Perancangan dan Analisa Kinerja *Fiber to the Building* (FTTB) untuk Mendukung *Smart Building* di Daerah Urban

Trivia Anggita¹⁾, Liani Budi Rahman²⁾, Anshari Akbar³⁾, Muh Asnoer Laagu⁴⁾, dan Catur Apriono^{5*)}

^{1, 2,3,4,5)} Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Corresponding Email: *)catur@eng.ui.ac.id

Abstract – The development of digital technology makes it easy for humans to do activities, including compliance with the requirement of voice, data, and video communication in office buildings. Infrastructures are a primary consideration for a reliable connection, large-capacity, and stable communication lines. Recently, Fiber-optic communication systems are now the backbone of information signal delivery technology. This paper proposes a design of optical fiber transmission media for deployment in urban office buildings. It has been called fiber to the building (FTTB), which uses a fiber optic communication system to support the availability of multimedia network in an office area. A typical office building in an urban area has a multilevel structure that is used by various companies with multimedia network access services to support business activities. This study considers XGPON technology as a fiber optic-based broadband access technology that is deemed appropriate to the needs of the use of a multimedia network. The design begins with conducting a data collection survey. The next is the chosen device components based on the estimated distribution of the number of users. There are three parameters will be calculated include Power Link Budget (PLB), Rise Time Budget (RTB), and Bit Error Rate (BER), to determine the design feasibility. Based on PLB, RTB, and BER data, the proposed fiber to the building (FTTB) can meet the parameters to be achieved in the design, namely PLB of -27,24 dBm for downstream and -11,68 dBm for upstream, the value of is 0,049 ns, and value of BER is $0,186 \times 10^{-1085}$. The design of FTTB can meet the requirement of users with a bandwidth of 9014,4 Mbps for 1200 users.

Key words : FTTB, Power Link Budget, Rise time budget, Bit Error rate.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan layanan jasa multimedia seperti internet data, video, *game online*, *video conference*, *video streaming*, dan penggunaan *cloud computing* telah menjadi suatu kebutuhan bagi masyarakat. Semakin banyak permintaan terhadap kebutuhan akses jaringan yang cepat dengan biaya yang relatif murah dan mudah dalam pemasangan memicu terjadinya peningkatan perkembangan teknologi komunikasi dan informasi [1].

Tuntutan terhadap akses jaringan multimedia yang handal dan dengan kapasitas yang cukup besar sangat dirasakan penting terutama untuk pengguna di area perkantoran. Akses jaringan multimedia menjadi faktor penting untuk mendukung produktifitas kinerja karyawan dalam menjalankan bisnis perusahaan. Berbagai pilihan perangkat dan media akses jaringan yang digunakan

belum memiliki kehandalan dalam memenuhi layanan yang ingin dicapai [2]. Media transmisi serat optik menawarkan kapasitas jaringan yang besar dengan kecepatan yang tinggi dan juga instalasi yang mudah khususnya di perkantoran pada area *urban* yang memiliki tingkat kepadatan pengguna yang cukup tinggi. Area perkantoran saat ini telah mengadopsi konsep *smart building*. Konsep *smart building* sudah banyak diterapkan pada beberapa gedung perkantoran di Jakarta dimana menggunakan otomatisasi untuk mengendalikan berbagai perangkat yang ada dalam gedung tersebut, seperti sistem keamanan gedung [3]. *Smart building* banyak menggunakan teknologi sensor dalam pengumpulan data. Sistem yang digunakan pada *smart building* tentunya membutuhkan konektifitas jaringan yang stabil dan cepat untuk mendukung kestabilan operasi [4].

Beberapa penelitian telah dilakukan tentang penggunaan teknologi FTTB (*fiber to the building*). Salah satunya adalah studi tentang pembangunan FTTB untuk layanan Ethernet dan model dari sisi pembangunan bagian teknologi dan ekonomi [5]. Penggunaan arsitektur FTTB juga diulas dengan menggabungkan arsitektur FTTB dan LAN (*Local Area Network*). Penelitian tersebut menyajikan penjelasan tentang bagaimana pembangunan arsitektur FTTB+LAN untuk mendapatkan akses jaringan kecepatan tinggi dengan biaya yang efektif dan fleksibel [6]. Pada penelitian lain membahas tentang perancangan FTTB di area perkantoran dengan menggunakan kabel serat optik jenis *single-mode* [7].

Paper ini menyajikan perancangan media transmisi serat optik FTTB atau *fiber to the building* dan analisa kinerja pada perkantoran di daerah perkotaan atau area urban dengan menggunakan teknologi 10 *Gigabyte Passive Optical Network* (XGPON). Teknologi XGPON memiliki karakteristik kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan teknologi yang digunakan pada penelitian sebelumnya [7][8]. Pemilihan gedung, parameter kelayakan dan biaya yang dibutuhkan menjadi hal yang perlu dipertimbangkan sebelum melakukan penggelaran jaringan serat optik. Selain dari itu, jumlah pengguna dan kebutuhan *bandwidth* juga perlu diperhitungkan pada saat perancangan akses jaringan.

Pada paper ini meninjau perencanaan penggelaran jaringan serat optik di Gedung Tifa, Kota Jakarta dengan karakteristik gedung perkantoran yang terletak di area *urban* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Gedung ini merupakan salah satu gedung yang digunakan oleh

berbagai perusahaan yang membutuhkan layanan akses jaringan multimedia sebagai pendukung aktivitas bisnis dimana saat ini belum menggunakan media transmisi serat optik.

Gambar 1. Lokasi Gedung Tifa, Jakarta Selatan (online : <https://www.sewakantorcbd.com>)

Struktur dari paper disajikan dalam lima bagian. Bagian pertama membahas latar belakang penelitian. Pada bagian kedua akan menjelaskan tentang arsitektur dan teknologi yang akan digunakan pada perancangan. Diagram alur perancangan dan penghitungan kelayakan sistem akan dibahas pada bagian ketiga. Sedangkan bagian keempat akan membahas analisa dan hasil dari perhitungan yang telah dilakukan. Kesimpulan dan penutup akan disajikan di bagian kelima pada paper ini.

