT-ONU. ODN menyediakan sarana transmisi optic dari OLT terhadap pengguna dan sebaliknya. ODN ini terdiri dari beberapa perangkat yaitu ODC (*Optical Distribution Cabinet*) yang berfungsi sebagai titik terminasi ujung kabel *feeder* dan pangkal kabel distribusi. Komponen yang terdapat pada ODC (*Optical Distribution Cabinet*) ini adalah kabel serat optic dan *optical splitter* dengan kapasitas 1:4.



Gambar 4.2 ODN terdiri dari kabel *feeder* dan ODC *splitter*

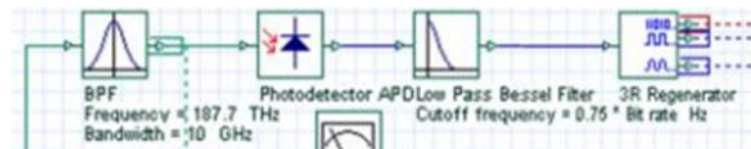
Kemudian dilanjutkan dengan gambar 4.3 ODP (*Optical Distribution Point*), yang merupakan titik terminasi ujung kabel distribusi dan kabel *drop*. Kabel distribusi dibagi menjadi beberapa kabel *drop* menggunakan *passive splitter* 1:8.



Gambar 4.3 ODP pada *optisystem*

C. ONU (*Optical Network Unit*)

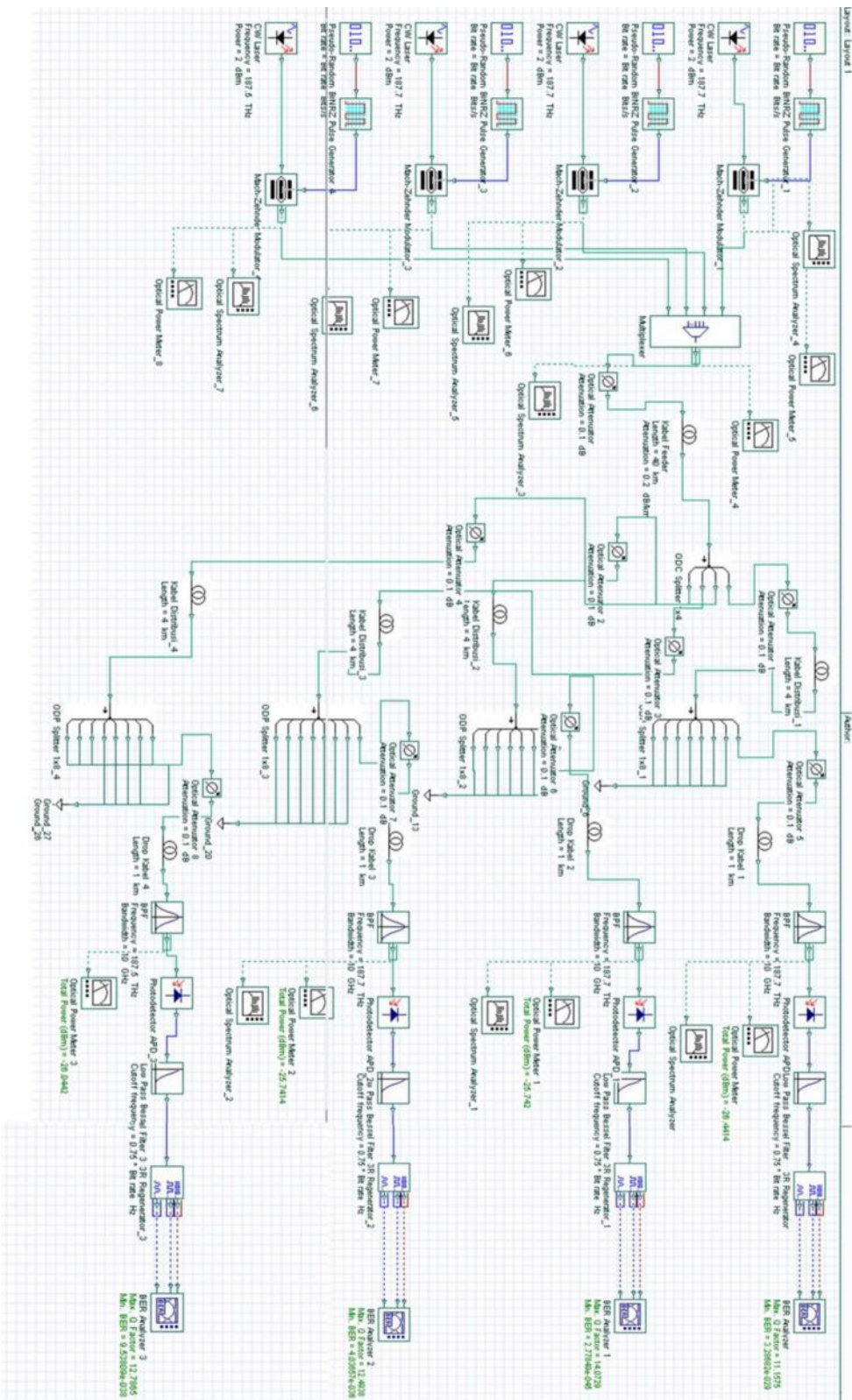
Optical Network Unit (ONU) atau *Optical Network Terminal* (ONT) menyediakan *interface* antara jaringan optik dengan perangkat pelanggan. Sinyal optik yang ditransmisikan melalui jaringan optik, diubah oleh *Optical Network Unit* (ONU) menjadi sinyal elektrik yang diperlukan pelanggan. Pada gambar 4.4 adalah ONU pada *optisystem*



Gambar 4.4 ONU pada *optisystem*

Pada blok sinyal yang diterima berupa sinyal cahaya yang akan diubah ke sinyal listrik dengan menggunakan *Photodetector APD* kemudian keluarannya masuk ke *Low Pass Bessel Filter*.

Karena menggunakan WDM-PON maka simulasi dibuat menjadi beberapa masukan yang akan menjadi satu keluaran setelah melalui *multiplexer*. Jadi rancangan keseluruhan dari simulasi sistem WDM-PON pada teknologi XGPON adalah seperti ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Simulasi WDM-PON XG-PON pada Optisystem

4.1.2 Pengukuran hasil simulasi

Seperti yang telah disebutkan pada bab III, pengukuran menggunakan *power meter* dan *BER Analyzer* pada tabel 4.1 terdapat hasil pengukuran P_{Rx}

Tabel 4.1 Hasil pengukuran P_{Rx}

P_{Tx} (dBm)	P_{Rx} (dBm)			
	<i>Link 1</i>	<i>Link 2</i>	<i>Link 3</i>	<i>Link 4</i>
2	-25.54	-25.54	-25.54	-25.84
3	-24.54	-24.54	-24.54	-24.84
4	-23.54	-23.54	-23.54	-23.84
5	-22.54	-22.54	-22.54	-22.84
6	-21.54	-21.54	-21.54	-21.84
7	-20.54	-20.54	-20.54	-20.84
8	-19.54	-19.54	-19.54	-19.84

Dibawah ini tabel 4.2 adalah hasil pengukuran Q Factor dan BER

Tabel 4.2 Hasil pengukuran *Q Factor* dan BER terhadap jarak

Jarak (KM)	Link 1		Link 2		Link 3		Link 4	
	Q Factor	BER	Q Factor	BER	Q Factor	BER	Q Factor	BER
10	25.47	2.0×10^{-143}	28.36	2.3×10^{-177}	23.98	1.8×10^{-127}	26.38	1.1×10^{-153}
11	23.47	3.4×10^{-122}	26.5	4.1×10^{-155}	23.69	2.1×10^{-124}	24.92	2.1×10^{-137}
12	22.67	4.3×10^{-114}	23.25	6.6×10^{-120}	23.93	6.1×10^{-127}	24.17	1.9×10^{-129}
13	19.94	7.7×10^{-110}	21.39	6.9×10^{-102}	23.9	1.4×10^{-126}	22.77	3.9×10^{-115}
14	20.69	1.7×10^{-107}	19.78	1.9×10^{-101}	21.37	1.1×10^{-101}	22.58	2.7×10^{-113}
15	21.18	6.2×10^{-100}	19.48	7.9×10^{-100}	20.15	1.2×10^{-90}	21.9	1.2×10^{-106}
16	19.66	2.1×10^{-86}	22.13	7.9×10^{-109}	18.79	3.8×10^{-79}	20.96	6.1×10^{-98}
17	18.79	4.0×10^{-79}	21.02	1.9×10^{-98}	19.08	1.6×10^{-81}	18.29	4.3×10^{-75}
18	17.63	6.6×10^{-70}	19.52	3.4×10^{-85}	18.36	1.2×10^{-75}	18.58	2.1×10^{-77}
19	16.11	9.8×10^{-59}	16.94	1.0×10^{-64}	17.83	1.8×10^{-71}	17.65	4.7×10^{-70}
20	15.75	3.4×10^{-56}	15.56	6.0×10^{-55}	17.16	2.3×10^{-66}	17.05	1.5×10^{-65}
21	16.24	1.2×10^{-59}	16.26	8.7×10^{-60}	16.19	2.7×10^{-59}	16.22	1.7×10^{-59}
22	15.43	5.1×10^{-54}	17.82	2.4×10^{-71}	14.54	3.1×10^{-48}	15.47	2.5×10^{-54}
23	14.64	6.8×10^{-49}	16.80	1.1×10^{-63}	14.72	2.1×10^{-49}	15.32	2.6×10^{-53}
24	13.91	2.5×10^{-44}	13.85	5.9×10^{-44}	14.25	2.1×10^{-46}	14.50	5.4×10^{-48}
25	11.97	2.4×10^{-33}	12.33	2.7×10^{-35}	14.28	1.3×10^{-46}	13.69	5.4×10^{-43}
26	12.17	2.1×10^{-34}	12.08	6.4×10^{-34}	12.80	7.7×10^{-38}	13.43	1.9×10^{-41}
27	12.07	6.9×10^{-34}	12.47	5.1×10^{-36}	11.58	2.5×10^{-31}	12.76	1.2×10^{-37}

28	11.97	2.4×10^{-33}	12.75	1.4×10^{-37}	11.41	1.7×10^{-30}	12.15	2.6×10^{-34}
29	12.04	1.0×10^{-33}	12.17	2.1×10^{-34}	11.82	1.4×10^{-32}	11.40	1.9×10^{-30}
30	11.22	1.4×10^{-29}	11.53	4.6×10^{-31}	11.54	4.0×10^{-31}	11.08	7.0×10^{-29}
31	9.12	3.4×10^{-20}	9.85	3.3×10^{-23}	10.57	1.9×10^{-26}	10.58	1.7×10^{-26}
32	10.01	6.2×10^{-24}	9.12	3.6×10^{-20}	9.68	1.8×10^{-22}	10.36	1.7×10^{-25}
33	9.21	1.6×10^{-20}	9.78	6.1×10^{-23}	9.04	7.2×10^{-20}	9.81	4.7×10^{-23}
34	9.73	1.0×10^{-22}	10.07	3.6×10^{-24}	8.52	7.3×10^{-18}	9.86	2.9×10^{-23}
35	9.04	7.2×10^{-20}	9.63	2.7×10^{-22}	8.77	8.3×10^{-19}	9.26	9.4×10^{-21}
36	7.92	1.1×10^{-15}	8.47	1.2×10^{-17}	8.67	2.1×10^{-18}	8.26	6.8×10^{-17}
37	7.36	8.8×10^{-14}	7.24	2.1×10^{-13}	8.12	2.2×10^{-16}	8.16	1.5×10^{-16}
38	7.67	8.4×10^{-15}	7.13	4.9×10^{-13}	7.38	7.3×10^{-14}	7.78	3.5×10^{-15}
39	7.40	6.4×10^{-14}	8.03	4.5×10^{-16}	6.85	3.4×10^{-12}	7.69	6.9×10^{-15}
40	7.06	7.8×10^{-13}	7.60	1.4×10^{-14}	6.71	9.4×10^{-12}	6.94	1.8×10^{-12}
41	6.65	1.3×10^{-11}	7.36	8.8×10^{-14}	6.97	1.4×10^{-12}	6.9	2.3×10^{-12}
42	6.13	4.2×10^{-10}	6.53	3.2×10^{-11}	6.53	3.2×10^{-11}	6.72	8.6×10^{-12}
43	5.74	4.7×10^{-9}	5.53	1.6×10^{-8}	6.16	3.6×10^{-10}	6.6	2.0×10^{-11}
44	5.74	4.4×10^{-9}	5.66	7.1×10^{-9}	6.18	3.1×10^{-10}	5.85	2.3×10^{-9}
45	5.4	3.1×10^{-8}	5.86	2.2×10^{-9}	5.53	1.5×10^{-8}	5.73	5.0×10^{-9}
46	5.45	2.4×10^{-8}	5.71	5.3×10^{-9}	5.41	3.1×10^{-8}	5.57	1.2×10^{-8}
47	5.3	5.5×10^{-8}	5.37	3.8×10^{-8}	5.13	1.4×10^{-7}	5.47	2.2×10^{-8}
48	4.64	1.6×10^{-6}	4.70	9.4×10^{-7}	5.00	1.8×10^{-7}	4.50	3.0×10^{-7}
49	4.50	3.3×10^{-6}	4.25	1×10^{-5}	4.70	1×10^{-5}	4.80	7.7×10^{-7}

