

Perancangan infrastruktur *fiber to the curb* menggunakan Optiwave untuk meningkatkan aksesibilitas internet

Mohammad Farid Susanto^{1*}, Dyelvio Wijaya², Elsadanika Maura Sitorus³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559, Indonesia

^{1*}mfarids@polban.ac.id, ²dyelvio.wijaya.tkom421@polban.ac.id, ³elsadanika.maura.tkom421@polban.ac.id

ABSTRAK

Perancangan infrastruktur *fiber-to-the-curb* (FTTC) dalam sistem komunikasi serat optik merupakan aspek penting dalam menyediakan konektivitas yang handal dan cepat bagi pengguna. Tulisan ini membahas perancangan infrastruktur FTTC menggunakan perangkat lunak simulasi Optiwave. Pendekatan yang digunakan meliputi analisis jaringan serat optik, pemilihan perangkat keras, dan perencanaan jaringan berbasis FTTC. Hasil simulasi menunjukkan kinerja jaringan yang optimal melalui parameter ukur *bit error rate* (BER), *link power budget*, dan latensi yang menghasilkan keandalan koneksi. Kualitas transmisi yang dihasilkan mencapai hasil BER senilai $9,3835 \times 10^{-25}$ dengan daya input sebesar 5 dBm, *latency* 18,356 μ s, dan *link budget* sebesar 20,113 dB. Penelitian ini memberikan wawasan tentang perancangan efektif infrastruktur FTTC dalam sistem komunikasi serat optik menggunakan teknologi simulasi terkini.

Kata kunci: FTTC, perancangan, optiwave, konektivitas

ABSTRACT

The design of fiber-to-the-curb (FTTC) infrastructure in optical fiber communication systems is a crucial aspect in providing reliable and fast connectivity for users. This paper discusses the design of FTTC infrastructure using the Optiwave simulation software. The approach includes optical fiber network analysis, hardware selection, and FTTC-based network planning. The simulation results demonstrate optimal network performance through measured parameters such as bit error rate (BER), link loss, and latency, resulting in reliable connections. The transmission quality achieved a BER of $9,3835 \times 10^{-25}$ with an input power of 5 dBm, a latency of 18,356 μ s, and a link budget of 20,113 dB. This research provides insights into the effective design of FTTC infrastructure in optical fiber communication systems using the latest simulation technology.

Keywords: FTTC, design, optiwave, connectivity

1. PENDAHULUAN

Pada era perkembangan teknologi telekomunikasi yang kian *massive* ini, dibutuhkan konektivitas jaringan internet yang lebih cepat sebagai penunjang aktivitas atau kegiatan manusia. Perkembangan teknologi telekomunikasi memungkinkan sarana telekomunikasi dalam biaya relatif rendah, mutu pelayanan tinggi, cepat, aman dan juga kapasitas besar dalam menyalurkan informasi [1]. Berkembangnya teknologi ini mempengaruhi hampir seluruh bidang, di antaranya adalah pendidikan, bisnis, hingga hiburan. Dengan peningkatan permintaan layanan internet kualitas tinggi yang *massive* ini, diperlukan infrastruktur telekomunikasi yang lebih *modern*. Menurut Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII), aksesibilitas internet Indonesia di tahun 2024 baru mencapai 79,5% dari jumlah populasi. Untuk meningkatkan aksesibilitas internet yang memiliki kualitas tinggi bagi pelanggan, infrastruktur serat optik menjadi solusi terbaik. Fiber Optic adalah sebuah teknologi kabel yang menggunakan benang (serat kaca atau plastik) untuk mengirimkan data [2]. Kabel serat optik menawarkan kapasitas dan kecepatan yang jauh lebih tinggi daripada kabel tembaga. Selain itu, kabel serat optik juga memiliki ketahanan yang jauh lebih baik dari interferensi dalam rupa gelombang elektromagnetik. Akan tetapi hal ini pun menimbulkan permasalahan yang baru dalam hal finansial, dikarenakan penyaluran serat optik secara langsung ke rumah pelanggan menghasilkan penggunaan biaya yang signifikan bagi operator jaringan. *Fiber to the x* (FTTx) adalah istilah umum untuk setiap arsitektur jaringan *broadband* yang menggunakan serat optik untuk menggantikan seluruh atau

sebagian dari kabel metal lokal *loop* yang digunakan untuk telekomunikasi *last mile*[2]. Upaya yang ditawarkan untuk mengatasi kendala penyaluran tersebut adalah *Fiber To The Curb* (FTTC) yang memanfaatkan keuntungan serat optik.

Penelitian terkait perancangan FTTx yang telah dilakukan sebelumnya yaitu dengan menentukan spesifikasi perangkat, jumlah perangkat, dan tata letak yang disimulasikan pada Optisystem [3], [4]. Perencanaan jaringan FTTH dilakukan di Perumahan Tawanganom, Magetan, Jawa Timur dengan penerapan teknologi GPON berdasarkan kebutuhan dari ODC hingga ONU dengan parameter analisis *rise time budget* [3]. Digunakan 14 *core* kabel *feeder*, 14 buah pasif *splitter* 1:4, 56 *core* kabel distribusi dan 56 buah pasif *splitter* 1:8. Dihasilkan nilai *rise time budget downlink* sebesar 0,281350 ns hingga 0,2779 ns yang lebih kecil dari nilai *rise time* format persinyalan yaitu 0,281350 ns serta nilai BER *downstream* sebesar 1.11139×10^{-154} . Serupa dengan penelitian tersebut, perancangan FTTH di Perumahan Legok Indah memiliki nilai BER yang tidak sesuai standar dengan hasil $3,9 \times 10^{-6}$ [4]. Sulitnya proses optimalisasi jaringan FTTH dengan pengadaan infrastruktur baru menjadikan daya tarik bagi penggunaan FTTC dengan pemanfaatan dan optimalisasi jaringan infrastruktur *existing*.