II. METODOLOGI

A. Arsitektur FTTB

Bagian kedua ini menyajikan ulasan tentang arsitektur yang akan digunakan untuk perancangan jaringan serat optik. Arsitektur yang digunakan disebut dengan FTTB atau *fiber to the building* dengan menggunakan teknologi akses jaringan yang disebut dengan teknologi XGPON (10 Gigabyte Passive Optical Network) untuk menyediakan kebutuhan *bandwidth* yang akan dicapai [3]. Berikut ini akan dijelaskan tentang definisi dari kedua teknologi yang digunakan tersebut.

1. Fiber to the Building

FTTB atau bisa disebut juga sebagai teknologi *fiber to the basement* atau *fiber to the building* merupakan istilah umum untuk arsitektur jaringan dasar koneksi data yang dirancang atau ditempatkan pada gedung bertingkat dengan tujuan untuk mendapatkan *bandwidth* yang sesuai dengan kebutuhan. Arsitektur jaringan ini menggunakan serat optik sebagai media transmisi untuk jaringan lokal akses *fiber*.

Selain dari FTTB, teknologi lainnya dikenal dengan sebutan FTTH (*fiber to the home*) yang dirancang pada

perumahan berbasis digital atau serat optik dan juga FTTC (*fiber to the curb*) dimana serat optik yang digunakan sebagai media transmisi dipasangkan pada tiang tinggi. Perancangan FTTB ini diharapkan mampu memenuhi kebutuhan pelanggan dengan menghemat sumber daya dan juga faktor kemudahan dalam pemasangan atau instalasi jaringan.

Gambar 2. Arsitektur Teknologi FTTB (online : <http://www.zte.com.cn>)

Gambar 2 memperlihatkan arsitektur dari teknologi FTTB yang biasa digunakan. Terdapat dua jenis teknologi FTTB, yaitu FTTB yang dipasangkan dengan LAN dan FTTB yang dipasangkan dengan DSL (*Digital Subscriber Line*). Arsitektur jaringan FTTB+DSL biasanya digunakan untuk perkantoran yang hanya memerlukan jaringan untuk aplikasi suara maupun fax sehingga tidak memperhitungkan pembagian kapasitas untuk penggunaan aplikasi data internet. Sedangkan untuk FTTB+LAN biasa digunakan pada perkantoran yang membutuhkan jaringan untuk aplikasi multimedia. Dapat dilihat dari gambar tersebut bahwa alur kerja dari arsitektur ini bermula dari OLT (*Optical Line Termination*) untuk pengubahan sinyal listrik menjadi sinyal optik, sedangkan untuk pembagian jaringan ke arah pengguna menggunakan ONT (*Optical Network Terminal*).

2. Teknologi XGPON

Teknologi akses yang diperhitungkan pada penelitian ini adalah teknologi XGPON. Teknologi XGPON merupakan teknologi *broadband* akses berbasis serat optik. Teknologi ini melakukan distribusi *traffic* secara pasif atau dengan kata lain pada teknologi ini tetap menggunakan perangkat lain sebagai penyalur data ke pelanggan yang dituju, sedangkan serat optik hanya digunakan sebagai media transmisi. Teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T G.987.x ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan teknologi lainnya [4].

Keunggulan tersebut adalah nilai tingkat penetrasi yang relatif lebih baik dibandingkan dengan teknologi lainnya seperti GPON [7][9]. Selain itu, *bandwidth* yang ditawarkan pada penggunaan teknologi ini bisa mencapai 10 Gbps untuk *downstream* dan *bandwidth* sebesar 2,5 Gbps untuk *upstream*. Dengan mempertimbangkan

beberapa keunggulan tersebut, maka pada paper ini memperhitungkan penggunaan teknologi XGPON pada perancangan FTTB di gedung perkantoran area *urban*.

B. Perancangan

Gambar 3 menunjukkan diagram alur perancangan FTTB yang terdiri dari empat tahapan. Langkah pertama adalah melakukan pemilihan lokasi atau gedung yang akan dipasang jaringan serat optik seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Setelah mengetahui lokasi dan keadaan dari gedung, tahap kedua adalah pemilihan perangkat yang disesuaikan dengan desain dari penggelaran jaringan. Penentuan kelayakan sistem dilakukan pada tahap ketiga bertujuan untuk memastikan bahwa perancangan yang dilakukan telah sesuai dengan standar. Ketika telah dipastikan bahwa sistem yang dibangun sudah masuk dalam parameter kelayakan sistem, maka tahap berikutnya adalah penggelaran distribusi jaringan.

Gambar 3. Diagram alur perancangan FTTB

1. Penentuan lokasi

Alur proses perancangan FTTB yang dilakukan pertama kali adalah menentukan lokasi gedung. Dalam penelitian ini, Gedung Tifa akan menjadi obyek perancangan jaringan serat optik. Gambar 4 menunjukkan denah lantai gedung Tifa dan perencanaan tata letak serta jalur kabel serat optik.

Gambar 4. Desain tata letak perangkat dan jalur kabel

Gambar 4 menunjukkan lokasi dengan kode untuk setiap ruang (*space*) yang akan dipasang perangkat jaringan. Gambar tersebut berlaku untuk setiap lantai, keterangan kode gambar A hingga J akan didiskusikan masing-masing pada penjelasan Tabel 2. Kondisi gedung menjadi dasar desain pendistribusian kabel optik. Pada area ruang kantor, kode *space* yang ditampilkan dalam huruf abjad menunjukkan pendistribusian ONT (*Optical Network Terminal*). Jumlah ONT pada masing-masing kode *space* berbeda, sesuai dengan kapasitas ruangan. Jumlah ONT yang dibutuhkan pada setiap lantai adalah 50 buah. Pada ruang perangkat, terdapat 1 buah OLT (*Optical Line Terminal*), 1 buah ODC (*Optical Distribution Cabinet*), dan 1 buah ODP (*Optical Distribution Panel*).