50	4.33	$7.3 \cdot 10^{-6}$	4.34	$6.8 \cdot 10^{-6}$	4.3	$8.7 \cdot 10^{-6}$	4.50	$2.6 \cdot 10^{-6}$
-----------	------	---------------------	------	---------------------	-----	---------------------	------	---------------------

Nilai $\Sigma Loss$ dapat diketahui dengan menggunakan rumus

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \Sigma Loss \quad (4-1)$$

$$\Sigma Loss = P_{Tx} - P_{Rx} \quad (4-2)$$

Tabel 4.3 Perhitungan Total Loss Link 1

Link 1

PTx (dBm)	PRx (dBm)	Perhitungan $\Sigma Loss$
2	-25.54	$2 - -25.54 = 27.54$
3	-24.54	$3 - -24.54 = 27.54$
4	-23.54	$4 - -23.54 = 27.54$
5	-22.54	$5 - -22.54 = 27.54$
6	-21.54	$6 - -21.54 = 27.54$
7	-20.54	$7 - -20.54 = 27.54$
8	-19.54	$8 - -19.54 = 27.54$

Tabel 4.4 Perhitungan *Total Loss Link 2*

PTx (dBm)	PRx (dBm)	Perhitungan
Σ Loss		
2	-25.54	2 - - 25.54 = 27.54
3	-24.54	3 - - 24.54 = 27.54
4	-23.54	4 - - 23.54 = 27.54
5	-22.54	5 - - 22.54 = 27.54
6	-21.54	6 - - 21.54 = 27.54
7	-20.54	7 - - 20.54 = 27.54
8	-19.54	8 - - 19.54 = 27.54

Tabel 4.5 Perhitungan *Total Loss Link 3*

PTx (dBm)	PRx (dBm)	Perhitungan
Σ Loss		
2	-25.54	2 - - 25.54 = 27.54
3	-24.54	3 - - 24.54 = 27.54
4	-23.54	4 - - 23.54 = 27.54
5	-22.54	5 - - 22.54 = 27.54
6	-21.54	6 - - 21.54 = 27.54
7	-20.54	7 - - 20.54 = 27.54
8	-19.54	8 - - 19.54 = 27.54

Tabel 4.6 Perhitungan *Total Loss Link 4*

PTx (dBm)	PRx (dBm)	Perhitungan
$\Sigma Loss$		
2	-25.84	2 - - 25.84 = 27.84
3	-24.84	3 - - 24.84 = 27.84
4	-23.84	4 - - 23.84 = 27.84
5	-22.84	5 - - 22.84 = 27.84
6	-21.84	6 - - 21.84 = 27.84
7	-20.84	7 - - 20.84 = 27.84
8	-19.84	8 - - 19.84 = 27.84

Untuk mengetahui total *link power budet* dilakukan dengan menggunakan persamaan dan mengisi tabel 4.7

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \Sigma Loss + \Sigma Gain - Loss Margin \quad (4-3)$$

Tabel 4.7 Perhitungan *Total Link Power Budget*

No. Link	P_{Tx}	$\Sigma Loss$	$\Sigma Gain$	Loss Margin	P_{Rx}
1	3	27.54	0	3	-27.54
2	3	27.54	0	3	-27.54
3	3	27.54	0	3	-27.53
4	3	27.84	0	3	-27.84

Setelah mendapatkan hasil perhitungan *link power budget* maka dilanjutkan dengan perhitungan BER (*Bit Error Rate*) dan Q factor menggunakan persamaan dibawah ini dengan mengisi tabel 4.8

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

Tabel 4.8 Perhitungan BER dan Q-Factor

Jarak (KM)	Link 1		Link 2		Link 3		Link 4	
	Q Factor	BER	Q Factor	BER	Q Factor	BER	Q Factor	BER
10	25.47	0	28.36	0	23.98	0	26.38	0
11	23.47	0	26.5	0	23.69	0	24.92	0
12	22.67	0	23.25	0	23.93	0	24.17	0
13	19.94	0	21.39	0	23.9	0	22.77	0
14	20.69	0	19.78	0	21.37	0	22.58	0
15	21.18	0	19.48	0	20.15	$1.3 \cdot 10^{-90}$	21.9	0
16	19.66	$2.3 \cdot 10^{-86}$	22.13	0	18.79	$4.5 \cdot 10^{-79}$	20.96	$7.6 \cdot 10^{-98}$
17	18.79	$4.5 \cdot 10^{-79}$	21.02	$2.1 \cdot 10^{-98}$	19.08	$1.8 \cdot 10^{-81}$	18.29	$4.9 \cdot 10^{-75}$
18	17.63	$7.2 \cdot 10^{-70}$	19.52	$3.7 \cdot 10^{-85}$	18.36	$1.3 \cdot 10^{-75}$	18.58	$2.3 \cdot 10^{-77}$
19	16.11	$1.0 \cdot 10^{-58}$	16.94	$1.0 \cdot 10^{-64}$	17.83	$1.8 \cdot 10^{-71}$	17.65	$4.7 \cdot 10^{-70}$
20	15.75	$3.4 \cdot 10^{-56}$	15.56	$6.8 \cdot 10^{-55}$	17.16	$2.6 \cdot 10^{-66}$	17.05	$1.7 \cdot 10^{-65}$
21	16.24	$1.3 \cdot 10^{-59}$	16.26	$9.5 \cdot 10^{-60}$	16.19	$2.9 \cdot 10^{-59}$	16.22	$1.8 \cdot 10^{-59}$

22	15.43	5.1×10^{-54}	17.82	2.4×10^{-71}	14.54	3.3×10^{-48}	15.47	2.7×10^{-54}
23	14.64	7.8×10^{-49}	16.80	1.2×10^{-63}	14.72	2.4×10^{-49}	15.32	2.8×10^{-53}
24	13.91	2.7×10^{-44}	13.85	6.3×10^{-44}	14.25	2.2×10^{-46}	14.50	6.0×10^{-48}
25	11.97	2.5×10^{-33}	12.33	3.1×10^{-35}	14.28	1.4×10^{-46}	13.69	5.8×10^{-43}
26	12.17	2.2×10^{-34}	12.08	6.7×10^{-34}	12.80	8.2×10^{-38}	13.43	2.0×10^{-41}
27	12.07	7.6×10^{-34}	12.47	5.4×10^{-36}	11.58	2.6×10^{-31}	12.76	1.3×10^{-37}
28	11.97	2.5×10^{-33}	12.75	1.5×10^{-37}	11.41	1.8×10^{-30}	12.15	2.8×10^{-34}
29	12.04	1.1×10^{-33}	12.17	2.2×10^{-34}	11.82	1.5×10^{-32}	11.40	2.1×10^{-30}
30	11.22	1.6×10^{-29}	11.53	4.6×10^{-31}	11.54	4.1×10^{-31}	11.08	7.9×10^{-29}
31	9.12	3.8×10^{-20}	9.85	3.4×10^{-23}	10.57	2.0×10^{-26}	10.58	1.8×10^{-26}
32	10.01	6.9×10^{-24}	9.12	3.8×10^{-20}	9.68	1.8×10^{-22}	10.36	1.9×10^{-25}
33	9.21	1.6×10^{-20}	9.78	6.9×10^{-23}	9.04	7.9×10^{-20}	9.81	5.1×10^{-23}
34	9.73	1.1×10^{-22}	10.07	3.7×10^{-24}	8.52	8.0×10^{-18}	9.86	3.1×10^{-23}
35	9.04	7.9×10^{-20}	9.63	3.01×10^{-22}	8.77	9.0×10^{-19}	9.26	1.0×10^{-20}
36	7.92	1.2×10^{-15}	8.47	1.2×10^{-17}	8.67	2.1×10^{-18}	8.26	7.3×10^{-17}
37	7.36	9.3×10^{-14}	7.24	2.2×10^{-13}	8.12	2.3×10^{-16}	8.16	1.6×10^{-16}
38	7.67	8.7×10^{-15}	7.13	5.1×10^{-13}	7.38	8.0×10^{-14}	7.78	3.6×10^{-15}
39	7.40	6.9×10^{-14}	8.03	4.9×10^{-16}	6.85	3.7×10^{-12}	7.69	7.4×10^{-15}
40	7.06	8.4×10^{-13}	7.60	1.5×10^{-14}	6.71	9.9×10^{-12}	6.94	1.9×10^{-12}
41	6.65	1.5×10^{-11}	7.36	9.3×10^{-14}	6.97	1.6×10^{-12}	6.9	2.6×10^{-12}
42	6.13	4.5×10^{-10}	6.53	3.3×10^{-11}	6.53	3.3×10^{-11}	6.72	9.2×10^{-12}
43	5.74	4.8×10^{-9}	5.53	1.6×10^{-8}	6.16	3.7×10^{-10}	6.6	2.1×10^{-11}

44	5.74	$4.8 \cdot 10^{-9}$	5.66	$7.8 \cdot 10^{-9}$	6.18	$3.2 \cdot 10^{-10}$	5.85	$2.5 \cdot 10^{-9}$
45	5.4	$3.4 \cdot 10^{-8}$	5.86	$2.3 \cdot 10^{-9}$	5.53	$1.6 \cdot 10^{-8}$	5.73	$5.1 \cdot 10^{-9}$
46	5.45	$2.6 \cdot 10^{-8}$	5.71	$5.8 \cdot 10^{-9}$	5.41	$3.2 \cdot 10^{-8}$	5.57	$1.3 \cdot 10^{-8}$
47	5.3	$5.9 \cdot 10^{-8}$	5.37	$4.0 \cdot 10^{-8}$	5.13	$1.5 \cdot 10^{-7}$	5.47	$2.3 \cdot 10^{-8}$
48	4.64	$1.8 \cdot 10^{-6}$	4.70	$1.3 \cdot 10^{-6}$	5.00	$2.9 \cdot 10^{-7}$	4.50	$3.5 \cdot 10^{-6}$
49	4.50	$3.5 \cdot 10^{-6}$	4.25	$1.1 \cdot 10^{-5}$	4.70	$1.3 \cdot 10^{-6}$	4.80	$8.2 \cdot 10^{-7}$
50	4.33	$7.8 \cdot 10^{-6}$	4.34	$7.4 \cdot 10^{-6}$	4.3	$8.9 \cdot 10^{-6}$	4.50	$3.5 \cdot 10^{-6}$

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

4.2.1 Analisis BER simulasi dan BER perhitungan terhadap Jarak

Berdasarkan hasil yang telah didapat, peneliti akan menganalisis perbandingan hasil pengukuran pada simulasi dengan hasil perhitungan manual. Dan peneliti akan menunjukkan hasil BER pada simulasi. Pada tabel 4.9 menunjukkan perbandingan simulasi dengan perhitungan sesuai link yang diteliti.