Fiber to the curb (FTTC) adalah arsitektur jaringan *fiber* optik yang mendistribusikan format isyarat optik dari pusat penyedia hingga kabinet (*curb*) dekat pelanggan menggunakan serat optik sebagai medium penghantarnya [5]. Akses serat optik broadband terutama mengadopsi teknologi PON [6]. FTTC menghubungkan *exchange* atau sentral jaringan dengan titik yang merupakan tempat kerumunan atau mendekati wilayah pelanggan menggunakan serat optik yang biasanya disimpan dalam kabinet berwarna putih yang juga dikenal sebagai *Multi Service Access Node* (MSAN) dan dilanjutkan dengan penggunaan kabel tembaga dari kabinet ke rumah pelanggan. Solusi ini menggabungkan efisiensi energi dan biaya rendah jaringan tembaga dengan kecepatan data serat yang lebih tinggi [7]. Hal ini menghasilkan efisiensi *cost* bagi operator jaringan. Selain biaya yang lebih murah, modernisasi menggunakan perangkat *Multi Service Access Node* (MSAN) ini juga lebih ekonomis dan mendukung layanan Indihome yakni layanan *Triple Play* dari Telkom yang terdiri dari telepon rumah, internet dan IPTV [8]. FTTC biasanya diletakkan di trotoar atau di depan kompleks perumahan. FTTC dapat dianalogikan sebagai pengganti Kotak Pembagi (KP) pada jaringan akses tembaga [9].

Adapun tujuan dari perancangan infrastruktur FTTC ini adalah sebagai berikut:

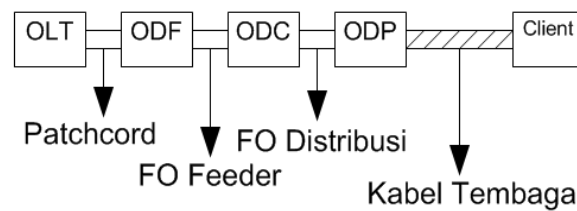
1. Memahami teknologi serat optik dalam jaringan telekomunikasi modern yang mencakup pemahaman tentang integrasi serat optik dengan infrastruktur yang telah ada. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kualitas layanan internet dan mencapai keterjangkauan internet bagi seluruh pengguna layanan.
2. Mengetahui efisiensi penggunaan sistem dan data FTTC dibandingkan dengan FTTx. Hal ini mencakup kecepatan data dan kapasitas jaringan yang ditawarkan.
3. Memahami cara kerja peningkatan aksesibilitas internet yang memiliki kecepatan tinggi bagi pelanggan dan desain arsitektur jaringan FTTC.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang diusulkan adalah perancangan infrastruktur FTTC dengan menggunakan *software* Optiwave. Optiwave adalah sebuah sistem *simulation tool* yang sangat inovatif dan dapat digunakan untuk mendesain atau melakukan pemodelan sistem, pengujian, dan optimasi jaringan optik serta secara *virtual* mulai dari jaringan video analog *broadcasting* sampai dengan jaringan *backbone* [10]. Perancangan ini terdapat 4 buah bagian yang memiliki fungsinya masing-masing dalam perancangan FTTC.

2.1 Diagram Infrastruktur FTTC

Konfigurasi jaringan FTTC memiliki diagram struktur yang ditunjukkan pada Gambar 1, pengiriman sinyal optik dimulai dari OLT (*Optical Line Terminal*) yang merupakan perangkat *Active Optical Network* (AON) yang terdapat pada sentral *office* yang memiliki fungsi sebagai *interface* sentral dengan jaringan yang dihubungkan ke satu atau dua lebih jaringan distribusi optik, mengendalikan sebuah proses transmisi data yang terjadi dalam jaringan akses optik, mengatur lalu lintas data, dan menyediakan fungsionalitas manajemen jaringan. Fungsi terpenting yang dilakukan OLT adalah penjadwalan lalu lintas, kontrol *buffer*, dan alokasi *bandwidth* [11].



Gambar 1. Diagram FTTC

OLT akan terhubung dengan ODF (*Optical Distribution Frame*) yang merupakan sebuah perangkat tempat terminasi awal kabel serat optik atau dalam arti lain ODF juga berfungsi sebagai titik sentral pada sebuah sistem serat optik dari berbagai sumber dan dapat disambungkan serta dikelola dengan rapi. ODF ini biasanya terdiri dari beberapa rak yang dilengkapi dengan panel-panel koneksi seperti *switch*, *router*, atau perangkat lainnya yang akan disambungkan dengan serat optik dalam jaringan. Lalu ODF ini akan terhubung dengan kabel *feeder* serat optik, serta menghubungkan ODF dan ODC (*Optical Distribution Cabinet*).