Perangkat OLT dan ODC hanya ada di lantai 1. ODP terletak di lantai 2 hingga lantai 12. Hal ini dikarenakan dalam perancangan membutuhkan OLT dan ODC masing-masing 1 buah. Kebutuhan panjang kabel dari OLT (*Optical Line Termination*) ke ONT dan jumlah ONT dan ODP menyesuaikan dengan kebutuhan pelanggan/user di setiap lantai. Jumlah OLT yang digunakan sebanyak satu buah dan jumlah ODC juga sebanyak satu buah. Kapasitas satu perangkat OLT mencapai 800 Gbps. ODC memiliki kapasitas 960 konektor. Kapasitas masing-masing perangkat ini sudah mencapai kebutuhan *bandwidth* yang diinginkan. Blok diagram rancangan penggelaran jaringan serat optik secara umum ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Diagram rancangan penggelaran optik

Penempatan perangkat harus menyesuaikan kondisi gedung agar efisien dalam pendistribusian jaringan [8]. OLT dan ODC dapat ditempatkan pada *basement* gedung. ODP dapat ditempatkan pada ruang *panel* yang berada di setiap lantai. Sedangkan ONT ditempatkan di setiap lantai berdasarkan distribusi seperti pada Gambar 3. Pada Gambar 5 diperlihatkan panjang jarak antara masing-masing perangkat yang digunakan. Jenis kabel yang digunakan untuk menghubungkan OLT dan ODC menggunakan kabel *patch core*. Kabel *feeder* digunakan untuk menghubungkan ODC dan ODP. Kabel *drop* digunakan untuk menghubungkan ODP dan ONT.

Berdasarkan pada pertimbangan kapasitas Gedung, maka diperkirakan pengguna akan dapat mencapai 1200 pengguna. Perkiraan kebutuhan *bandwidth* untuk 1200 *user* ditampilkan pada Tabel 1 mencakup layanan suara (*voice*), video, dan data. Jumlah *user* di setiap lantai maksimum mencapai 100 *user* sehingga distribusi ONT sebanyak 10 buah dan satu ODP di setiap lantai [10].

Distribusi jumlah *user* di setiap ONT dan panjang kabel yang dibutuhkan untuk setiap ONT ditampilkan pada Tabel 2. Jumlah panjang kabel yang diperlukan dari ODP ke ONT di setiap lantai sepanjang 1195 meter. Sehingga total kebutuhan panjang kabel ODP ke ONT untuk 12 lantai adalah 14,340 meter. Jalur terjauh transmisi data dari OLT sampai ke ONT adalah sepanjang 99 meter ditambah 10% panjang kabel sehingga diperoleh jarak 108,9 meter.

Tabel 1. Alokasi kebutuhan *bandwidth* di Gedung Tifa

Jenis Layanan	Jumlah User	Bandwidth	Jumlah Bandwidth
Voice	1200	1 Mbps	1200 Mbps
Video	1200	6 Mbps	7200 Mbps
Data	1200	0,512 Mbps	614,4 Mbps
Total			9014,4 Mbps

Tabel 2. Distribusi jumlah *user* tiap ONT dan kebutuhan panjang kabel dari ODP ke ONT

Kode Space	Jumlah User	Jumlah ONT	Panjang Kabel (m)	Total Panjang (m)
A	4	2	7	14
B	10	5	17	85
C	20	10	19	190
D	10	5	33	155
E	6	3	33	99
F	4	2	38	76
G	10	5	38	190
H	20	10	24	240
I	10	5	22	110
J	6	3	12	36
Total per lantai				1195 m
Jumlah lantai				12 lantai
Grand Total				14340 m

2. Perangkat yang digunakan

Pemilihan perangkat yang digunakan juga harus memperhatikan kondisi gedung dan potensi perubahan kebutuhan di masa depan. Perangkat yang digunakan dalam perancangan FTTB pada Gedung Tifa ditampilkan pada Tabel 3. Kolom jumlah merupakan kebutuhan yang sesuai dengan desain perancangan sedangkan jumlah akhir merupakan kebutuhan perangkat yang didapatkan dari desain awal dengan ditambahkan 10% sebagai cadangan ketika terjadinya kemungkinan buruk di luar perencanaan yang dilakukan. Penambahan ini dilakukan untuk perangkat dengan kemungkinan terjadinya kerusakan yang cukup besar, sehingga tidak semua perangkat perlu penambahan cadangan sebesar 10%. Beberapa perangkat yang rentan terhadap kerusakan diantaranya adalah kabel dan *connector*.

Tabel 3. Perangkat dalam perancangan jaringan FTTB

Nama Perangkat	Jumlah	Jumlah Akhir
Panjang kabel <i>patch cord</i> G.657 (OLT ke ODC)	12 m	13.2 m
Panjang Kabel <i>Feeder</i> G.652D (ODC ke ODP)	390 m	429 m
Rak OLT 19 inci 5U	1 buah	1 buah
Rak ODC 19 inci 42U	1 buah	1 buah
ODP 1:64	12 buah	12 buah
Core serat optik	12 core	12 core
Panjang Kabel Drop G.652D (<i>Splitter</i> ke ONT)	14340 m	15774 m
ONT ZTE 660	600 buah	600 buah
Connector SC APC	1344 buah	1477 buah
Passive Splitter 1:64 SC APC	12 buah	12 buah
SFP LX <i>transmitter</i>	1 buah	1 buah
SFP LX <i>receiver</i>	1 buah	1 buah

3. Pemilihan dan Spesifikasi Perangkat

Pemilihan perangkat yang tepat merupakan salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam penggelaran jaringan serat optik. Pemilihan perangkat ditentukan dari kebutuhan pengguna dan manajemen biaya yang efisien saat proses penggelaran. Perangkat yang digunakan dalam penggelaran optik di Gedung Tifa adalah sebagai berikut ini:

3.1 OLT

OLT merupakan titik akhir dari layanan, yang berfungsi mengkonversi sinyal listrik (*provider*) dan sinyal optik yang diperhitungkan dalam jaringan yang akan dibangun [11]. OLT yang digunakan dalam perancangan ini adalah OLT ZTE ZXA10 C300 yang mampu menampung jumlah maksimum *subscriber* 16384 dengan kapasitas *card* sebanyak 14 *service cards* [12].