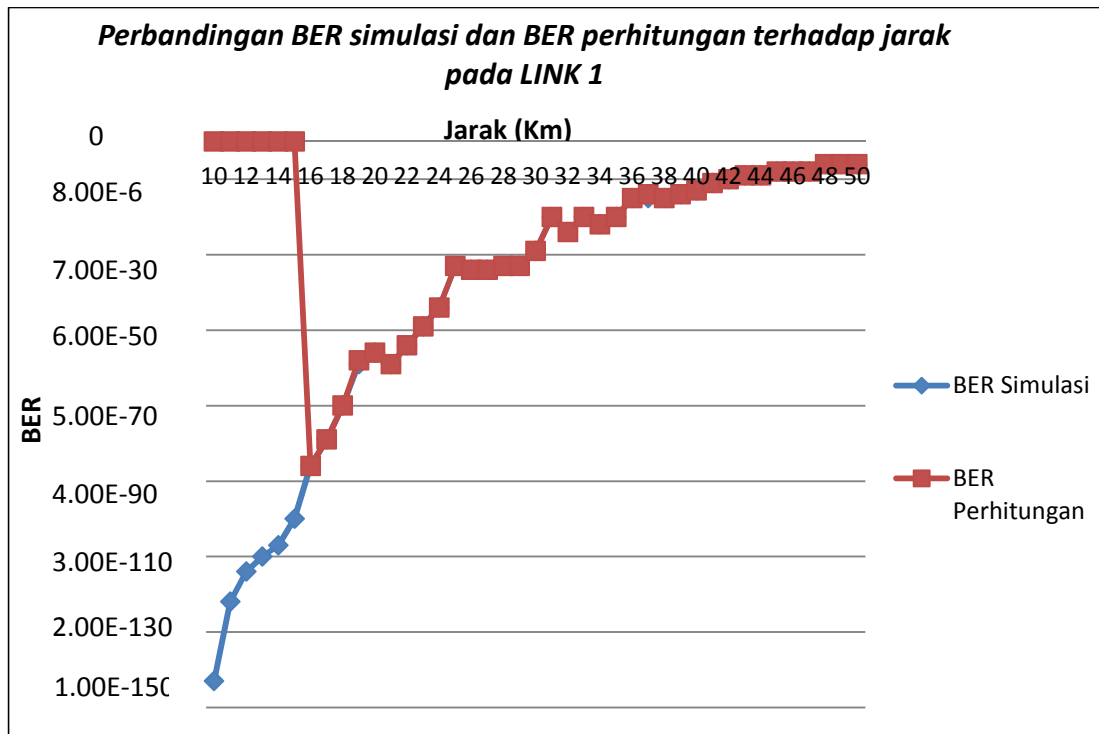
Tabel 4.9 Perbandingan hasil pengukuran simulasi dengan perhitungan pada

Link 1

Jarak (KM)	Link 1		
	Q Factor	BER (Simulasi)	BER (Perhitungan)
10	25.47	2.0×10^{-143}	0
11	23.47	3.4×10^{-122}	0
12	22.67	4.3×10^{-114}	0
13	19.94	7.7×10^{-110}	0
14	20.69	1.7×10^{-107}	0
15	21.18	6.2×10^{-100}	0
16	19.66	2.1×10^{-86}	2.3×10^{-86}
17	18.79	4.0×10^{-79}	4.5×10^{-79}
18	17.63	6.6×10^{-70}	7.2×10^{-70}
19	16.11	9.8×10^{-59}	1.0×10^{-58}
20	15.75	3.4×10^{-56}	3.4×10^{-56}
21	16.24	1.2×10^{-59}	1.3×10^{-59}
22	15.43	5.1×10^{-54}	5.1×10^{-54}
23	14.64	6.8×10^{-49}	7.8×10^{-49}
24	13.91	2.5×10^{-44}	2.7×10^{-44}
25	11.97	2.4×10^{-33}	2.5×10^{-33}
26	12.17	2.1×10^{-34}	2.2×10^{-34}

27	12.07	6.9×10^{-34}	7.6×10^{-34}
28	11.97	2.4×10^{-33}	2.5×10^{-33}
29	12.04	1.0×10^{-33}	1.1×10^{-33}
30	11.22	1.4×10^{-29}	1.6×10^{-29}
31	9.12	3.4×10^{-20}	3.8×10^{-20}
32	10.01	6.2×10^{-24}	6.9×10^{-24}
33	9.21	1.6×10^{-20}	1.6×10^{-20}
34	9.73	1.0×10^{-22}	1.1×10^{-22}
35	9.04	7.2×10^{-20}	7.9×10^{-20}
36	7.92	1.1×10^{-15}	1.2×10^{-15}
37	7.36	8.8×10^{-14}	9.3×10^{-14}
38	7.67	8.4×10^{-15}	8.7×10^{-15}
39	7.40	6.4×10^{-14}	6.9×10^{-14}
40	7.06	7.8×10^{-13}	8.4×10^{-13}
41	6.65	1.3×10^{-11}	1.5×10^{-11}
42	6.13	4.2×10^{-10}	4.5×10^{-10}
43	5.74	4.7×10^{-9}	4.8×10^{-9}
44	5.74	4.4×10^{-9}	4.8×10^{-9}
45	5.4	3.1×10^{-8}	3.4×10^{-8}
46	5.45	2.4×10^{-8}	2.6×10^{-8}
47	5.3	5.5×10^{-8}	5.9×10^{-8}
48	4.64	1.6×10^{-6}	1.8×10^{-6}

49	4.50	$3.3 \cdot 10^{-6}$	$3.5 \cdot 10^{-6}$
50	4.33	$7.3 \cdot 10^{-6}$	$7.8 \cdot 10^{-6}$



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan BER simulasi dan BER perhitungan pada Link 1

Pada gambar 4.6 terlihat bahwa BER pada pengukuran dan BER pada perhitungan *Link 1* hasilnya hampir sama, pada BER perhitungan yang menunjukkan angka 0 karena pada kalkulator tidak dapat menunjukkan hasil pangkat -100.

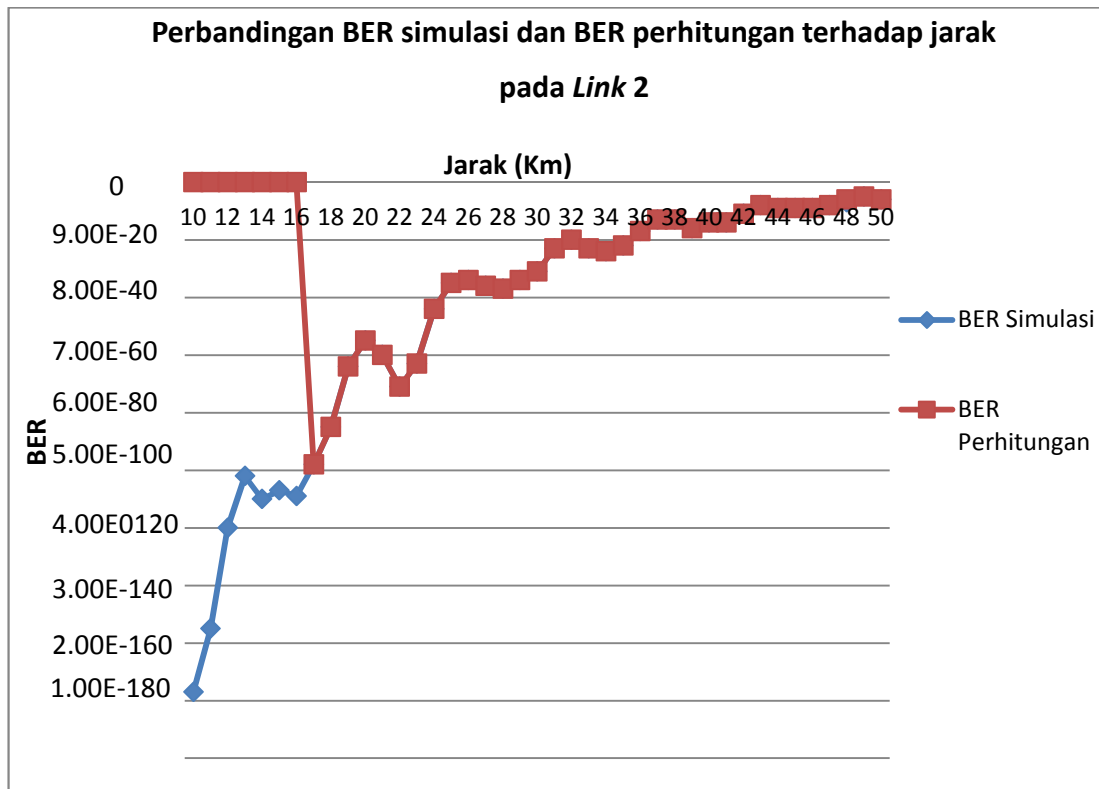
Tabel 4.10 Perbandingan hasil pengukuran simulasi dengan perhitungan pada

Link 2

Jarak (KM)	Link 2		
	Q Factor	BER (Simulasi)	BER (Perhitungan)
10	28.36	2.3×10^{-177}	0
11	26.5	4.1×10^{-155}	0
12	23.25	6.6×10^{-120}	0
13	21.39	6.9×10^{-102}	0
14	19.78	1.9×10^{-101}	0
15	19.48	7.9×10^{-100}	0
16	22.13	7.9×10^{-109}	0
17	21.02	1.9×10^{-98}	2.1×10^{-98}
18	19.52	3.4×10^{-85}	3.7×10^{-85}
19	16.94	1.0×10^{-64}	1.0×10^{-64}
20	15.56	6.0×10^{-55}	6.8×10^{-55}
21	16.26	8.7×10^{-60}	9.5×10^{-60}
22	17.82	2.4×10^{-71}	2.4×10^{-71}
23	16.80	1.1×10^{-63}	1.2×10^{-63}
24	13.85	5.9×10^{-44}	6.3×10^{-44}
25	12.33	2.7×10^{-35}	3.1×10^{-35}
26	12.08	6.4×10^{-34}	6.7×10^{-34}

27	12.47	$5.1 \cdot 10^{-36}$	$5.4 \cdot 10^{-36}$
28	12.75	$1.4 \cdot 10^{-37}$	$1.5 \cdot 10^{-37}$
29	12.17	$2.1 \cdot 10^{-34}$	$2.2 \cdot 10^{-34}$
30	11.53	$4.6 \cdot 10^{-31}$	$4.6 \cdot 10^{-31}$
31	9.85	$3.3 \cdot 10^{-23}$	$3.4 \cdot 10^{-23}$
32	9.12	$3.6 \cdot 10^{-20}$	$3.8 \cdot 10^{-20}$
33	9.78	$6.1 \cdot 10^{-23}$	$6.9 \cdot 10^{-23}$
34	10.07	$3.6 \cdot 10^{-24}$	$3.7 \cdot 10^{-24}$
35	9.63	$2.7 \cdot 10^{-22}$	$3.01 \cdot 10^{-22}$
36	8.47	$1.2 \cdot 10^{-17}$	$1.2 \cdot 10^{-17}$
37	7.24	$2.1 \cdot 10^{-13}$	$2.2 \cdot 10^{-13}$
38	7.13	$4.9 \cdot 10^{-13}$	$5.1 \cdot 10^{-13}$
39	8.03	$4.5 \cdot 10^{-16}$	$4.9 \cdot 10^{-16}$
40	7.60	$1.4 \cdot 10^{-14}$	$1.5 \cdot 10^{-14}$
41	7.36	$8.8 \cdot 10^{-14}$	$9.3 \cdot 10^{-14}$
42	6.53	$3.2 \cdot 10^{-11}$	$3.3 \cdot 10^{-11}$
43	5.53	$1.6 \cdot 10^{-8}$	$1.6 \cdot 10^{-8}$
44	5.66	$7.1 \cdot 10^{-9}$	$7.8 \cdot 10^{-9}$
45	5.86	$2.2 \cdot 10^{-9}$	$2.3 \cdot 10^{-9}$
46	5.71	$5.3 \cdot 10^{-9}$	$5.8 \cdot 10^{-9}$
47	5.37	$3.8 \cdot 10^{-8}$	$4.0 \cdot 10^{-8}$
48	4.70	$9.4 \cdot 10^{-7}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$

49	4.25	$1 \cdot 10^{-5}$	$1.1 \cdot 10^{-5}$
50	4.34	$6.8 \cdot 10^{-6}$	$7.4 \cdot 10^{-6}$



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan BER simulasi dan BER perhitungan pada *Link 2*

Seperti pada Link 1, chart link 2 gambar 4.7 menunjukkan bahwa BER simulasi dengan BER perhitungan adalah sama.