ODC merupakan suatu perangkat *Passive Optical Network (PON)* yang di instalasi pada luar sentral, bisa dalam ruangan dan diluar ruangan. Kemudian ODC ini akan dihubungkan terhadap ODP (*Optical Distribution Point*) melalui kabel distribusi serat optik.

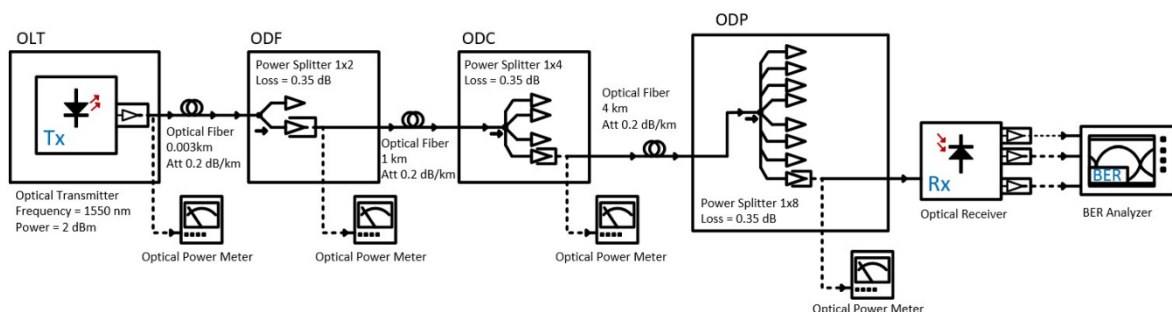


Gambar 2. ODP (sumber: mediakonsumen.com)

Gambar 2 merupakan perangkat terminasi akhir kabel distribusi, ODP ini juga dapat diartikan sebagai titik pembagi. Dalam FTTC sendiri TKO akan terletak dalam ODP ini, sehingga untuk proses pendistribusian terhadap pelanggan akan disebarakan melalui kabel tembaga atau *twisted pair* yang berjarak kurang dari 300 meter.

2.2 Perancangan Dalam Optiwave

Tahap ini memerlukan pembagian blok untuk setiap perangkat yang digunakan, yaitu OLT, ODF, ODC, dan ODP. Pada Gambar 3 ditunjukkan pembagian setiap perangkat penunjang infrastruktur FTTC dengan membuat sebuah kotak pembatas untuk penunjuk setiap perangkat.



Gambar 3. Rancangan FTTC pada software Optiwave

Melalui gambar 4 diketahui bahwa, total jarak OLT ke ODF adalah 3 meter dengan spesifikasi *loss splitter* 0,35 dB, dan *loss* kabel serat optik adalah 0,2 dB per km. Kemudian dalam konfigurasi dalam ODP ke ODC digunakan kabel serat optik sepanjang 1 kilometer dengan spesifikasi *loss splitter*

yang digunakan dalam ODC yaitu 0,35 dB, serta *loss* kabel serat optiknya 0,2dB per km. Lalu untuk konfigurasi ODC ke ODP digunakan kabel serat optik sepanjang 4 kilometer dan dalam ODP digunakan spesifikasi *loss splitter* sebesar 0,35dB, serta *loss* kabel serat optiknya 0,2dB per kilometer. Pada rancangan ini tidak digunakan konektor dalam penyambungan setiap kabel optiknya, ini dikarenakan untuk mengurangi adanya redaman dan juga terjadinya *fresnel loss*.

Dalam proses pengamatan untuk kualitas yang didapatkan apakah baik atau tidak, dalam sisi penerima yaitu dalam ODP digunakan alat ukur BER *analyzer*. BER *analyzer* ini akan menunjukkan banyaknya data yang *error* dalam setiap pengiriman, sehingga proses pengukuran BER ini perlu dilakukan agar tingkat *error* yang terjadi akan semakin kecil. Lalu untuk *power meter* digunakan sebagai pengukuran *Link Power Budget* sehingga akan memberikan nilai yang layak untuk diterima di sisi penerima dengan daya yang masih di atas ambang sensitivitas penerima. Lalu jarak yang digunakan dalam perancangan ini adalah jarak minimum yaitu 5 km.

2.3 Parameter Pengukuran

Proses pengiriman data atau informasi menggunakan kabel serat optik dapat dikirim dengan cepat dengan data atau informasi yang berukuran besar. Namun, pada beberapa kondisi, terdapat proses transmisi data yang gagal saat data dikirimkan melalui media kabel serat optik [12]. Untuk mengatasi hal tersebut perlu adanya proses optimalisasi dalam perancangan dengan menggunakan parameter ukur yaitu *link power budget* dan *bit error rate*.

Link Power Budget (LPB)

LPB merupakan teknik perhitungan daya berdasarkan karakteristik saluran (redaman), sumber optik, dan sensitivitas detektor yang dihitung supaya daya tidak melebihi batas ambang dari kebutuhannya. Perhitungan *link power budget* mempunyai beberapa parameter yaitu rugi-rugi device dan prasarana berdasarkan spesifikasi alat yang akan digunakan [13]. LPB dihitung melalui pengukuran mengukur daya optik, penentuan redaman *fiber*, perhitungan *loss* tambahan, dan penambahan margin keselamatan untuk mengantisipasi fluktuasi daya dan kondisi tak terduga. *Link power budget* dihitung sebagai syarat agar daya link yang dirancang melebihi batas ambang dari daya yang dibutuhkan [8]. LPB dapat dihitung melalui persamaan di bawah ini [11]:

$$L_{total} = L_{cable} + L_{splitter} + L_{splice} + L_{connector} \text{ [dBm]} \quad (1)$$

$$Prx = Ptx - L_{total} \text{ [dBm]} \quad (2)$$

LPB yang dihasilkan pada perancangan ini ditampilkan pada tabel 1 yang berisi data penggunaan pada rancangan.