3.2 ODC

ODC merupakan tempat instalasi sambungan dari jaringan *fiber single mode*, biasanya dikenal sebagai ruang manajemen jaringan. ODC yang digunakan yakni ODC ORS 2/600 dari Micos Telecom [13]. ODC ini sangat cocok digunakan untuk instalasi dalam Gedung dengan maksimum 960 koneksi optik.

3.3 ODP

ODP merupakan perangkat yang berfungsi sebagai pelindung sambungan optik. ODP yang digunakan adalah dari Linkwell LW-ODB-24B ODP Box – 24 *fibers*, dengan kapasitas maksimum SC: 24 *fibers* dan LC: 48 *fibers* [14].

3.4 Splitter

Pada perancangan ini material *splitter* yang dipilih adalah *splitter* 1:64 yang berfungsi membagi cahaya dan mendistribusikannya ke saluran yang berbeda. *Splitter* yang digunakan adalah *Splitter* PLC FO SC APC:1:64. *Splitter* ini dapat mencukupi kebutuhan distribusi dari ODP ke ONT untuk satu lantai [15].

3.5 ONT

ONT merupakan terminal akhir dalam jaringan serat optik yang langsung terhubung ke pelanggan. ONT yang dibutuhkan mendukung jaringan LAN maupun telepon. ONT yang digunakan adalah ONT ZTE F660 yang memiliki sensitifitas -28 dBm [16].

3.6 Serat Optik

Jenis serat optik yang digunakan adalah *single mode*. Ada dua jenis serat optik yang digunakan yakni G.657 dan G.652D. Perbedaan terdapat pada karakteristik atenuasinya [17]. Serat optik G.657 digunakan untuk sambungan dari OLT ke ODC sebagai kabel *patch cord*, sedangkan serat optik G.652D digunakan sebagai kabel *feeder* ODC ke ODP dan sebagai *splitter* ke ONT.

3.7 SFP (Small Form Factor Pluggable)

SFP yang digunakan dalam perancangan ini adalah SFP-LX *Single mode*, yang mendukung proses penerimaan dan transmisi dengan kemampuan *wavelength* 1310 nm [18]. SFP-LX juga cocok dengan tipe kabel G.652.

4. Kebutuhan Sumber Daya

Penggelaran jaringan serat optik membutuhkan penghitungan manajemen biaya perangkat dan sumber daya yang digunakan. Biaya perangkat merujuk pada kebutuhan pengguna pada gedung Tifa. Sedangkan untuk manajemen biaya untuk kebutuhan sumber daya merujuk pada kebutuhan pekerjaan instalasi. Estimasi biaya yang dibutuhkan dalam perancangan ini ditampilkan pada Tabel 4. Kebutuhan perangkat yang akan digunakan menyesuaikan dengan kebutuhan utama penggelaran dalam gedung. OLT yang dibutuhkan adalah 1 buah sebagai sentral yang menghubungkan jaringan luar Gedung ke jaringan dalam Gedung.

Sebuah perangkat ODC akan menghubungkan jaringan dari OLT ke masing-masing lantai. Kebutuhan ONT sebanyak 600 buah dengan masing-masing lantai akan menggunakan 50 buah ONT. Pada Gambar 4 menunjukkan jumlah perangkat yang dibutuhkan dengan menyesuaikan denah Gedung pada tiap lantai. Setiap lantai dilengkapi *splitter* 1:64 yang dipasang di dalam kotak ODP. Kebutuhan kabel *patch cord* sepanjang 12 meter, kabel *feeder* sepanjang 390 meter dan kabel *drop* sepanjang 15.774 meter. Masing-masing kabel memiliki karakteristik dan harga yang berbeda-beda.

Selain dari total penghitungan biaya untuk kebutuhan perangkat yang akan digunakan, biaya jasa penggelaran juga perlu untuk diperhitungkan [19]. Estimasi biaya jasa dan total biaya penggelaran serat optik di Gedung Tifa ditampilkan pada Tabel 5. Estimasi tersebut merujuk pada peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika tahun 2007 mengenai ketentuan jasa sewa jaringan. Kebutuhan jasa dalam penggelaran optik di Gedung Tifa yakni instalasi kabel *patch cord*, *feeder* dan *drop*. Selain jasa instalasi, terdapat juga jasa *splicing*, jasa tes OTDR (*Optical Time-domain Reflectometer*) dan OPM (*Optical Power Meter*). Total biaya kebutuhan dalam proses penggelaran optik di Gedung Tifa adalah penjumlahan dari biaya kebutuhan perangkat dan biaya jasa instalasi

ditambah dengan biaya tak terduga dalam proyek dan pajak pertambahan nilai sebesar 10%.

Tabel 4. Estimasi Kebutuhan biaya perangkat

Nama Perangkat	Jumlah	Harga (Rp)
OLT ZTE ZX10 C300	1 buah	34.860.000
ONT F660 ZTE	600 buah	9.000.000
Splitter PLC Serat Optik SC APC 1:64	12 buah	11.832.000
ORS 2/600 ODC	1 buah	11.700.000
LW-ODB-24B ODP Box	12 buah	9.000.000
Kabel Patch Cord G.657 (OLT ke ODC)	12 m	300.000
Kabel Feeder G.652D (ODC ke ODP)	390 m	7.800.000
Kabel Drop G.652D (Splitter ke ONT)	15774 m	315.480.000
Connector SC APC	1477 buah	11.077.500
SFP LX-transmitter	1 buah	1.500.000
SFP LX-receiver	1 buah	1.500.000
Total		Rp.442.549.500