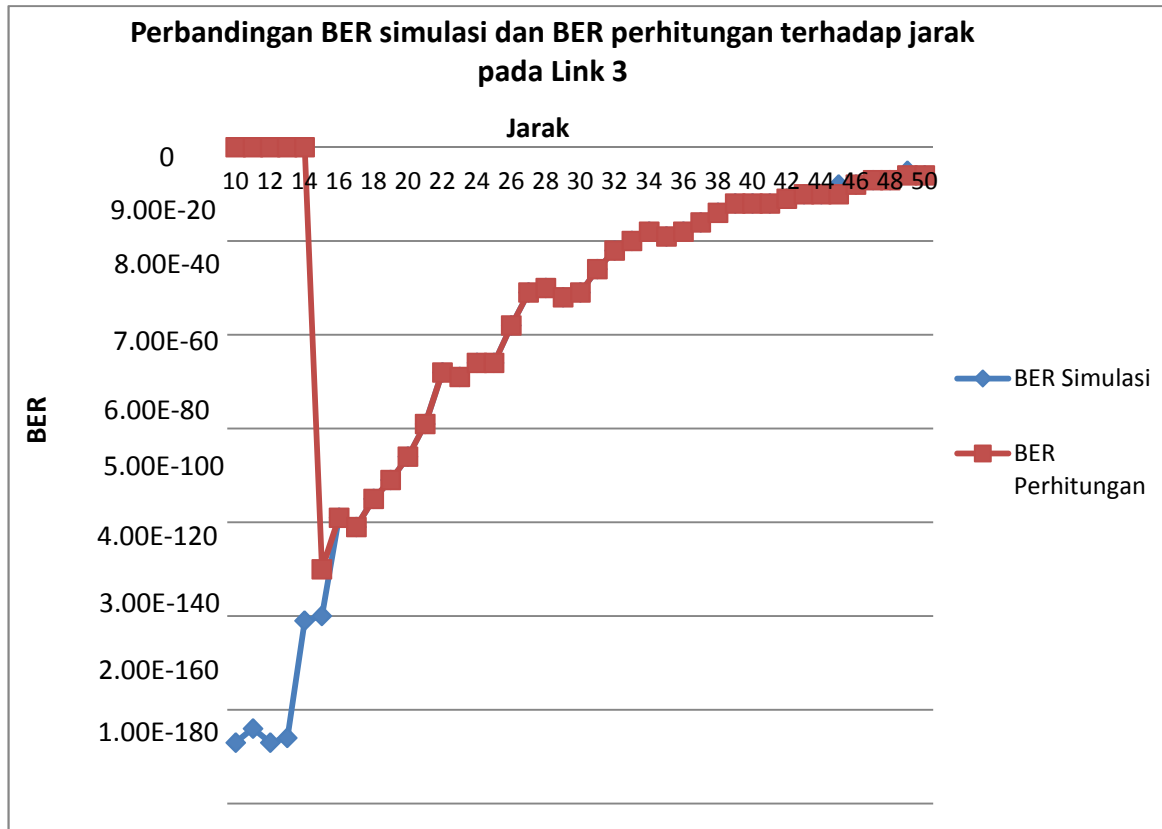
Tabel 4.11 Perbandingan hasil pengukuran simulasi dengan perhitungan pada

Link 3

Jarak (KM)	Link 3		
	Q Factor	BER (Simulasi)	BER (Perhitungan)
10	23.98	1.8×10^{-127}	0
11	23.69	2.1×10^{-124}	0
12	23.93	6.1×10^{-127}	0
13	23.9	1.4×10^{-126}	0
14	21.37	1.1×10^{-101}	0
15	20.15	1.2×10^{-90}	1.3×10^{-90}
16	18.79	3.8×10^{-79}	4.5×10^{-79}
17	19.08	1.6×10^{-81}	1.8×10^{-81}
18	18.36	1.2×10^{-75}	1.3×10^{-75}
19	17.83	1.8×10^{-71}	1.8×10^{-71}
20	17.16	2.3×10^{-66}	2.6×10^{-66}
21	16.19	2.7×10^{-59}	2.9×10^{-59}
22	14.54	3.1×10^{-48}	3.3×10^{-48}
23	14.72	2.1×10^{-49}	2.4×10^{-49}
24	14.25	2.1×10^{-46}	2.2×10^{-46}
25	14.28	1.3×10^{-46}	1.4×10^{-46}
26	12.80	7.7×10^{-38}	8.2×10^{-38}

27	11.58	$2.5 \cdot 10^{-31}$	$2.6 \cdot 10^{-31}$
28	11.41	$1.7 \cdot 10^{-30}$	$1.8 \cdot 10^{-30}$
29	11.82	$1.4 \cdot 10^{-32}$	$1.5 \cdot 10^{-32}$
30	11.54	$4.0 \cdot 10^{-31}$	$4.1 \cdot 10^{-31}$
31	10.57	$1.9 \cdot 10^{-26}$	$2.0 \cdot 10^{-26}$
32	9.68	$1.8 \cdot 10^{-22}$	$1.8 \cdot 10^{-22}$
33	9.04	$7.2 \cdot 10^{-20}$	$7.9 \cdot 10^{-20}$
34	8.52	$7.3 \cdot 10^{-18}$	$8.0 \cdot 10^{-18}$
35	8.77	$8.3 \cdot 10^{-19}$	$9.0 \cdot 10^{-19}$
36	8.67	$2.1 \cdot 10^{-18}$	$2.1 \cdot 10^{-18}$
37	8.12	$2.2 \cdot 10^{-16}$	$2.3 \cdot 10^{-16}$
38	7.38	$7.3 \cdot 10^{-14}$	$8.0 \cdot 10^{-14}$
39	6.85	$3.4 \cdot 10^{-12}$	$3.7 \cdot 10^{-12}$
40	6.71	$9.4 \cdot 10^{-12}$	$9.9 \cdot 10^{-12}$
41	6.97	$1.4 \cdot 10^{-12}$	$1.6 \cdot 10^{-12}$
42	6.53	$3.2 \cdot 10^{-11}$	$3.3 \cdot 10^{-11}$
43	6.16	$3.6 \cdot 10^{-10}$	$3.7 \cdot 10^{-10}$
44	6.18	$3.1 \cdot 10^{-10}$	$3.2 \cdot 10^{-10}$
45	5.53	$1.5 \cdot 10^{-8}$	$1.6 \cdot 10^{-8}$
46	5.41	$3.1 \cdot 10^{-8}$	$3.2 \cdot 10^{-8}$
47	5.13	$1.4 \cdot 10^{-7}$	$1.5 \cdot 10^{-7}$
48	5.00	$1.8 \cdot 10^{-7}$	$2.9 \cdot 10^{-7}$

49	4.70	$1 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$
50	4.3	$8.7 \cdot 10^{-6}$	$8.9 \cdot 10^{-6}$



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan BER simulasi dan BER perhitungan pada *Link 3*

Pada gambar 4.7 ini terdapat sedikit selisih antara BER simulasi dengan BER Perhitungan.

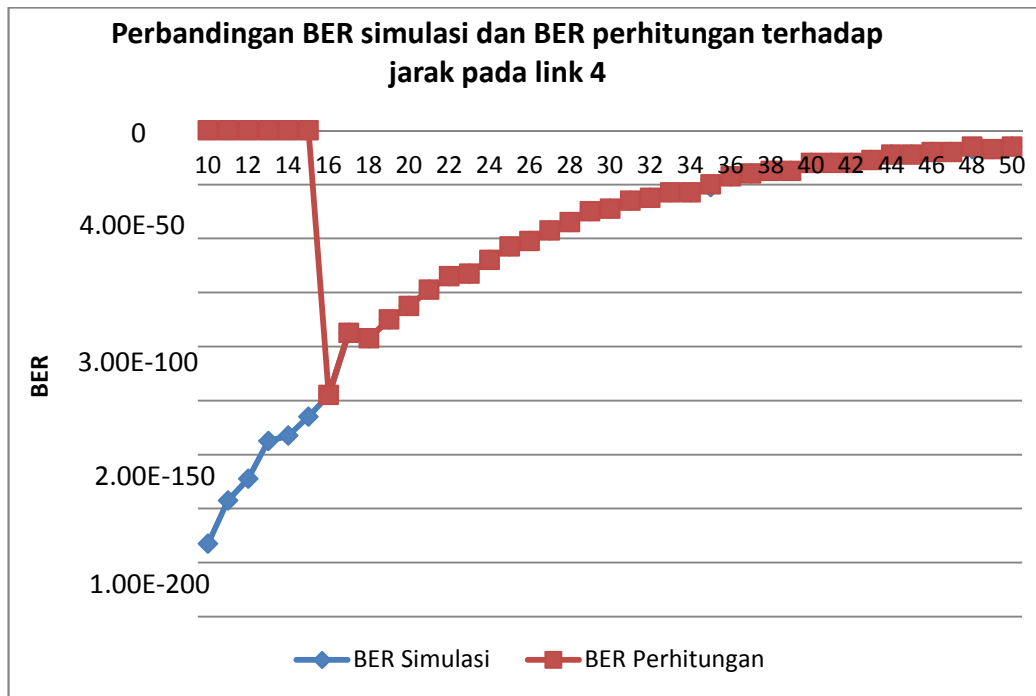
Tabel 4.12 Perbandingan hasil pengukuran simulasi dengan perhitungan pada

Link 4

Jarak (KM)	Link 4		
	Q Factor	BER (Simulasi)	BER (Perhitungan)
10	26.38	1.1×10^{-153}	0
11	24.92	2.1×10^{-137}	0
12	24.17	1.9×10^{-129}	0
13	22.77	3.9×10^{-115}	0
14	22.58	2.7×10^{-113}	0
15	21.9	1.2×10^{-106}	0
16	20.96	6.1×10^{-98}	7.6×10^{-98}
17	18.29	4.3×10^{-75}	4.9×10^{-75}
18	18.58	2.1×10^{-77}	2.3×10^{-77}
19	17.65	4.7×10^{-70}	4.7×10^{-70}
20	17.05	1.5×10^{-65}	1.7×10^{-65}
21	16.22	1.7×10^{-59}	1.8×10^{-59}
22	15.47	2.5×10^{-54}	2.7×10^{-54}
23	15.32	2.6×10^{-53}	2.8×10^{-53}
24	14.50	5.4×10^{-48}	6.0×10^{-48}
25	13.69	5.4×10^{-43}	5.8×10^{-43}
26	13.43	1.9×10^{-41}	2.0×10^{-41}

27	12.76	$1.2 \cdot 10^{-37}$	$1.3 \cdot 10^{-37}$
28	12.15	$2.6 \cdot 10^{-34}$	$2.8 \cdot 10^{-34}$
29	11.40	$1.9 \cdot 10^{-30}$	$2.1 \cdot 10^{-30}$
30	11.08	$7.0 \cdot 10^{-29}$	$7.9 \cdot 10^{-29}$
31	10.58	$1.7 \cdot 10^{-26}$	$1.8 \cdot 10^{-26}$
32	10.36	$1.7 \cdot 10^{-25}$	$1.9 \cdot 10^{-25}$
33	9.81	$4.7 \cdot 10^{-23}$	$5.1 \cdot 10^{-23}$
34	9.86	$2.9 \cdot 10^{-23}$	$3.1 \cdot 10^{-23}$
35	9.26	$9.4 \cdot 10^{-21}$	$1.0 \cdot 10^{-20}$
36	8.26	$6.8 \cdot 10^{-17}$	$7.3 \cdot 10^{-17}$
37	8.16	$1.5 \cdot 10^{-16}$	$1.6 \cdot 10^{-16}$
38	7.78	$3.5 \cdot 10^{-15}$	$3.6 \cdot 10^{-15}$
39	7.69	$6.9 \cdot 10^{-15}$	$7.4 \cdot 10^{-15}$
40	6.94	$1.8 \cdot 10^{-12}$	$1.9 \cdot 10^{-12}$
41	6.9	$2.3 \cdot 10^{-12}$	$2.6 \cdot 10^{-12}$
42	6.72	$8.6 \cdot 10^{-12}$	$9.2 \cdot 10^{-12}$
43	6.6	$2.0 \cdot 10^{-11}$	$2.1 \cdot 10^{-11}$
44	5.85	$2.3 \cdot 10^{-9}$	$2.5 \cdot 10^{-9}$
45	5.73	$5.0 \cdot 10^{-9}$	$5.1 \cdot 10^{-9}$
46	5.57	$1.2 \cdot 10^{-8}$	$1.3 \cdot 10^{-8}$
47	5.47	$2.2 \cdot 10^{-8}$	$2.3 \cdot 10^{-8}$
48	4.50	$3.0 \cdot 10^{-7}$	$3.5 \cdot 10^{-6}$

49	4.80	$7.7 \cdot 10^{-7}$	$8.2 \cdot 10^{-7}$
50	4.50	$2.6 \cdot 10^{-6}$	$3.5 \cdot 10^{-6}$



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan BER simulasi dan BER perhitungan pada Link 4

Seperti yang terlihat pada gambar 4.9, hasil BER simulasi dan BER Perhitungan adalah kurang lebih sama dengan selisih yang sangat sedikit yaitu nol koma.

Penelitian di atas menjelaskan bahwa jarak sangat mempengaruhi nilai BER (*Bit Error Rate*) dimana semakin kecil jaraknya maka semakin kecil nilai BER (*Bit Error Rate*), hal ini berarti bahwa *error*nya sedikit, dan semakin besar jaraknya maka

nilai BER (*Bit Error Rate*) nya semakin buruk yang berarti akan banyak terjadi *error* pada saat pengiriman data.

4.2.2 Analisis Total Loss Budget

1. Total *loss* pada link pertama pada jarak 20 Km sebesar 27.54 dB sudah memenuhi rekomendasi ITU-T yang maksimal sebesar 29-31 dB.
2. Total *loss* pada link pertama pada jarak 20 Km sebesar 27.54 dB sudah memenuhi rekomendasi ITU-T yang maksimal sebesar 29-31 dB.
3. Total *loss* pada link pertama pada jarak 20 Km sebesar 27.54 dB sudah memenuhi rekomendasi ITU-T yang maksimal sebesar 29-31 dB.
4. Total *loss* pada link pertama pada jarak 20 Km sebesar 27.84 dB sudah memenuhi rekomendasi ITU-T yang maksimal sebesar 29-31 dB.