Bit Error Rate (BER)

BER merupakan sejumlah bit *digital* pada yang terdapat dalam jaringan transmisi dengan keadaan yang rendah atau tinggi dan dibagi dengan bit yang diterima atau diproses atau dikirim selama periode tertentu. Selain itu, BER merupakan rasio perbandingan bit *error* dengan jumlah keseluruhan bit yang dikirim [5]. Nilai BER standar yang telah ditentukan oleh PT. Telkom yaitu sebesar 10^{-9} [14] atau dapat diartikan hanya diperbolehkan 1 bit yang error dalam 1 miliar bit yang dikirimkan.

Latency

Latency merupakan perhitungan yang mengukur nilai keterlambatan sebuah data yang dikirimkan dari pengirim sampai ke penerima. Dalam ruang hampa atau ruang bebas cahaya dapat merambat dengan kecepatan 3×10^8 m/s. Sehingga kecepatan cahaya juga setara dengan 300m/μs. Dalam sebuah serat optik terdapat perbedaan kecepatan cahaya dengan kecepatan yang terjadi di ruang hampa. Sehingga terdapat beberapa jenis serat optik yang berbeda-beda untuk kecepatan cahaya yang dapat dilaluinya. Sehingga dalam pengukuran latensi di dalam jaringan menggunakan serat optik dapat digunakan persamaan seperti di bawah ini:

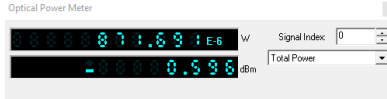
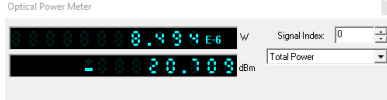
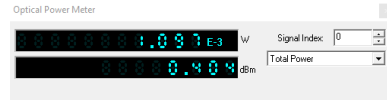
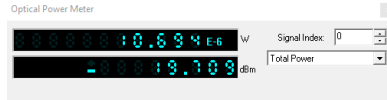
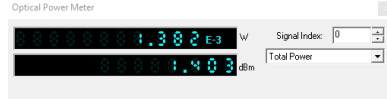



$$Latensi = \frac{\text{Jarak Optik}}{\text{Kecepatan Cahaya Dalam Optik}} [\mu\text{s}] \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Penggunaan

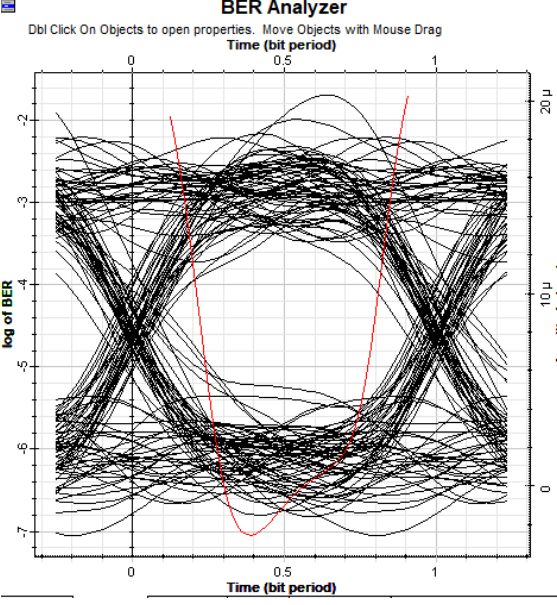
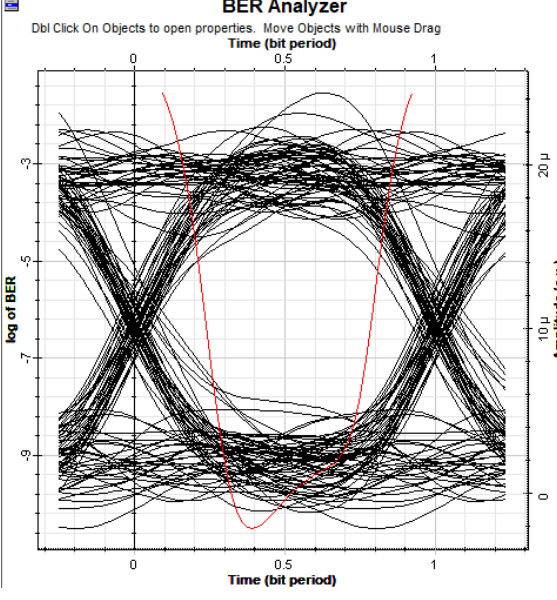
Tabel 1 merupakan data penggunaan jarak dan perubahan daya *input* yang dilakukan pada simulasi untuk mengetahui dampak dari perubahan daya *input* terhadap daya *output* terukur. Digunakan modulasi tipe NRZ (*Non Return To Zero*) dengan nilai *loss* sebesar 2,596 dB sehingga terjadi perubahan besar daya *input* yang diatur dengan daya *input* terukur.