Tabel 5. Estimasi Biaya jasa penggelaran

Nama Perangkat	Jumlah (Rp)	Harga (Rp)
Instalasi kabel <i>patch cord</i> G.657	80.000/m	960.000
Instalasi kabel <i>feeder</i> G.652D	25.000/m	9.750.000
Instalasi kabel <i>drop</i> G.652D	25.000/m	393.600.000
Jasa <i>Splicing</i> FO	350.000/core	4.200.000
Jasa Tes OTDR dan OPM	350.000/core	4.200.000
Instalasi serat optik 12 core	65.000/core	780.000
Biaya Kebutuhan Perangkat		442.549.500
Biaya Jasa Instalasi		413.490.000
PPN (10%)		85.603.950
Biaya Tak Terduga (10%)		85.603.950
Total Biaya		Rp. 1.027.247.400

5. Kelayakan sistem

Pada bagian ini akan menjelaskan tentang parameter kelayakan sistem dari perancangan jaringan yang diusulkan. Terdapat tiga parameter kelayakan sistem yang diperhitungkan, yaitu *Power Link Budget*, *Rise Time Budget* dan *Bit Error Rate*.

5.1 PLB (Power Link Budget)

Power Link Budget diartikan sebagai alokasi daya yang melewati serat optik setelah mengalami *loss* atau rugi-rugi seperti rugi-rugi redaman serat optik, *loss* atau rugi-rugi sambungan dan konektor hingga sampai pada sisi penerima. *Power budget* diukur dengan satuan *decibell* (dB). Penghitungan *power link budget* dibagi menjadi dua yaitu penghitungan pada sisi *downstream* dan sisi *upstream*

A. Power Link Budget Downstream

Pada sisi *downstream*, perhitungan ditinjau dari OLT ke ONT *user*. Nilai daya terima ONT dapat diperoleh dengan menghitung nilai redaman total terlebih dahulu. Perhitungan daya terima menggunakan data dengan penambahan panjang kabel cadangan sebesar 10 %. Data yang diperlukan untuk menghitung nilai PLB *downstream* ditunjukkan pada Tabel 6.

Daya maksimum yang pancarkan oleh OLT sebesar 3 dBm dengan sensitifitas detektor pada OLT dan ONT adalah -28 dBm sampai -8 dBm. Dalam proses transmisi terjadi redaman pada kabel serat optik sebesar 0,4 dB/km. Redaman juga terjadi akibat sambungan/*splice* sebesar 0,1 dB tiap *splice* dari 8 sambungan yang dilakukan. Redaman lain terjadi pada konektor, dan *splitter* masing masing 0,3 dB dan 21 dB.

Tabel 6. Data perhitungan *downstream*

No	Parameter	Nilai
1	Daya keluaran sumber optik (OLT)	3 dBm
2	Sensitivitas detektor (OLT/ONT)	-28; -8 dBm
3	Redaman Serat optik G.652D (1310 nm)	0,4 dB/Km
4	Redaman Serat optik G.657 (1310 nm)	0,4 dB/Km
5	Redaman Fusion <i>Splice</i>	0,1 dB/ <i>splice</i>
6	Konektor	0,3 dB
7	<i>Splitter</i> 1:64	21 dB
8	Jumlah Sambungan	8 buah
9	Jumlah Konektor	8 buah
10	Panjang Kabel (0.099 Km + (10% x 0.099 Km))	0,1089 Km

Persamaan 1 digunakan untuk mendapatkan nilai redaman total. α_{tot} adalah redaman total dalam (dB). L adalah panjang serat optik (Km). α_{serat} , $\alpha_{konektor}$, α_{splice} , $\alpha_{splitter}$ masing-masing adalah redaman pada serat optik (dB), redaman konektor (dB), redaman *splice* (dB), dan redaman *splitter* (dB). $N_{konektor}$ dan N_{splice} masing-masing adalah jumlah konektor dan sambungan. [20]

$$\alpha_{tot} = L \cdot \alpha_{serat} + N_{konektor} \cdot \alpha_{konektor} + N_{splice} \cdot \alpha_{splice} + \alpha_{splitter} \quad (1)$$

Sedangkan daya yang diterima ONT diberikan pada Persamaan 2. P_{rx} adalah daya yang diterima (dBm). P_{tx} daya yang ditransmisikan oleh *transmitter* (dBm). α_{tot} adalah redaman total (dB) yang terjadi. SM adalah *system margin* (dB) yang digunakan. [21]

$$P_{rx} = P_{tx} - \alpha_{tot} - SM \quad (2)$$

B. Power Link Budget Upstream

Pada sisi *upstream*, perhitungan ditinjau dari ONT user ke OLT. Nilai daya terima pada OLT dapat diketahui juga dengan menghitung nilai redaman total. Di sisi *upstream* nilai redaman yang diperhitungkan adalah redaman pada *splitter*. Keluaran *splitter* di sisi *upstream* tidak menjadi 1:64 tetapi 1:1. Sehingga, nilai redaman *splitter* diganti dengan nilai sambungan. Pada penghitungan *power link budget upstream* digunakan nilai redaman sebesar 2,94 dB.

Tabel 7. Data perhitungan *upstream*

No	Parameter	Nilai
1	Daya keluaran ONT (P_{tx})	0.5 dBm
2	Sensitivitas detektor (OLT/ONT)	-28; -8 dBm
3	Redaman Serat optik G.652D (1310 nm)	0,4 dB/Km
4	Redaman Serat optik G.657 (1310 nm)	0,4 dB/Km
5	Redaman Fusion <i>Splice</i>	0,1 dB/ <i>splice</i>
6	Konektor	0,3 dB
7	<i>Splitter</i> 1:64	2,938 dB
8	Jumlah Sambungan	8 buah
9	Jumlah Konektor	8 buah
10	Panjang Kabel (0.099 Km + (10% x 0.099 Km))	0,1089 Km

Tabel 7 merupakan data nilai yang digunakan untuk menghitung nilai *power link budget* di sisi *upstream*. Nilai *system margin* yang digunakan pada perhitungan adalah sebesar 6 dB. *System margin* tersebut ditentukan sebagai nilai yang diperuntukkan untuk mendapatkan penerimaan daya optik yang handal terhadap kemungkinan faktor-faktor yang tidak dipertimbangkan [22].