Peneliti menggunakan jarak 20 Km karena sesuai dengan rekomendasi ITU-T. Berdasarkan data di atas dapat dianalisis bahwa seluruh *link* pada simulasi XG-PON telah memenuhi standarisasi yang ditentukan oleh ITU-T.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian dalam skripsi ini membahas mengenai analisis Perancangan Sistem WDM-PON pada Teknologi XG-PON menggunakan simulasi *Optisystem*. Melalui hasil analisis penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil perancangan dapat dinyatakan bahwa sistem WDM-PON pada teknologi XG-PON dapat di rancang dan dianalisis dengan menggunakan *software optisystem*
2. Hasil analisis dari perancangan sistem WDM-PON pada Teknologi XG-PON menggunakan simulasi *Optisystem* telah memenuhi spesifikasi berdasarkan standar ITU – T yaitu *Power Link Budget* sebesar -27.54dBm , BER 3.4×10^{-56} dan Q factor 15.75. Selain itu, seluruh *link* objek penelitian juga telah memenuhi rekomendasi panjang kabel maksimal XG-PON yaitu 20 km.
3. Berdasarkan tabel perbandingan BER terhadap jarak, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin dekat panjang kabel maka semakin kecil BERnya yang artinya bagus karena *error* nya sedikit, sedangkan bila panjang kabel semakin jauh maka BERnya menjadi semakin besar yang artinya tidak bagus karena akan banyak terjadi *error*.

5.2 Saran

1. Peneliti sebaiknya terlebih dahulu mengetahui tiap perangkat optik yang dibutuhkan dengan ketetapan yang telah ditentukan agar dalam proses simulasi lebih cepat mendapatkan hasil.
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat membandingkan hasil pengukuran nyata dengan hasil simulasi dan perhitungan.

DAFTAR PUSTAKA

Fakultas Teknik (2015). *Buku Panduan Penyusunan Skripsi dan Non Skripsi*. Jakarta :UNJ

Kaiser,Gerd. (2000). *Optical Fiber Communication, 3rd edition, Mc Graw-Hill United States of America*

Maharani, Hanna Savira. (2015) . *Analisis link budget jaringan komunikasi Fiber to the home (FTTH) di STO Pondok Kelapa [Skripsi]*. Jakarta : Fakultas Teknik, Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika, Universitas Negeri Jakarta.

Pragulo, Sukhendro.(2012). *Modul Pembelajaran Serat Optik Kelas XI*. Jakarta : SMK Telkom Sandhy Putra, Jakarta

PT Telekomunikasi Indonesia. (2012). *Panduan Desain FTTH*. Jakarta : PT Telekomunikasi Indonesia, Tbk Divisi Akses

Widodo, Thomas Sri. (1995). *Komunikasi Serat Optik*. Andi Offset, Yogyakarta

Yudistira, Made. (2003). *Komunikasi Serat Optik di PT. Telekomunikasi Indonesia Kadistel Solo*, Surabaya

Yulizar, Nur Rizki, dkk. (2011). *Analisis perancangan teknologi hybrid GPON dan XGPON pada jaringan FTTH di perumahan Batununggal*. Bandung : Fakultas Teknik elekto , Universitas Telkom .

LAMPIRAN

International Telecommunication Union

ITU-T

TELECOMMUNICATION
STANDARDIZATION SECTOR
OF ITU

G.987

(06/2012)

SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA,
DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS

Digital sections and digital line system – Optical line
systems for local and access networks

**10-Gigabit-capable passive optical network
(XG-PON) systems: Definitions, abbreviations
and acronyms**

Recommendation ITU-T G.987



ITU-T G-SERIES RECOMMENDATIONS

TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS

INTERNATIONAL TELEPHONE CONNECTIONS AND CIRCUITS	G.100–G.199
GENERAL CHARACTERISTICS COMMON TO ALL ANALOGUE CARRIER-TRANSMISSION SYSTEMS	G.200–G.299
INDIVIDUAL CHARACTERISTICS OF INTERNATIONAL CARRIER TELEPHONE SYSTEMS ON METALLIC LINES	G.300–G.399
GENERAL CHARACTERISTICS OF INTERNATIONAL CARRIER TELEPHONE SYSTEMS ON RADIO-RELAY OR SATELLITE LINKS AND INTERCONNECTION WITH METALLIC LINES	G.400–G.449
COORDINATION OF RADIOTELEPHONY AND LINE TELEPHONY	G.450–G.499
TRANSMISSION MEDIA AND OPTICAL SYSTEMS CHARACTERISTICS	G.600–G.699
DIGITAL TERMINAL EQUIPMENTS	G.700–G.799
DIGITAL NETWORKS	G.800–G.899
DIGITAL SECTIONS AND DIGITAL LINE SYSTEM	G.900–G.999
General	G.900–G.909
Parameters for optical fibre cable systems	G.910–G.919
Digital sections at hierarchical bit rates based on a bit rate of 2048 kbit/s	G.920–G.929
Digital line transmission systems on cable at non-hierarchical bit rates	G.930–G.939
Digital line systems provided by FDM transmission bearers	G.940–G.949
Digital line systems	G.950–G.959
Digital section and digital transmission systems for customer access to ISDN	G.960–G.969
Optical fibre submarine cable systems	G.970–G.979
Optical line systems for local and access networks	G.980–G.989
Access networks	G.990–G.999
MULTIMEDIA QUALITY OF SERVICE AND PERFORMANCE – GENERIC AND USER-RELATED ASPECTS	G.1000–G.1999
TRANSMISSION MEDIA CHARACTERISTICS	G.6000–G.6999
DATA OVER TRANSPORT – GENERIC ASPECTS	G.7000–G.7999
PACKET OVER TRANSPORT ASPECTS	G.8000–G.8999
ACCESS NETWORKS	G.9000–G.9999

For further details, please refer to the list of ITU-T Recommendations.

Recommendation ITU-T G.987

10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms

Summary

Recommendation ITU-T G.987 contains the common definitions, acronyms, abbreviations and conventions of the ITU-T G.987.x-series Recommendations.

History

Edition	Recommendation	Approval	Study Group
1.0	ITU-T G.987	2010-01-29	15
2.0	ITU-T G.987	2010-10-07	15
3.0	ITU-T G.987	2012-06-13	15

FOREWORD

The International Telecommunication Union (ITU) is the United Nations specialized agency in the field of telecommunications, information and communication technologies (ICTs). The ITU Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) is a permanent organ of ITU. ITU-T is responsible for studying technical, operating and tariff questions and issuing Recommendations on them with a view to standardizing telecommunications on a worldwide basis.

The World Telecommunication Standardization Assembly (WTSA), which meets every four years, establishes the topics for study by the ITU-T study groups which, in turn, produce Recommendations on these topics.

The approval of ITU-T Recommendations is covered by the procedure laid down in WTSA Resolution 1.

In some areas of information technology which fall within ITU-T's purview, the necessary standards are prepared on a collaborative basis with ISO and IEC.

NOTE

In this Recommendation, the expression "Administration" is used for conciseness to indicate both a telecommunication administration and a recognized operating agency.

Compliance with this Recommendation is voluntary. However, the Recommendation may contain certain mandatory provisions (to ensure, e.g., interoperability or applicability) and compliance with the Recommendation is achieved when all of these mandatory provisions are met. The words "shall" or some other obligatory language such as "must" and the negative equivalents are used to express requirements. The use of such words does not suggest that compliance with the Recommendation is required of any party.

INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

ITU draws attention to the possibility that the practice or implementation of this Recommendation may involve the use of a claimed Intellectual Property Right. ITU takes no position concerning the evidence, validity or applicability of claimed Intellectual Property Rights, whether asserted by ITU members or others outside of the Recommendation development process.

As of the date of approval of this Recommendation, ITU had not received notice of intellectual property, protected by patents, which may be required to implement this Recommendation. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information and are therefore strongly urged to consult the TSB patent database at <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2013

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, by any means whatsoever, without the prior written permission of ITU.

Table of Contents

	Page
1 Scope	1
2 References.....	1
3 Definitions	1
3.1 Terms defined elsewhere	1
3.2 Optical access architecture terms	2
3.3 Optical parameters, power and loss budget terms	3
3.4 Transmission convergence layer terms	4
4 Abbreviations and acronyms	6
5 Conventions	12
5.1 Optical access concepts	12
5.2 Power and loss budget parameters	13
5.3 Sensitivity and overload in the presence of FEC.....	14
5.4 Reach and distance	14
5.5 Use of the term PON	15
5.6 Use of the term ODN.....	15
5.7 Use of the terms ONU and ONT	16
5.8 Use of the terms T-CONT and Alloc-ID.....	16
5.9 Use of the terms bandwidth assignment and bandwidth allocation	17
Bibliography.....	18

Recommendation ITU-T G.987

10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms

1 Scope

This Recommendation contains the common definitions, acronyms, abbreviations and conventions of the ITU-T G.987.x series Recommendations.

2 References

The following ITU-T Recommendations and other references contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this Recommendation. At the time of publication, the editions indicated were valid. All Recommendations and other references are subject to revision; users of this Recommendation are therefore encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the Recommendations and other references listed below. A list of the currently valid ITU-T Recommendations is regularly published. The reference to a document within this Recommendation does not give it, as a stand-alone document, the status of a Recommendation.

- [ITU-T G.902] Recommendation ITU-T G.902 (1995), *Framework Recommendation on functional access networks (AN) – Architecture and functions, access types, management and service node aspects*.
- [ITU-T G.987.1] Recommendation ITU-T G.987.1 (2010), *10 Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements*.
- [ITU-T G.987.2] Recommendation ITU-T G.987.2 revised (2010), *10 Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification*.
- [ITU-T G.987.3] Recommendation ITU-T G.987.3 (2010), *10 Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Transmission convergence (TC) layer specification*.
- [ITU-T G.988] Recommendation ITU-T G.988 (2010), *ONU management and control interface (OMCI) specification*.

3 Definitions

3.1 Terms defined elsewhere

This Recommendation uses the following terms defined elsewhere:

3.1.1 access network (AN) [ITU-T G.902]: An implementation comprising those entities (such as cable plant, transmission facilities, etc.) which provide the required transport bearer capabilities for the provision of telecommunications services between a service node interface (SNI) and each of the associated user-network interfaces (UNI).

3.1.2 Ethernet LAN service (E-LAN) [b-MEF 6.1]: An Ethernet service type that is based on a multipoint-to-multipoint Ethernet virtual connection.

3.1.3 Ethernet line service (E-Line) [b-MEF 6.1]: An Ethernet service type that is based on a point-to-point Ethernet virtual connection.

3.1.4 Ethernet tree service (E-Tree) [b-MEF 6.1]: An Ethernet service type that is based on a rooted-multipoint Ethernet virtual connection.

3.1.5 Ethernet virtual connection (EVC) [b-MEF 6.1]: An association of UNIs to which the exchange of service frames is limited.

3.1.6 service node (SN) [ITU-T G.902]: A network element that provides access to various switched and/or permanent telecommunication services.

3.1.7 service node interface (SNI) [ITU-T G.902]: An interface which provides customer access to a service node.

3.1.8 user-network interface (UNI) [b-ITU-T I.112]: The interface between the terminal equipment and a network termination at which interface the access protocols apply.

3.1.9 1:1 VLAN [b-DSLTF TR-101]: A VLAN forwarding paradigm involving a one-to-one mapping between user port and VLAN. The uniqueness of the mapping is maintained in the access node and across the aggregation network.

3.1.10 N:1 VLAN [b-DSLTF TR-101]: A VLAN forwarding paradigm involving many-to-one mapping between user ports and VLAN. The user ports may be located in the same or different access nodes.

3.2 Optical access architecture terms

This Recommendation defines the following terms:

3.2.1 gigabit-capable passive optical network (G-PON): A PON system supporting transmission rates in excess of 1.0 Gbit/s in at least one direction, and implementing the suite of protocols specified in the ITU-T G.984.x series Recommendations.

3.2.2 next generation PON (NG-PON): In the context of ITU-T standards development activity, a generic term referencing the PON system evolution beyond G-PON. The concept of NG-PON currently includes NG-PON1, where the ODN is maintained from B-PON and G-PON, and NG-PON2, where a redefinition of the ODN is allowed from that defined in B-PON and G-PON.

3.2.3 optical access network (OAN): A part of an access network whose network elements are interconnected by optical communication channels.

NOTE – An OAN may or may not extend all the way to the UNI, so that the user-side interface of the OAN does not necessarily coincide with the UNIs of the AN.

3.2.4 optical distribution network (ODN): A point-to-multipoint optical fibre infrastructure. A *simple* ODN is entirely passive and is represented by a single-rooted point-to-multipoint tree of optical fibres with splitters, combiners, filters, and possibly other passive optical components. A *composite* ODN consists of two or more passive *segments* interconnected by active devices, each of the segments being either an optical trunk line segment or an optical distribution segment. A passive optical distribution segment is a simple ODN itself. Two ODNs with distinct roots can share a common subtree.

3.2.5 optical distribution segment (ODS): A simple ODN, that is, a point-to-multipoint optical fibre infrastructure that is entirely passive and is represented by a single-rooted tree of optical fibres with splitters, combiners, filters, and possibly other passive optical components.