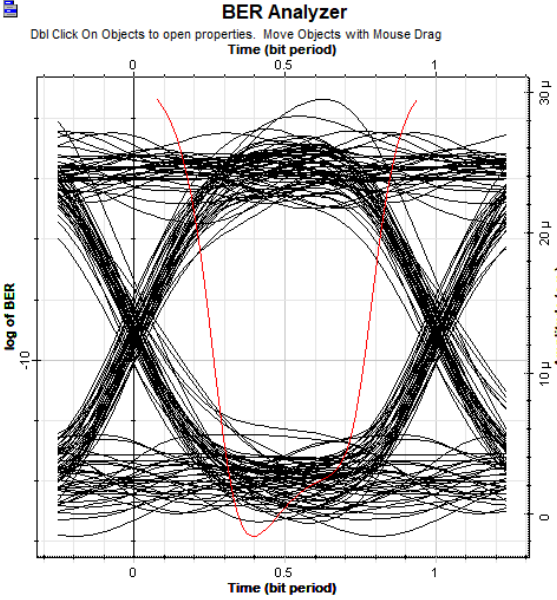
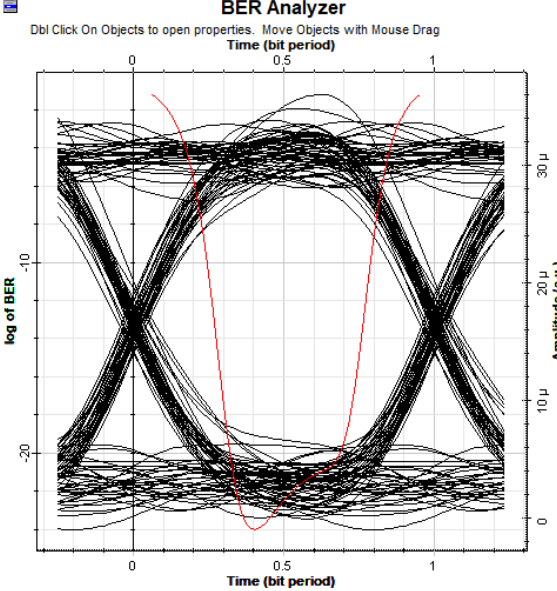
Tabel 1. Data perubahan daya input dengan jarak fiber optic konstan

Jarak (km)	Daya Input (dBm)	Panjang Gelombang (λ) (nm)	Link Loss (dB)	Sisi Pengukuran (dBm)	Optical Power Meter
5,503	2	1550	20,113	Ptx	
				Prx	
	3		Ptx		
			Prx		
	4		Ptx		
			Prx		
	5		Ptx		
			Prx		

Tabel 2 merupakan data grafik BER dengan *eye diagram* dengan acuan perubahan daya *input* yang dilakukan pada simulasi. *Eye diagram* menunjukkan dua jenis warna garis yang berbeda, yaitu garis merah dan hitam. Kurva dengan garis berwarna ini memiliki arti bahwa semakin jauh garis merah terhadap garis-garis hitam menandakan kualitas transmisi semakin baik. Selain itu, ketika garis-garis berwarna hitam tampak lebih rapat menandakan kualitas yang lebih baik dengan nilai BER yang semakin kecil. Selain itu, dihasilkan nilai latensi untuk jarak serat optik sejauh 5.503 km adalah sebesar 18.356 μ s. Nilai ini tidak berubah jika jarak penggunaan serat optik tidak berubah.

Tabel 2. Hasil simulasi BER untuk perubahan daya input dengan jarak fiber optic konstan

Daya Input (dBm)	BER Value	Grafik
2	$8,90034 \times 10^{-8}$	 <p>The plot shows a dense cluster of black lines representing individual bit error events. A red curve is overlaid, showing the BER value over time. The y-axis is labeled 'log of BER' and ranges from -7 to -2. The x-axis is labeled 'Time (bit period)' and ranges from 0 to 1. The plot is titled 'BER Analyzer' and includes instructions: 'Dbl Click On Objects to open properties. Move Objects with Mouse Drag'.</p>
3	$3,13648 \times 10^{-11}$	 <p>The plot shows a dense cluster of black lines representing individual bit error events. A red curve is overlaid, showing the BER value over time. The y-axis is labeled 'log of BER' and ranges from -9 to -3. The x-axis is labeled 'Time (bit period)' and ranges from 0 to 1. The plot is titled 'BER Analyzer' and includes instructions: 'Dbl Click On Objects to open properties. Move Objects with Mouse Drag'.</p>

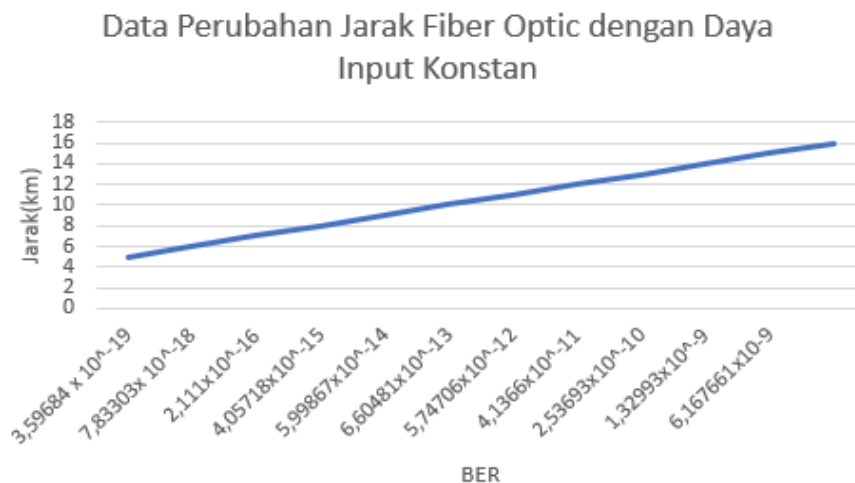
Daya Input (dBm)	BER Value	Grafik
4	$1,49583 \times 10^{-16}$	
5	$9,3835 \times 10^{-25}$	