Untuk perhitungan *upstream*, daya keluaran ONT sebesar 0,5 dBm. Redaman yang terjadi pada *splitter* sebesar 2,94 dB lebih besar dari redaman *splitter* pada sisi *downstream*. Hal ini disebabkan karena keluaran *splitter* di sisi *upstream* tidak menjadi 1:64 tetapi 1:1. Parameter perhitungan lainnya seperti redaman serat optik, redaman *splice*, redaman pada konektor, panjang kabel, dan jumlah konektor dan sambungan adalah tidak berbeda dengan data downstream.

5.2 RTB (Rise Time Budget)

Merupakan parameter kelayakan lainnya yang digunakan untuk menentukan batasan dispersi dari jaringan serat optik. Pengkodean yang diperhitungkan adalah NRZ (*Non-Return to Zero*) dengan batas nilai sebesar 70% dari periode. Untuk menghitung *Rise time budget* menggunakan Persamaan 3 [7]. Tr merupakan batas maksimum *rise time* dalam ns dan Br adalah nilai *bit rate* dalam Hz.

$$Tr = \frac{70\%}{Br} \quad (3)$$

Penghitungan *rise time budget* dilakukan di sisi *downstream* dan di sisi *upstream*. Perbedaan pada kedua sisi tersebut terletak pada nilai *bit rate* masing-masing. Pada sisi *downstream* nilai *bit rate* yang digunakan sebesar 10 Gbps sedangkan pada sisi *upstream* nilai yang digunakan adalah 2,5 Gbps.

Nilai *rise time budget* yang perlu diperhitungkan didapatkan dari Persamaan 4. t_{tx} adalah *rise time* di sisi pengirim dan t_{rx} *rise time* di sisi penerima. $t_{intermodal}$ adalah *modal dispersion rise time* (bernilai nol untuk serat optik *single mode*). Sedangkan, $t_{material}$ adalah *material dispersion rise time* (ns). *Material dispersion* bisa

diperoleh dengan menggunakan Persamaan 5. $\Delta\sigma$ adalah lebar spektral (nm). L adalah panjang serat optik (Km), dan D_m adalah dispersi material (ps/nm.Km) [7].

$$t_{sys} = (t_{tx}^2 + t_{material}^2 + t_{intermodal}^2 + t_{rx})^{1/2} \quad (4)$$

$$t_{material} = (\Delta\sigma \times L \times D_m) \quad (5)$$

Tabel 8. Data perhitungan *rise time system*

No	Parameter	Nilai
1	Panjang serat optik G.652D (0,098 Km + (10% x 0,098 Km)	0,107 Km
2	Panjang serat optik G.657 (0,001 Km + (10% x 0,001 Km)	0,001 Km
3	<i>Rise time transmitter</i>	0,035 ns
4	<i>Rise time receiver</i>	0,035 ns
5	Lebar spektral	1 nm
6	Dispersi material G.657	0,11 ps/nm.Km
7	Dispersi material G.652D	0,092 ps/nm.Km

Tabel 8 merupakan data yang digunakan untuk mendapatkan nilai *rise time system* pada perancangan jaringan dan analisa kinerja. Nilai untuk data perhitungan *rise time system* pada Tabel 8 didapatkan dari spesifikasi alat yang digunakan. Untuk nilai *rise time transmitter* dan *rise time receiver* didapatkan dari spesifikasi perangkat OLT yang digunakan. Sedangkan untuk nilai panjang serat optik, lebar spektral serta nilai dispersi material didapatkan dari spesifikasi berdasarkan standar ITU G.657 dan G.652D.

5.3 BER (Bit Error Rate)

Kualitas transmisi data pada komunikasi serat optik dapat dinilai secara langsung dengan mengukur seberapa baik sinyal *output* terhadap sinyal *input*. Pengukuran *bit error rate* dilakukan dengan membandingkan sinyal *input* dan *output* digital untuk menilai jumlah *bit error* yang diterima dengan Persamaan 6 [22]. $E(t)$ adalah jumlah *bit error* yang diterima dalam waktu (t). $N(t)$ adalah jumlah *bit* yang dikirim dalam waktu t .

$$BER = \frac{E(t)}{N(t)} \quad (6)$$

Nilai BER dapat pula diperoleh dengan Persamaan 7 dan 8. P_o adalah daya sinar yang diterima *photodetector* (W). N adalah jumlah *photon/pulse*. h adalah konstanta Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s). c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s), B adalah *data rate* (bps). λ adalah panjang gelombang (1310 nm). $Pr(0)$ adalah probabilitas *error*.

$$P_o = N \frac{hcB}{2\lambda} \quad (7)$$

$$BER = Pr(0) = e^{-N} \quad (8)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas hasil perhitungan serta analisa kinerja yang telah dilakukan. Berdasarkan hasil perhitungan dapat diketahui apakah sistem yang dirancang telah layak untuk memenuhi kebutuhan yang hendak dicapai atau tidak. Berikut adalah hasil dan analisa kelayakan sistem pada masing-masing parameter perancangan, yaitu *Power Link Budget*, *Rise Time Budget*, dan *Bit Error Rate*.

Parameter kelayakan sistem yang pertama adalah dengan menghitung nilai *Power Link Budget*. Nilai *Power Link Budget* yang dihitung dibagi menjadi dua, yaitu *Power Link Budget downstream* dan *Power Link Budget upstream*. Perbedaan antara kedua hal tersebut terletak pada nilai redaman *splitter*. Nilai redaman *splitter* untuk *power link budget downstream* didapatkan dari perhitungan sebesar 24,24 dB dan menghasilkan nilai *Power Link Budget downstream* sebesar -27,24 dBm dengan menggunakan *system margin* sebesar 6 dB dan daya *transmitter* sebesar 3 dBm. *Power Link Budget downstream* ini merupakan besar nilai daya yang terdeteksi di sisi ONT dalam satuan dBm.