3.2.6 optical line termination (OLT): A network element in an ODN-based optical access network that terminates the root of at least one ODN and provides an OAN SNI.

3.2.7 optical network terminal (ONT): An ONU supporting a single subscriber.

3.2.8 optical network unit (ONU): A network element in an ODN-based optical access network that terminates a leaf of the ODN and provides an OAN UNI.

3.2.9 optical trunk line (OTL): A passive point-to-point segment of a composite ODN.

3.2.10 passive optical network (PON) system: A combination of network elements in an ODN-based optical access network that includes an OLT and multiple ONUs and implements a particular coordinated suite of physical medium dependent layer, transmission convergence layer, and management protocols.

3.2.11 10-gigabit-capable passive optical network (XG-PON): A PON system supporting nominal transmission rates on the order of 10 Gbit/s in at least one direction, and implementing the suite of protocols specified in the ITU-T G.987.x series Recommendations. XG-PON is a subclass of NG-PON1.

3.2.12 XG-PON1: A variant of XG-PON system that operates at a nominal line rate of 10 Gbit/s downstream and 2.5 Gbit/s upstream.

3.2.13 XG-PON2: A variant of XG-PON system that operates at a nominal line rate of 10 Gbit/s downstream and upstream.

3.3 Optical parameters, power and loss budget terms

3.3.1 attenuation: The total relative optical power loss of an optical signal propagating through the ODN. Attenuation is caused by absorption and scattering of light in the fibre (caused by fibre impurities and imperfections, fluctuations of the refractive index, material dispersion), as well as connectors, splices, splitters, wavelength couplers, attenuators, and other passive optical components.

3.3.2 differential fibre distance: The absolute difference between the fibre distances of two particular ONUs connected to the same OLT PON interface.

3.3.3 dispersion: A physical phenomenon comprising the dependence of the phase or group velocity of a light wave in the medium on its propagation characteristics such as optical frequency (wavelength) or polarization mode.

3.3.4 dynamic range: An optical receiver characteristic that represents the difference between the worst-case sensitivity (i.e., maximum over the operating conditions) and the worst-case overload (i.e., minimum over the operating conditions), and is usually expressed as a ratio of the former to the latter.

3.3.5 extinction ratio: With respect to a digital signal generated by an optical source (laser diode), the ratio of the two optical power levels corresponding to the high and low intensities of light emission.

3.3.6 fibre distance: The overall length of fibre (and, if applicable, equivalent fibre runs representing delay-inducing components) between the R/S and S/R reference points.

3.3.7 mean optical launch power: An optical transmitter characteristic expressing the average optical power of an optical signal transmitted into the fibre and carrying a given digital sequence. When specified as a range, the minimum mean launch power provides the power level that the transmitter should guarantee at all times, and the maximum mean launch power provides the power level that the transmitter should never exceed. When applied to burst mode transmission, the term pertains to the time interval during which the transmitter is fully active, and excludes possible starting and ending transient behaviour.

3.3.8 nominal line rate: The total number of bits that can be physically transferred per unit of time over a communication link. Nominal line rate accounts for useful data as well as for all possible protocol overheads and necessarily exceeds the effective data rate on any given protocol level.

3.3.9 optical path penalty (OPP): The apparent reduction of receiver sensitivity due to distortion of the signal waveform during its transmission over the optical path. The optical path penalty accounts for total degradations including the effects of reflections, intersymbol interference, mode partition noise, and laser chirp.

3.3.10 optical return loss (ORL): The total reflection at the source reference point of the optical signal propagation path associated with both discrete reflections at the refractive index discontinuities and distributed backscattering, such as Rayleigh scattering, along the path. Optical return loss is measured as a ratio of the transmitted power to the reflected power.

3.3.11 overload: A receiver parameter that characterizes the maximum value of the average received optical power to achieve the BER at or below the specified reference level.

3.3.12 reflectance: The reflection from any single discrete reflection point in the optical signal propagation path, which is defined to be the ratio of the reflected optical power present at a point, to the optical power incident to that point.

3.3.13 sensitivity: A receiver parameter that characterizes the minimum value of the average received optical power to achieve the BER at or below the specified reference level.

3.3.14 tolerance to reflected power (receiver): A receiver parameter that characterizes the minimum admissible ratio of the average optical input power incident at the receiver to the average reflected power regarded as a noise.

3.3.15 tolerance to reflected power (transmitter): A transmitter parameter that characterizes the maximum admissible ratio of the average reflected optical transmit power incident at the transmitter to the average optical transmit power.

3.3.16 wavelength conversion (WC): A technology used to convert the frequency (wavelength) of the input optical signal into an output frequency (wavelength) from a predefined wavelength grid. In the case that the input and output frequencies (wavelengths) are distinct, *true wavelength conversion* takes place, whereas if the input and output frequencies are identical, *wavelength-transparent WC* function is used, where the frequency of the optical signal does not change when passing through the WC function.

3.4 Transmission convergence layer terms

3.4.1 activation: A set of distributed procedures executed by the OLT and the ONUs that allows an inactive ONU to join or resume operations on the PON. The activation process includes three phases: parameter learning, serial number acquisition, and ranging.

3.4.2 activation cycle: A time interval between ONU's consecutive entries into the initial state (O1).

3.4.3 bandwidth allocation: An upstream transmission opportunity granted by the OLT for a specified time interval to a specified traffic-bearing entity within an ONU.

3.4.4 dynamic bandwidth assignment (DBA): A process by which the OLT distributes upstream PON capacity between the traffic-bearing entities within ONUs, based on dynamic indication of their traffic activity and their configured traffic contracts.

3.4.5 effective key length: The number of randomly generated bits of a cryptographic key. The effective key length may be less than the nominal key length of a particular cryptosystem, if a part of the key is replaced by a well-known bit pattern.

3.4.6 embedded OAM: An operation and management channel between the OLT and the ONUs that utilizes the structured overhead fields of the downstream XGTC frame and upstream XGTC burst and supports time-sensitive functions.

3.4.7 equalization delay (EqD): The requisite delay assigned by the OLT to an individual ONU in order to ensure that the ONU's transmissions are precisely aligned on a common OLT-based upstream frame reference. The ONU's equalization delay is assigned as a result of ranging and is subject to in-service updates in the course of burst arrival phase monitoring.

3.4.8 ONU management and control interface (OMCI): An operation and management channel between the OLT and an ONU that is message-based and employs an extendable management information base.

3.4.9 physical layer OAM (PLOAM): An operation and management channel between the OLT and the ONUs that is close to real time and is based on a fixed set of messages.

3.4.10 quiet window: A time interval during which the OLT suppresses all bandwidth allocations to in-service ONUs in order to avoid collisions between their upstream transmissions and the transmissions from ONUs whose burst arrival time is uncertain. The OLT opens a quiet window to allow new ONUs to join the PON and to perform ranging of specific ONUs.

3.4.11 ranging: A procedure of measuring the logical distance between the OLT and any of its subtending ONUs with the objective to determine and assign the appropriate equalization delay, which is necessary to align the ONU's upstream transmissions on a common OLT-based upstream frame reference. Ranging is performed during ONU activation and may be performed while the ONU is in service.

3.4.12 ranging grant: An allocation structure that is addressed to the default Alloc-ID of the ONU and has the PLOAMu flag set. A ranging grant does not specify a data allocation and has the GrantSize of zero.

3.4.13 requisite delay: A general term denoting the total extra delay the OLT may require an ONU to apply to the upstream transmission beyond the ONU's regular response time. The purpose of requisite delay is to compensate for variation of propagation and processing delays of individual ONUs, and to avoid or reduce the probability of collisions between upstream transmissions.

3.4.14 serial number grant: An allocation structure that is addressed to the broadcast Alloc-ID and has the PLOAMu flag set. A serial number grant does not specify a data allocation and has the GrantSize of zero.

3.4.15 status reporting DBA (SR-DBA): A method of dynamic bandwidth assignment that infers the dynamic activity status of the traffic-bearing entities within ONUs based on explicit buffer occupancy reports communicated over the embedded OAM channel.

3.4.16 traffic-monitoring DBA (TM-DBA): A method of dynamic bandwidth assignment that infers the dynamic activity status of the traffic-bearing entities within ONUs based on observation of idle XGEM frame transmissions during upstream bursts.

3.4.17 transmission container (T-CONT): A traffic-bearing object within an ONU that represents a group of logical connections, is managed via the ONU management and control channel (OMCC), and, through its TC layer Alloc-ID, is treated as a single entity for the purpose of upstream bandwidth assignment on the PON.

3.4.18 XG-PON encapsulation method (XGEM): A data frame transport scheme used in XG-PON systems that is connection-oriented and that supports fragmentation of user data frames into variable sized transmission fragments.

3.4.19 XG-PON transmission convergence (XGTC) layer: A protocol layer of the XG-PON protocol suite that is positioned between the physical media dependent (PMD) layer and the XG-PON clients. The XGTC layer is composed of the XGTC service adaptation sublayer, the XGTC framing sublayer, and the XGTC PHY adaptation sublayer.

3.4.20 XGEM port: An abstraction in the XGTC service adaptation sublayer representing a logical connection associated with a specific client packet flow.

3.4.21 XGTC framing sublayer: A sublayer of the XG-PON transmission convergence layer that supports the functions of XGTC frame/burst encapsulation and delineation, embedded OAM processing, and Alloc-ID filtering.

3.4.22 XGTC PHY adaptation sublayer: A sublayer of the XG-PON transmission convergence layer that supports the functions of physical synchronization and delineation, forward error correction (FEC), and scrambling.

3.4.23 XGTC service adaptation sublayer: A sublayer of the XG-PON transmission convergence layer that supports the functions of SDU (user data and OMCI traffic) fragmentation and reassembly, XGEM encapsulation, XGEM frame delineation, and XGEM Port-ID filtering.

4 Abbreviations and acronyms

This Recommendation uses the following abbreviations and acronyms:

AES	Advanced Encryption Standard
AIS	Alarm Indication Signal
Alloc-ID	Allocation Identifier
AN	Access Network
ANI	Access Node Interface
AO	Allocation Overhead
APS	Automatic Protection Switching
ASE	Amplified Spontaneous Emission
ATA	Analog Telephony Adaptor (VoIP)
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AVC	Attribute Value Change
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (code)
BE	Best Effort (service category)
BER	Bit-Error Ratio
BES	Block Errored Second
BITS	Building Integrated Timing Source
BM-to-CM	Burst Mode to Continuous Mode
B-PON	Broadband Passive Optical Network
BW	Bandwidth
BWmap	Bandwidth Map
CAS	Channel Associated Signalling
CBS	Committed Block Size
CBU	Cell-site Backhauling Unit (ONU type)
CES	Circuit Emulation Service
CID	Consecutive Identical Digits
CIR	Committed Information Rate
CLEI	Common Language Equipment Identification

CM	Continuous Mode
CMAC	Cipher-based Message Authentication Code
CM-to-BM	Continuous Mode to Burst Mode
CMXGPON_D	Continuous Mode XG-PON downstream bit-stream signal
CMXGPON_U	Continuous Mode XG-PON upstream bit-stream signal
CO	Central Office
CPE	Customer Premises Equipment
CRC	Cyclic Redundancy Check
CTR	Counter (block cipher mode)
CW	Continuous Wave
DA	Destination Address
DBA	Dynamic Bandwidth Assignment
DBRu	Upstream Dynamic Bandwidth Report (indicator bit)
DF	Deactivation Failure
DFB	Distributed Feedback (laser type)
DG	Dying Gasp
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DOW	Drift of Window
DSL	Digital Subscriber Line
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EAP	Extensible Authentication Protocol
ECB	Electronic CodeBook (block cipher mode)
EDFA	Erbium-Doped Fibre Amplifier
E-LAN	Ethernet LAN service
E-Line	Ethernet Line service
EMS	Element Management System
EONU	Embedded Optical Network Unit
EPON	Ethernet Passive Optical Network
ER	Extinction Ratio
ESMC	Ethernet Synchronization Messaging Channel
E-Tree	Ethernet Tree Service
EVC	Ethernet Virtual Connection
FCAPS	Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security management
FCS	Frame Check Sequence
FEC	Forward Error Correction
FFS	For Further Study
FSM	Finite State Machine