Tabel 3 merupakan data perubahan jarak fiber optic dengan daya input yang konstan. Dengan besar loss modulasi NRZ yaitu 2,596 dB, dihasilkan daya yang ditransmisikan sebesar 2,404 dBm untuk daya input 5 dBm. Semakin jauh jarak pemasangan kabel serat optik yang digunakan dari OLT ke ODP, maka nilai BER yang dihasilkan pun semakin besar. Selaras dengan membesarnya nilai link loss dan latensi yang dihasilkan. Lalu dalam tabel juga dapat terlihat pada jarak 14,003 km sampai 16,003 km didapatkan daya yang diterima adalah dibawah -20,109. Sehingga didapatkan BER yang tidak sesuai dengan standar yang dikeluarkan PT. Telkom yaitu 1×10^{-9} atau dapat diartikan juga bahwa hanya 1 kesalahan saja yang diperbolehkan dalam setaip 1 miliar bit yang dikirimkan. Maka dapat diketahui bahwa untuk sensitivitas penerima adalah -20,1 dBm.

Tabel 3. Data perubahan jarak fiber optic dengan daya input konstan

No	Jarak (km)	Daya Input (dBm)	Daya Tx (dBm)	Daya Rx (dBm)	BER	Link Loss (dB)	Latency (µs)
1	5,003	5	2,404	-18,309	$3,59684 \times 10^{-19}$	20,713	24,501
2	6,003	5	2,404	-18,509	$7,83303 \times 10^{-18}$	20,913	29,398
3	7,003	5	2,404	-18,709	$2,111 \times 10^{-16}$	21,113	34,296
4	8,003	5	2,404	-18,908	$4,05718 \times 10^{-15}$	21,313	39,193
5	9,003	5	2,404	-19,109	$5,99867 \times 10^{-14}$	21,513	44,091
6	10,003	5	2,404	-19,309	$6,60481 \times 10^{-13}$	21,713	48,988
7	11,003	5	2,404	-19,509	$5,74706 \times 10^{-12}$	21,913	53,885
8	12,003	5	2,404	-19,709	$4,1366 \times 10^{-11}$	22,113	58,783
9	13,003	5	2,404	-19,909	$2,53693 \times 10^{-10}$	22,313	63,680
10	14,003	5	2,404	-20,109	$1,32993 \times 10^{-9}$	22,513	68,577
11	15,003	5	2,404	-20,309	$6,167661 \times 10^{-9}$	22,713	73,475
12	16,003	5	2,404	-20,509	$2,48177 \times 10^{-8}$	22,913	78,372

Hubungan antara perubahan jarak kabel serat optic dengan daya input ditampilkan pada Gambar 4. Semakin besar jarak maka akan semakin besar nilai BER disebabkan oleh terjadinya redaman selama informasi dikirimkan. Kemudian untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan pengurangan penggunaan konektor *portable*, sehingga akan meminimalisir terjadinya *fresnel loss*, yang disebabkan adanya dua buah media yang memiliki perbedaan indeks bias.