Sedangkan untuk *Power Link Budget upstream* adalah besar nilai daya yang terdeteksi di sisi OLT dalam satuan dBm. Dari penghitungan yang telah dilakukan nilai *Power Link Budget upstream* dihasilkan sebesar -11,68 dBm. Hal ini terjadi karena nilai redaman *splitter* pada *Power Link Budget upstream* sebesar 6,18 dB, sedangkan daya *transmitter* yang diterima oleh OLT sebesar 0,5 dBm. Berdasarkan hasil perhitungan *Power Link Budget* pada sisi *downstream* dan *upstream*, perancangan ini dapat memenuhi spesifikasi dari sensitivitas detektor baik pada OLT maupun ONT dengan nilai daya yang diterima antara -28 dBm hingga -8 dBm. Berdasarkan pada hasil yang dicapai, maka *Power Link Budget* telah terpenuhi.

Parameter kedua yang diperhitungkan adalah nilai *Rise Time Budget* yang dihitung dibagi menjadi dua, yaitu *Rise Time Budget Downstream* dan *Rise Time Budget Upstream*. Kedua nilai yang dihasilkan memiliki perbedaan dari nilai *bit rate* yang digunakan. Pada perhitungan *Rise Time Budget downstream* didapatkan nilai sebesar 0,07 ns dengan menggunakan *bit rate* 10 Gbps, untuk perhitungan *Rise Time Budget upstream* didapatkan nilai sebesar 0,28 ns dengan menggunakan *bit rate* 2,5 Gbps. Dari hasil nilai *Rise Time Budget downstream* dan *upstream* ini didapatkan nilai *Rise Time System* yang menjadi parameter kelayakan sistem. Berdasarkan hasil perhitungan *Rise Time System*, nilai tersebut dapat memenuhi pada *Rise Time Budget* yang dibutuhkan, yaitu kurang dari 0,07 ns untuk sisi *downstream* dan 0,28 ns untuk sisi *upstream*. Nilai *Rise Time System* yang didapat sebesar 0,049 ns pada perancangan ini memenuhi parameter yang hendak dicapai.

Parameter ketiga yang diperhitungkan pada perancangan ini adalah nilai *Bit Error Rate*. Dari hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan nilai *Bit Error Rate* pada perancangan ini sebesar $0,186 \times 10^{-1085}$ dengan menggunakan rumus (7) dan (8). Dengan nilai minimum yang harus dipenuhi pada komunikasi serat optik sebesar 10^{-9} , maka untuk parameter *Bit Error Rate* pada

perancangan ini memenuhi kelayakan sistem. Nilai dari *Power Link Budget*, *Rise Time Budget*, dan *Bit Error Rate* yang dilakukan pada penelitian ini sebatas pada perhitungan dengan menggunakan beberapa asumsi yang disesuaikan dengan parameter kelayakan suatu perangkat untuk tujuan penggunaan jaringan FTTB.

Potensi masalah yang dapat muncul dari perancangan ini juga disajikan dengan beberapa kemungkinan yang dirasa akan muncul. Kemungkinan terjadinya kekurangan dalam hal panjang kabel yang digunakan ketika terjadi renovasi gedung merupakan salah satu hal yang perlu diantisipasi. Penyelesaian yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan panjang kabel 5% sampai dengan 10% dari kebutuhan perhitungan perancangan. Sama halnya ketika terjadi peningkatan kebutuhan pengguna (jumlah ONT) secara signifikan, maka perlu dilakukan penyediaan tambahan *output splitter* dari jumlah yang digunakan. Untuk mengantisipasi kekurangan jumlah konektor yang rusak saat pemasangan perlu dilakukan penambahan 10% jumlah konektor dari kebutuhan desain. Hal lain yang mungkin terjadi adalah kelebihan penggunaan kabel, dengan demikian perlu dilakukan evaluasi terhadap desain jalur kabel agar lebih efisien dalam pemasangan.

Beberapa dampak positif yang mungkin terjadi adalah mendukung kebutuhan *bandwidth* yang lebar sehingga kebutuhan multimedia dan telekomunikasi pada area perkantoran dapat terpenuhi. Penggunaan serat optik sebagai media akses jaringan dapat meningkatkan produktifitas karyawan perkantoran. Selain itu, penggunaan serat optik juga akan memungkinkan menurunkan rugi-rugi. Dari sisi proses instalasi cenderung lebih fleksibel untuk penggunaan serat optik karena nilai diameter dari kabel dan konektor yang lebih kecil dibandingkan dengan media lainnya. Dari sisi biaya perawatan, serat optik cenderung relatif lebih kecil karena penggunaan jaringan serat optik cenderung aman terhadap gangguan. Selain dari itu, penggunaan jaringan serat optik akan lebih menghemat biaya ketika diperlukan tambahan kapasitas penggunaan, karena tidak perlu melakukan penggelaran serat optik baru.

IV. KESIMPULAN

Telah dilakukan model perencanaan dan juga analisa kinerja untuk penggelaran jaringan *fiber to the building* di daerah urban. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa terhadap perancangan yang dibuat, kesimpulan yang didapat diantaranya adalah besarnya daya terima (P_{rx}) pada perhitungan *Power Link Budget* baik di sisi *upstream* maupun *downstream* memenuhi nilai minimum parameter yang hendak dicapai, yaitu -28 sampai -8 dBm. Nilai P_{rx} yang didapat adalah -27,24 dBm untuk *downstream* dan -11,68 dBm untuk *upstream*.

Nilai parameter *Rise Time Budget* saat *uplink* dan *downlink* yang didapat dari perancangan adalah sebesar 0,049 ns. Nilai tersebut memenuhi parameter yang hendak dicapai yaitu 0,07 ns untuk *upstream* dan 0,28 ns untuk *downstream*. Nilai BER yang diperoleh memenuhi parameter yang hendak dicapai, yaitu kurang dari 10^{-9} , dimana nilai yang didapatkan adalah $0,186 \times 10^{-1085}$.