FTTCell	Fibre to the Cell site base stations
FTTx	Fibre to the x (B – building, business; H – home; C – cabinet, curb, P –premises)
FWI	Forced Wakeup Indication
GEM	G-PON Encapsulation Method
G-PON	Gigabit-capable Passive Optical Network
GTC	G-PON Transmission Convergence (protocol layer)
HEC	Hybrid Error Correction
HLend	Header Length – downstream
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
ID	Identifier
IFC	Intra-Frame Counter
IGMP	Internet Group Management Protocol
IK	Integrity Key
ILOS	Intermittent Loss of Signal
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol TV
KEK	Key Encryption Key
LAN	Local Area Network
LF	Last Fragment
LoB	Loss of Burst
LoDS	Loss of Downstream Synchronization
LoOC	Loss of OMCI Channel
LoPC	Loss of PLOAM Channel
LoS	Loss of Signal
LSB	Least Significant Bit (not to be used when the meaning is least significant byte)
MAC	Media Access Control
MDU	Multi Dwelling Unit (ONU type)
ME	Managed Entity
MEF	Metro Ethernet Forum
MIB	Management Information Base
MIC	Message Integrity Check
MLD	Multicast Listener Discovery (protocol)
MLM	Multi Longitude Mode (laser type)
MoCA	Multimedia over Coax Alliance
MSB	Most Significant Bit (not to be used when the meaning is most significant byte)
MSK	Master Session Key

MTU	Maximum Transmission Unit
NA	Non-Assured (service category)
NAT	Network Address Translation
NGA	Next Generation Access
NMS	Network Management System
NRZ	Non-Return to Zero (line code)
NTP	Network Timing Protocol
OA	Optical Amplifier
OAM	Operation, Administration, and Management
OAN	Optical Access Network
OBF	Optical Bandpass Filter
ODF	Optical Distribution Frame
ODN	Optical Distribution Network
ODS	Optical Distribution Segment
OEO	Optical-Electronic-Optical (conversion)
OFDR	Optical Frequency-Domain Reflectometer
OLT	Optical Line Terminal
OMCC	ONU Management and Control Channel
OMCI	ONU Management and Control Interface
ONT	Optical Network Terminal
ONU	Optical Network Unit
OPEX	Operational Expenditure
OPP	Optical Path Penalty
ORL	Optical Return Loss
OSS	Operations Support System
OSSP	Organizational Specific Slow Protocol
OTDR	Optical Time-Domain Reflectometer
OTL	Optical Trunk Line
PBS	Peak Block Size
PDU	Protocol Data Unit
PHY	Physical interface
PIR	Peak Information Rate
PIT	PON-ID type
PLI	Payload Length Indication
PLOAM	Physical Layer Operations, Administration and Maintenance
PM	Performance Monitoring
PMD	Physical Medium Dependent (protocol layer)

PON	Passive Optical Network
PON-ID	Passive Optical Network Identifier
POTS	Plain Old Telephone Service
PPPoE	Point-to-Point Protocol over Ethernet
PRC	Primary Reference Clock
PSBd	Downstream Physical Synchronization Block
PSBu	Upstream Physical Synchronization Block
PSK	Pre-shared Secret Key
PSN	Packet Switched Network
PST	PON Section Trace (PLOAM message)
PSync	Physical Synchronization Sequence
PTP	Precision Timing Protocol
QoS	Quality of Service
R/S	Reference point at the interface of the ONU to the ODN
R'/S'	Reference point at the interface of the Reach extender to the OTL
RE	Reach Extender
RF	Radio Frequency
RG	Residential Gateway
RMS	Root Mean Square
RNC	Radio Network Controller
RS	Reed-Solomon (block code)
RSOA	Reflective Semiconductor Optical Amplifier
RTC	Real Time Clock (protocol)
RTCP	RTP Control Protocol
RTD	Round-Trip Delay
RTP	Real-time Transport Protocol
Rx	Receiver
S'/R'	Reference point at the interface of Reach extender to ODN
S/R	Reference point at the interface of the OLT to the ODN
SA	Sleep Allowed (PLOAM message)
SA	Source Address
SBU	Small Business Unit (ONU type)
SD	Signal Degrade
SDU	Service Data Unit
SeqNo	Sequence Number
SES	Severely Errored Second (-L: -line, -P: path, -FE: far-end)
SF	Signal Fail

SFC	SuperFrame Counter
SFD	Start Frame Delimiter
SFU	Single Family Unit (ONU type)
SIP	Session Initiation Protocol
SK	Session Key
SLM	Single Longitude Mode (laser type)
SN	Serial Number
SN	Service Node
SNI	Service Node Interface
SNMP	Simple Network Management Protocol
SNR	Signal to Noise Ratio
SOA	Semiconductor Optical Amplifier
SR	Sleep Request (PLOAM message)
SR	Status Reporting
SRS	Stimulated Raman Scattering
SUF	Start-up Failure
TBD	To be defined
TC	Transmission Convergence
T-CONT	Transmission Container
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
TIW	Transmission Interference Warning
TLS	Transparent LAN Service
TM	Traffic Monitoring
ToD	Time of Day
TOL	Transmit optical level
Tx	Transmitter
UDP	User Datagram Protocol
UI	Unit Interval
UNI	User Network Interface
VBES	VLAN-based Business Ethernet Services
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Line
VID	VLAN Identifier
VLAN	Virtual Local Area Network
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual Private Network
V-Rx	Video Receiver

VSSN	Vendor-Specific Serial Number
V-Tx	Video Transmitter
WBF	Wavelength Blocking Filter
WC	Wavelength Conversion
WC-RE	WC-enabled Reach Extender
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WDM1	Wavelength Division Multiplexor 1 (coexistence device)
WDM1r	Wavelength Division Multiplexor 1 revised (coexistence device)
WDM1rn	Wavelength Division Multiplexor 1 revised – narrow-band (coexistence device)
WFQ	Weighted Fair Queuing
WRR	Weighted Round Robin
X/S	Crosstalk-to-Signal ratio
XGEM	XG-PON Encapsulation Method
XG-PON	10-Gigabit-capable Passive Optical Network
XGTC	XG-PON Transmission Convergence (protocol layer)

5 Conventions

5.1 Optical access concepts

This Recommendation adopts the basic definition of access network (AN) provided by [ITU-T G.902] and formalizes the definition of optical distribution network, deriving the key PON-related definitions based on these two concepts. An example of an access network architecture satisfying the ITU-T G.987 definition system is shown in Figure 5-1.

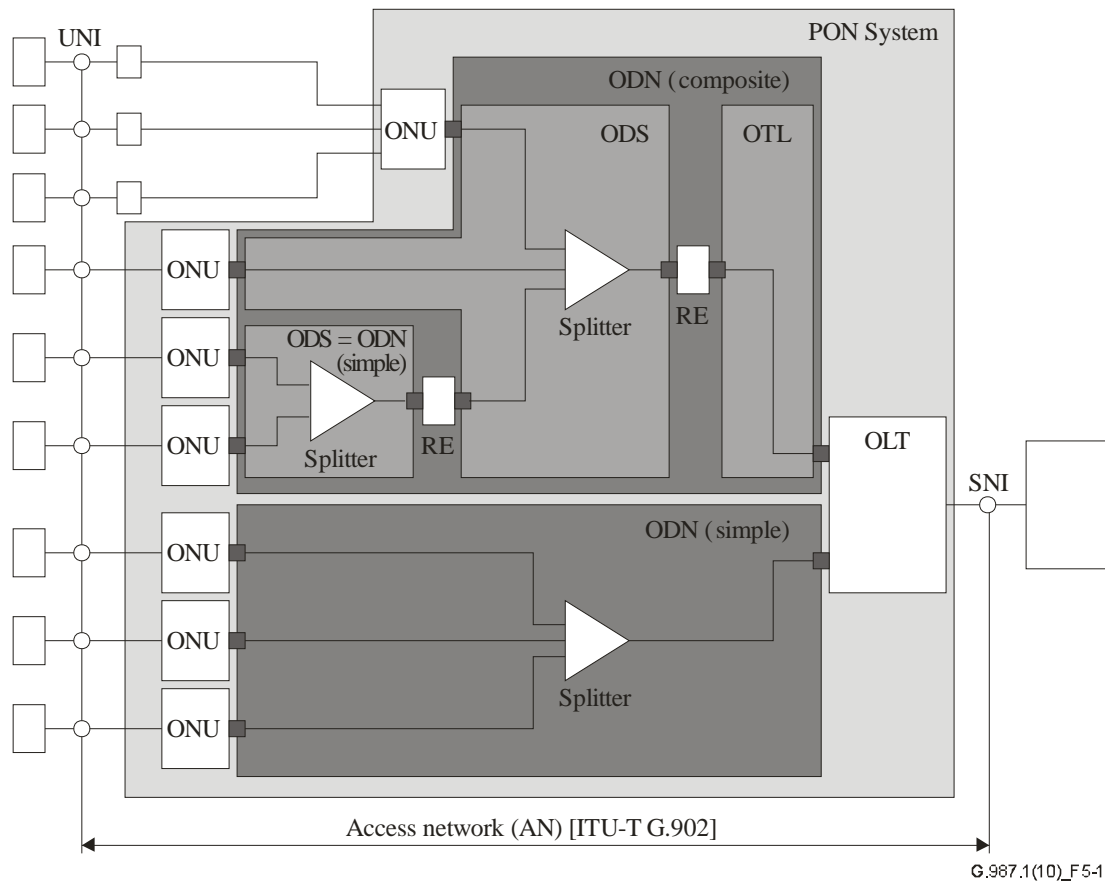


Figure 5-1 – Reference access network architecture

5.2 Power and loss budget parameters

The relationships between power and loss budget parameters are captured in Figure 5-2.

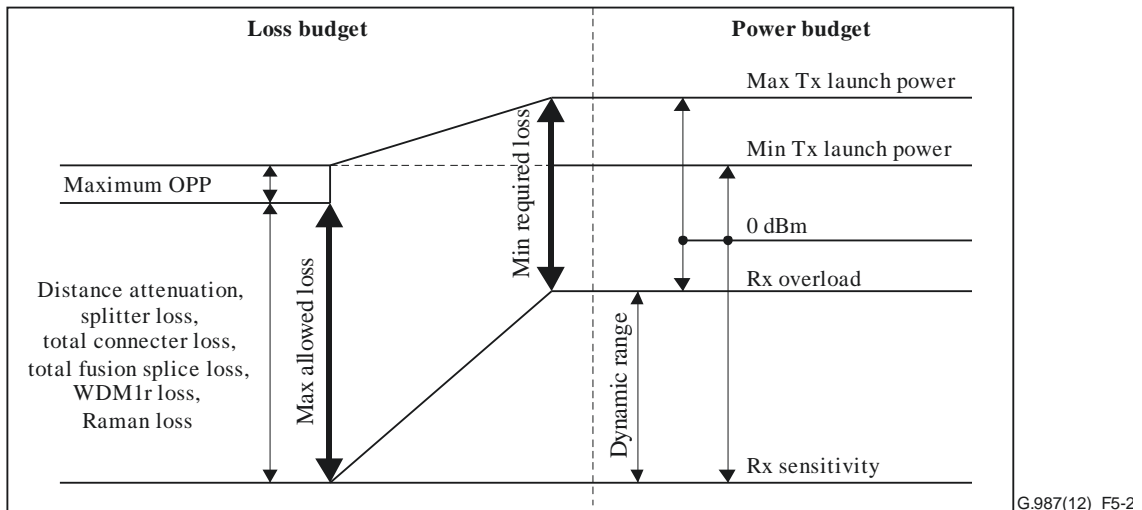


Figure 5-2 – Relationship between power budget and loss budget parameters

The details of the dynamic range concept definition are illustrated in Figure 5-3. The receiver sensitivity and overload are defined, respectively, as the minimum and maximum average received optical power at which the BER at the receiver output remains at or below the specified reference level. The observed values of receiver sensitivity and overload may vary as the operating conditions change. The operation conditions that affect receiver sensitivity and overload may include the transmitter extinction ratio, connector degradations, effects of ageing, etc. In definition of the dynamic range, both receiver sensitivity and receiver overload are represented by their respective worst-case values, i.e., maximum sensitivity and minimum overload over the range of operating conditions.

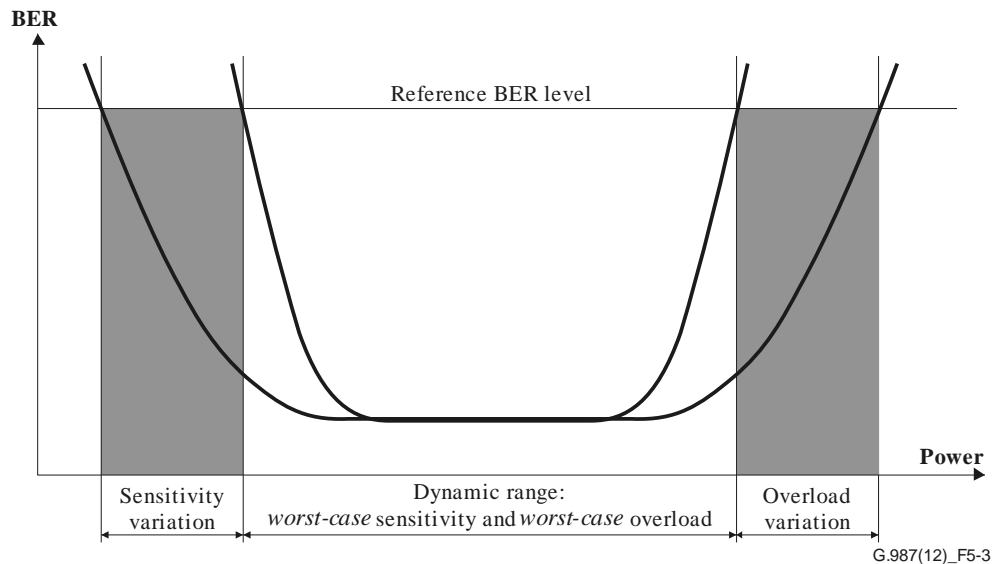


Figure 5-3 – Rx output BER as a function of received optical power, and the definition of dynamic range

5.3 Sensitivity and overload in the presence of FEC

To simplify optical component verification, [ITU-T G.987.2] specifies the sensitivity and overload at the high reference BER level, which corresponds to the Rx output and the FEC decoder input. It is assumed that the FEC algorithms specified, respectively, for continuous mode downstream and burst mode upstream transmission are sufficiently strong to achieve the BER level of 10^{-12} or better at the FEC decoder output. See [b-ITU-T G-Sup.39] for further discussion.