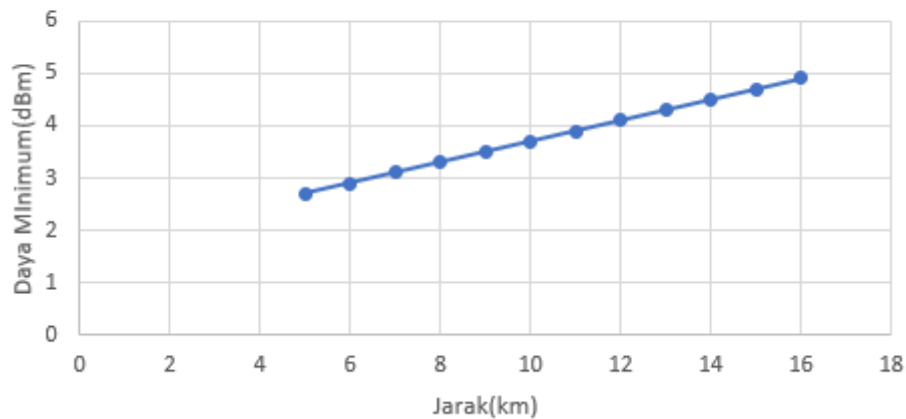


Gambar 4. Grafik perubahan jarak fiber optic dengan daya input konstan

Tabel 4 merupakan data perubahan jarak *fiber optic* dengan daya *input* yang juga ditambahkan sebesar 0,2 dBm per perubahan jarak. Dengan besar *loss* modulasi NRZ yaitu 2,596 dB, dihasilkan daya yang ditransmisikan dengan kenaikan yang linier. Akan tetapi, daya yang diterima tidak mengalami perubahan apapun. Nilai BER yang dihasilkan pun cenderung stabil pada nilai $4,93871 \times 10^{-10}$ hingga $6,21548 \times 10^{-10}$ dan nilai *link loss* yang berada pada *range* 20,113 dB hingga 22,313 dB. Data-data tersebut membuktikan bahwa daya input sebesar 2,7 dBm hingga 4,9 dBm memiliki kualitas transmisi yang sesuai untuk memperoleh BER *minimum* sesuai standarisasi yang berlaku. Tidak terdapat perubahan nilai latensi secara teoritis diakibatkan penggunaan jarak yang tidak berubah. Kemudian dapat terlihat pengaruh dalam perubahan jarak yaitu dalam *link loss*, semakin besar jarak yang digunakan maka akan semakin besar juga *link loss* yang didapatkan, sehingga untuk melebihi dari -20,1 dBm daya yang akan diterima maka daya yang digunakan dalam Tx perlu diperbesar agar didapatkan BER yang sesuai dan daya yang diterima lebih besar dari sensitivitas penerima (-20,1 dBm).

Tabel 4. Perubahan jarak dan daya untuk BER minimum 1×10^{-9}

No	Jarak (km)	Daya Input (dBm)	Daya Tx (dBm)	Daya Rx (dBm)	BER	Link Loss (dB)	Latency (μ s)
1	5,003	2,7	0,104	-20,009	$4,93871 \times 10^{-10}$	20,113	24,501
2	6,003	2,9	0,304	-20,009	$5,28509 \times 10^{-10}$	20,313	29,398
3	7,003	3,1	0,504	-20,009	$5,65395 \times 10^{-10}$	20,513	34,296
4	8,003	3,3	0,703	-20,009	$5,91968 \times 10^{-10}$	20,712	39,193
5	9,003	3,5	0,903	-20,009	$6,20805 \times 10^{-10}$	20,912	44,091
6	10,003	3,7	1,103	-20,009	$6,21548 \times 10^{-10}$	21,112	48,988
7	11,003	3,9	1,303	-20,009	$6,10171 \times 10^{-10}$	21,312	53,885
8	12,003	4,1	1,503	-20,009	$5,598187 \times 10^{-10}$	21,512	58,783
9	13,003	4,3	1,703	-20,009	$5,93468 \times 10^{-10}$	21,712	63,680
10	14,003	4,5	1,903	-20,009	$5,90389 \times 10^{-10}$	21,912	68,577
11	15,003	4,7	2,104	-20,009	$6,00631 \times 10^{-10}$	22,113	73,475
12	16,003	4,9	2,304	-20,009	$6,08772 \times 10^{-10}$	22,313	78,372

Perubahan Jarak dan Daya Untuk BER Minimum 10^{-9} Gambar 5. Grafik perubahan jarak dan daya minimum untuk BER 1×10^{-9}

Gambar 5 membuktikan bahwa setiap jarak yang berbeda akan memerlukan daya Tx yang berbeda, sehingga daya yang akan diterima Rx akan di atas nilai sensitivitas penerima. Selama daya yang diterima pada sisi Rx lebih besar dari sensitivitas penerima, maka data yang dikirimkan akan dapat dipahami oleh penerima. Selain itu, pada tabel 3 dan tabel 4 terjadi perubahan jarak sehingga menyebabkan perubahan latensi. Dalam perancangan ini digunakan fiber optik *single mode* G.652 dengan panjang gelombang 1550nm yang memiliki kecepatan cahaya dalam serat optik sebesar 204,191m/ μ s. Sehingga didapatkan hasil perhitungan latensi pada setiap jarak. Besar nilai latensi sangat dipengaruhi oleh jarak, dikarenakan semakin panjang jarak kabel optik yang digunakan maka akan semakin besar juga latensi yang didapatkan.

3.2 Analisis Hasil Rancangan FTTC Menggunakan Optiwave

Pada perancangan FTTC yang telah dibuat, diketahui bahwa jarak penggunaan kabel serat optik dari OLT ke ODF adalah 3 meter, ODF ke ODC adalah 1000 meter, dan ODC ke ODP adalah 4000 meter. Spesifikasi *splitter* diatur dengan *loss* sebesar 0,35 dB per unit, serta *loss* kabel serat optik adalah 0,2 dB per km. Dengan spesifikasi tersebut, maka *link loss* yang dihasilkan untuk setiap besaran *input* daya yang diberikan akan selalu sama ketika kualitas unit yang digunakan tidak berubah.