Berdasarkan data hasil perhitungan PLB, RTB, dan BER, perancangan FTTB dapat memenuhi parameter yang hendak dicapai dalam perancangan, yaitu kebutuhan *bandwidth* sebesar 9014,4 Mbps untuk 1200 *user*. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi yang dapat digunakan bagi penyedia jaringan serat optik di area perkantoran daerah urban.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. M. S. Reyga Prayoga, Akhmad Hambali, "Perancangan Jaringan Akses Fiber To the Home (FttH) Menggunakan Teknologi 10-Gigabit-Capable Passive Optical Network (Xgpon) Untuk Komplek Pertamina," e-Proceeding Eng. Telkom Univ., vol. 5, no. 3, pp. 5367–5373, 2018.
- [2] N. Dewi and M. Hamdani, "Perancangan Jaringan FTTB GPON Untuk Layanan Triple Play di Surya Cipta Industri," vol. 25, no. 1, pp. 17–24, 2015.
- [3] S. Wibowo, A. W. Purwanti, and D. Hantono, "Penerapan Konsep Bangunan Pintar Pada Perencanaan Kantor Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi 'APPLE' di Jakarta," Purwarupa, vol. 1, no. 1, pp. 7–16, 2017.
- [4] A. H. Buckman, M. Mayfield, and S. B. M. Beck, "What is a smart building?," Smart Sustain. Built Environ., vol. 3, no. 2, pp. 92–109, 2014.
- [5] S. Azodolmolky and I. Tomkos, "Techno-economic study of a modeled active Ethernet FTTB deployment," Proc. 6th Int. Symp. Commun. Syst. Networks Digit. Signal Process. CSNDSP 08, pp. 496–499, 2008.
- [6] P. Parol and M. Pawłowski, "FTTB + LAN : a Flexible Access Architecture for Residential and Business Users 1," vol. 2012, no. 1, pp. 3–27, 2013.
- [7] H. B. Sembiring, T. N. D. S. T. B. Uripno, and S. Stat, "PERANCANGAN JARINGAN FIBER TO THE BUILDING (FTTB) UNTUK SUPPORT SMART BUILDING MENGGUNAKAN GPON DI GRAHA POS INDONESIA , BANDUNG NETWORK DESIGN OF FIBER TO THE BUILDING (FTTB) TO SUPPORT SMART BUILDING USING GPON IN GRAHA POS INDONESIA , BANDUNG," vol. 4, no. 2, pp. 558–564, 2018.
- [8] A. Putra, A. Hambali, and B. Pamukti, "Perancangan Fiber To the Building (Fttb) Dengan Teknologi Berbasis Gpon Di Mall Cihampelas Walk Design of Fiber To the Building (Fttb) Network Using Gpon- Based Technology in Mall Cihampelas Walk," vol. 5, no. 2, pp. 2238–2246, 2018.
- [9] T. N. Damayanti and H. Putri, "Performance Comparison of Transmission," J. Elektro Telekomun. Terap., pp. 356–368, 2016.
- [10] A. M. J. Koonen, H. P. A. Van Den Boom, E. Tangdiongga, H. D. Jung, and P. Guignard, "Designing in-building optical fiber networks," Opt. InfoBase Conf. Pap., no. 1, pp. 1–3, 2010.
- [11] A. J. Maulana, "Perencanaan Desain Jaringan Metro FTTH di Universitas Indonesia SKRIPSI Perencanaan Desain Jaringan Metro FTTH di Universitas Indonesia," Perenc. Desain Jar. Metro FTTH di Univ. Indones. SKRIPSI Perenc. Desain Jar. Metro FTTH di Univ. Indones., pp. 1–79, 2012.
- [12] "ZTE ZX10 C320 GPON OLT Specification." [Online]. Available: <http://gponsolution.com/zte-zx10-c320-gpon-olt-specification.html>. [Accessed: 23-Nov-2019].
- [13] "ORS 2/600 Optical Distribution Cabinet | Micos - website." [Online]. Available: <https://www.micostelcom.com/ors-2-600-optical-distribution-cabinet>. [Accessed: 23-Nov-2019].
- [14] "LW-ODB-24B Optical Distribution Point ODP Box - 24 Fibers." [Online]. Available: <https://www.mylinkwell.com/portfolio-item/lw-odb-24b-optical-distribution-point-odp-box/>. [Accessed: 23-Nov-2019].
- [15] "China 1/32 1/64 Plc SC/APC Splitter Equipment Manufacturers, Suppliers, Factory - Wholesale Cheap 1/32 1/64 Plc SC/APC Splitter Equipment - Tongmai." [Online]. Available: <https://www.tmfibercable.com/ftth-accessories/1-32->

- 1-64-plc-sc-apc-splitter-equipment.html. [Accessed: 23-Nov-2019].
- [16] "ZTE GPON." [Online]. Available: <http://www.ztegp.com/index.php?page=660>. [Accessed: 23-Nov-2019].
- [17] G. A. Fibre, "Fibre specification G.657.A2," vol. 31, no. 0, p. 7481, 2018.
- [18] "SFP-1G Series." [Online]. Available: http://www.manilaetech.com/product_SFP-1G.php#specs. [Accessed: 23-Nov-2019].
- [19] MICT, "Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor 3/Per/M/Kominfo/1/2007 tentang Sewa Jaringan," 2007.
- [20] Damayanti, Tri Nopiani dan Hasanah Putri. 2016. "Perbandingan Unjuk Kerja Transmisi Jaringan Fttb Menggunakan GEAPON Dan GPON". Bandung: Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan.
- [21] A. H. Okeses Efriyanda, Delsina Faiza, "Analisis Kinerja Sistem Komunikasi Serat Optik Dengan Menggunakan Metode Power Link Budget Dan Rise Time Budget Pada Pt. Telkom," vol. 10, no. April, pp. 36-53, 2015.
- [22] G. Keiser, "Optical Fiber Communications" 3rd Edition, pp 282 - 288. 2000.