5.4 Reach and distance

The ITU-T G.987.x series of Recommendations addresses the linear extent parameters of XG-PON using the single concept of fibre distance. An ONU is characterized by its fibre distance, and for each pair of ONUs on the same OLT PON interface, the differential fibre distance is the difference between the two individual fibre distances. Each specific PMD layer parameter set contains a provision to support a specific maximum fibre distance. The XG-PON TC layer specification contains a provision to support specific ranges of maximum fibre distance and maximum differential fibre distance. These ranges can be configurable for a given system. One can expect that for each XG-PON deployment, the configured TC layer maximum fibre distance will match the maximum fibre distance supported by the selected PMD layer parameter set. Fibre distance concepts are illustrated in Figure 5-4.

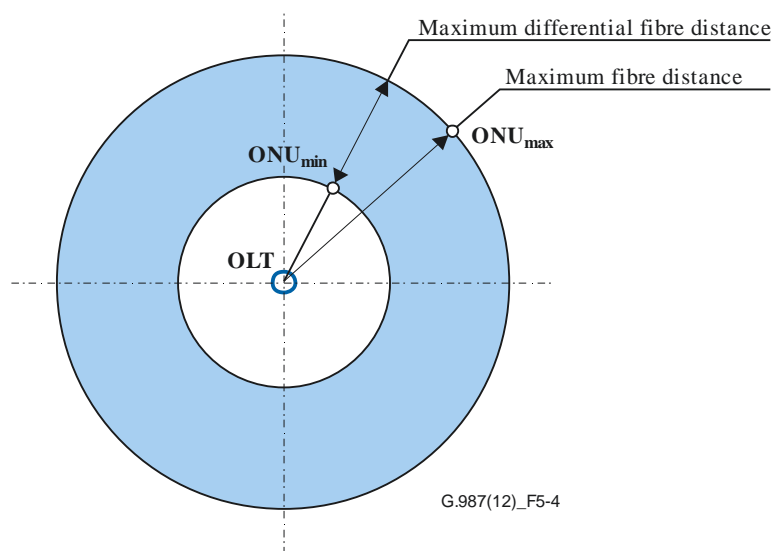


Figure 5-4 – Fibre distance concepts

The physical reach system parameter of the ITU-T G.984 series of Recommendations corresponds to the maximum fibre distance supported by the system PMD layer. The logical reach system parameter of the ITU-T G.984 series corresponds to the maximum fibre distance supported by the system TC layer.

5.5 Use of the term PON

Historically, the term PON was introduced to describe a point-to-multipoint fibre infrastructure composed of exclusively passive optical components. This strict-sense usage was soon naturally extended to include a fibre-in-the-loop communication system employing such an infrastructure and using time-division multiplexing to share the available digital bandwidth among many subscribers (TDM PON). As new types of PON-based systems were introduced, leveraging various TDM transport mechanisms (B-PON, G-PON, EPON) or alternative multi-access methods (WDM-PON), it became common to use the word PON with appropriate qualification in reference to the specific architectural variations. While the term remained overloaded, referring in different contexts to a network, a system, architecture or technology, all the referenced entities shared a common attribute of containing, using or relying upon a fibre infrastructure with no active (electronic) components between the central office interface and the user equipment interface. More recently, introduction of active reach extenders within the optical distribution network as defined in [b-ITU-T G.984.6] created a paradoxical situation when an infrastructural component of a G-PON system may not be entirely passive, that is, nominally, no longer a PON. Thus, it became apparent that the excessive overloading of what was once meant to be a precise term may adversely impact the clarity of a technical presentation.

This current series of Recommendations deliberately restricts the usage of the term PON to the contexts where it denotes a system, that is, a combination of network elements including at least one OLT and multiple ONUs interconnected by an ODN that implements a particular coordinated suite of physical medium dependent layer, transmission convergence layer, and management protocols. It also strives to provide a consistent, unambiguous, and extensible definition system that allows supporting efficient communication on the subject.

5.6 Use of the term ODN

In the ITU-T G.983 B-PON and ITU-T G.984 G-PON series of Recommendations (prior to [b-ITU-T G.984.6]), the term optical distribution network (ODN) refers to a passive point-to-multipoint distribution means extending from the user-facing interface of the OLT to the

network-facing interfaces of the ONUs. The introduction of active reach extenders and the concept of dual-homing call for a revision of the term's scope and usage, as the fibre-based distribution network extending between the OLT and ONU interfaces may be neither point-to-multipoint nor strictly passive.

This current series of Recommendations endorses a generalized usage of the term ODN to denote a point-to-multipoint fibre infrastructure, which is not required to be entirely passive. In the contexts where the internal structure of the ODN is not a concern, it is the ODN that interconnects the OLT and the ONUs to form a PON system. In the contexts where the internal structure of the ODN is relevant, two types of ODNs can be distinguished. A *simple* ODN is entirely passive and is represented by a single-rooted point-to-multipoint tree of optical fibres with splitters, combiners, filters, and possibly other passive optical components. A *composite* ODN consists of two or more *segments* interconnected by active devices, each of the segments being either an optical trunk line segment or an optical distribution segment. A passive optical distribution segment in is a simple ODN itself. The definition allows two ODNs with distinct roots to share a common subtree, thus supporting the notions of dual-homing and protection within the definition system.

5.7 Use of the terms ONU and ONT

Throughout the ITU-T G.987.x series of Recommendations, the network element interfacing the end-user access facilities and the ODN is referred to as an ONU, or an optical network unit, irrespective of the number and type of user interfaces or the depth of fibre deployment. Historically, the term ONT, or optical network terminal/termination, has been used either interchangeably with ONU or with the particular semantics of "an ONU that is used for fibre to the home (FTTH) and includes the user port function" (see [b-ITU-T G.983.1]), or "a single-subscriber ONU" (see [b-ITU-T G.984.1] and other documents of the ITU-T G.984 series). This Recommendation follows the latter approach in defining ONT. Note, however, that while this definition captures one established trade interpretation of the term, the concept itself is not used as a part of the ITU-T G.987 reference access architecture.

Outside of the ITU-T G.987.x series scope, alternative interpretations may apply and, therefore, the reader is advised to clarify the exact meaning of the term in each specific context. In particular, in some external contexts, the term ONT may be used generically to refer to any device terminating a leaf of the ODN.

5.8 Use of the terms T-CONT and Alloc-ID

A transmission container (T-CONT) is an OMCI managed entity representing a group of logical connections that appear as a single entity for the purpose of upstream bandwidth assignment in a PON system.

For a given ONU, the number of supported T-CONTs is fixed. The ONU autonomously creates all the supported T-CONT instances during ONU activation or upon OMCI MIB reset. The OLT uses the OMCC to discover the number of T-CONT instances supported by a given ONU and to manage those instances.

The *Allocation identifier (Alloc-ID)* is a 14 bit number that the OLT assigns to an ONU to identify a traffic-bearing entity that is a recipient of upstream bandwidth allocations within that ONU. Such a traffic-bearing entity is usually represented by a T-CONT, but may also be represented by an internal non-managed structure.

Each ONU is assigned at least its default Alloc-ID and may be explicitly assigned additional Alloc-IDs per OLT's discretion.

To activate a T-CONT instance for carrying the upstream user traffic, the OLT has to establish a mapping between the T-CONT instance and an Alloc-ID, which was previously assigned to the given ONU via the PLOAM messaging channel. Mapping of T-CONTs to Alloc-IDs is performed

via the OMCC. The OMCC itself is mapped, in the upstream direction, to the default Alloc-ID. This mapping is fixed; it cannot be managed via the OMCI MIB and it should survive OMCI MIB reset.

In many cases the mapping between T-CONTs and Alloc-IDs is one-to-one, strictly speaking, it is the Alloc-ID, not a T-CONT, which is visible at the TC layer of the system.

5.9 Use of the terms bandwidth assignment and bandwidth allocation

The term "bandwidth assignment" refers to the distribution of the upstream PON capacity between the ONUs' traffic-bearing entities using certain isolation and fairness criteria. In static bandwidth assignment, the said criteria are based exclusively on the provisioned parameters of the traffic contracts, and the bandwidth is assigned on the timescale of the individual service provisioning. In dynamic bandwidth assignment, the activity status of the traffic-bearing entities is taken into consideration along with the parameters of the traffic contracts, and the bandwidth assignment is periodically refined.

The term "bandwidth allocation", on the other hand, denotes the process of granting individual transmission opportunities to the ONUs' traffic-bearing entities on the timescale of a single PHY frame. The process of bandwidth allocation uses the assigned bandwidth values as an input and produces the per-frame bandwidth maps as an output. It also accounts for PLOAM messaging and DBRu overhead requirements and the short-term disturbances associated with the creation of quiet windows for serial number acquisition and ranging purposes.

Bibliography

- [b-ITU-T G.983.1] Recommendation ITU-T G.983.1 (2005), *Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)*.
- [b-ITU-T G.984.1] Recommendation ITU-T G.984.1 (2008), *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics*.
- [b-ITU-T G.984.6] Recommendation ITU-T G.984.6 (2008), *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Reach extension*.
- [b-ITU-T G-Sup.39] ITU-T G-series Recommendations – Supplement 39 (2008), *Optical system design and engineering considerations*.
- [b-ITU-T I.112] Recommendation ITU-T I.112 (1993), *Vocabulary of terms for ISDNs*.
- [b-DSL Forum TR-101] Broadband Forum (formerly, DSL Forum) Technical Report TR-101 (2006), *Migration to Ethernet Based DSL Aggregation*.
- [b-MEF 6.1] MEF Technical Specification MEF 6.1 (2008), *Ethernet Services Definitions – Phase 2*.

SERIES OF ITU-T RECOMMENDATIONS

Series A	Organization of the work of ITU-T
Series D	General tariff principles
Series E	Overall network operation, telephone service, service operation and human factors
Series F	Non-telephone telecommunication services
Series G	Transmission systems and media, digital systems and networks
Series H	Audiovisual and multimedia systems
Series I	Integrated services digital network
Series J	Cable networks and transmission of television, sound programme and other multimedia signals
Series K	Protection against interference
Series L	Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant
Series M	Telecommunication management, including TMN and network maintenance
Series N	Maintenance: international sound programme and television transmission circuits
Series O	Specifications of measuring equipment
Series P	Terminals and subjective and objective assessment methods
Series Q	Switching and signalling
Series R	Telegraph transmission
Series S	Telegraph services terminal equipment
Series T	Terminals for telematic services
Series U	Telegraph switching
Series V	Data communication over the telephone network
Series X	Data networks, open system communications and security
Series Y	Global information infrastructure, Internet protocol aspects and next-generation networks
Series Z	Languages and general software aspects for telecommunication systems

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Dini Angraeni, lahir di Jakarta 22 Juli 1994. Anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Arief Hidayat dan Ibu Diah Marini. Riwayat pendidikan formal yang pernah ditempuh oleh peneliti, Pendidikan di SD Islam Al-Azhar 5 Kemandoran (2000-2006), Pendidikan Menengah Pertama di SMP Islam Al-Azhar 4 Kemandoran (2006-2009) dan Pendidikan Menengah Atas di SMK Telkom Sandhy Putra Jakarta (2009-2012) dan melanjutkan ke jenjang Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Teknik, Program Studi Elektronika, Konsentrasi Peminatan Telekomunikasi.

Selama kuliah, peneliti juga aktif di kegiatan MPA (Masa Pengenalan Akademik) sebagai anggota kesehatan pada tahun 2013. Pada tahun 2014 peneliti pernah mendapatkan dana hibah dikti untuk Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dengan jenis Karsa Cipta dengan judul “Sistem Pengaman Kendaraan Bermotor Dengan Teknologi GPS Berbasis Mikrokontroler Arduino”