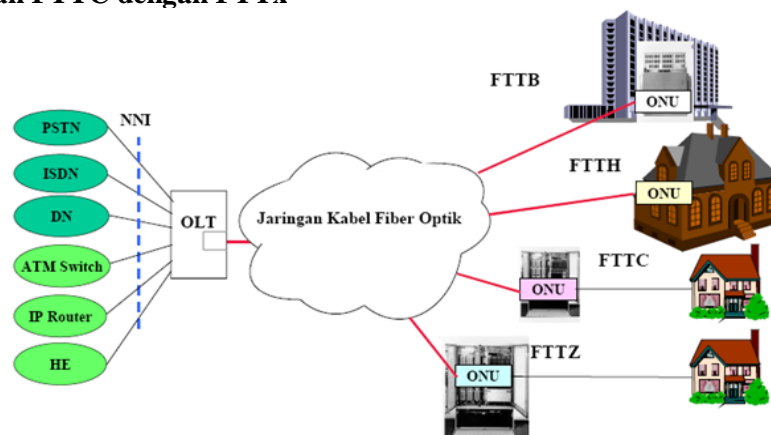
Untuk daya *input* 3 dBm, *link loss* dihitung dengan cara $P_{tx} - P_{rx}$ yaitu 0,404 dBm - (-19,709) dBm sehingga dihasilkan *link loss* sebesar 20,113 dB. Sedangkan untuk perhitungan *link loss* untuk daya *input* 4 dBm pun sama yaitu $P_{tx} - P_{rx}$ sehingga *link loss* terukur sebesar 1,403 dBm - (-18,709)

dBm yaitu 20,113 dB. Pengamatan terhadap perubahan daya input dimulai dari 2 dBm hingga 5 dBm menghasilkan nilai *link loss* terukur yang tidak mengalami perubahan. Hal ini membuktikan bahwa, berapapun besar daya *input* yang diberikan akan menghasilkan nilai *link loss* yang sama sesuai dengan spesifikasi alat ukur atau alat distribusi yang digunakan, ini dikarenakan tidak ada perubahan jarak yang digunakan dalam kabel serat optik sehingga nilai *link loss* yang didapatkan akan bernilai konstan.

Pada spesifikasi daya *input* untuk transmisi data, diketahui bahwa nilai *minimum* daya yang perlu diberikan adalah sebesar 3 dBm, sehingga nilai daya dibawah 3 adalah dibawah standar. Menurut simulasi yang telah dilakukan melalui perubahan daya *input*, infrastruktur FTTC memiliki stabilitas akan nilai *link loss* yang dimilikinya. Akan tetapi, pada instalasi lapangan dapat terjadi perubahan nilai *link loss* seiring dengan menurunnya kondisi alat-alat yang digunakan sebagai penunjang rancangan infrastruktur. Hal ini serupa dengan latensi yang dihasilkan dari simulasi perancangan. Perubahan nilai latensi secara teoritis terjadi ketika terdapat perubahan jarak penggunaan kabel serat optik serta perbedaan tipe kabel. Latensi pun meningkat seiring dengan penambahan jarak penggunaan kabel serat optik.

Sedangkan untuk pengukuran BER, diketahui bahwa ketika daya *input* yang diberikan adalah 2 dBm dengan jarak sejauh 5,503 km, maka dihasilkan nilai BER sebesar $8,90034 \times 10^{-8}$ atau dapat dikatakan bahwa terdapat 8,9 bit yang error dalam setiap 0.1 miliar bit yang dikirimkan. Nilai BER ini berada dibawah standar PT. Telkom yaitu 1×10^{-9} . Akan tetapi untuk daya *input* diatas 2 dBm memiliki hasil nilai BER yang melebihi standar. Daya input 3 dBm dengan jarak yang sama dihasilkan BER sebesar $3,13648 \times 10^{-11}$. Sedangkan nilai BER terbaik dihasilkan ketika diberikan daya *input* sebesar 5 dBm dengan nilai BER $9,3835 \times 10^{-25}$. Hal ini menjelaskan bahwa semakin besar daya *input* yang diberikan maka semakin kecil BER yang terukur di sisi penerima. BER memiliki toleransi sebesar 1×10^{-9} sehingga jika nilai BER dibawah nilai toleransi tersebut maka jaringan dapat dikatakan berkualitas baik. Nilai BER menandakan kualitas transmisi yang dihasilkan dari perancangan yang dibuat. Perancangan ini memiliki kualitas transmisi hingga mencapai BER yang sangat kecil dengan nilai 9.3835×10^{-25} .

3.3 Perbandingan FTTC dengan FTTx



Gambar 6. Jaringan kabel serat optik (sumber: unned.ac.id)

Melalui gambar 6 mengenai jaringan kabel serat optik, diketahui bahwa jaringan kabel serat optik dihubungkan dengan perangkat yang berbeda-beda sebelum sampai ke tujuannya. Pada FTTB, perangkat PON OLT berada *central office, basement*, atau ruang perangkat yang ada didalam gedung [15]. *Splitter* dipasang dalam gedung untuk pelayanan beberapa lantai. ONU dipasang di tiap lantai atau *basement*. Dengan *bandwidth* yang umumnya disediakan adalah 50-100 Mbps untuk tiap pelanggan.

Pada FTTH, PON OLT ditempatkan di *central office, splitter* diatur di luar bangunan, sedangkan ONU ditempatkan di rumah pelanggan dan langsung terhubung ke perangkat modem atau *router* melalui kabel tembaga *indoor* di dalam rumah. *Bandwidth* yang disediakan adalah 10-100 Mbps per pelanggan. PON OLT dipasang di *central office* dan *splitter* di luar gedung. akan tetapi yang menjadi pembeda adalah ONU diatur di dalam *curb* atau kabinet dengan kapasitas *bandwidth* 2-25 Mbps untuk setiap pelanggan. Dengan hal ini, penggunaan FTTC memberikan kapasitas yang lebih besar daripada

FTTB atau FTTH. Tabel 5 menunjukkan perbandingan FTTC, FTTH, dan FTTB yang didasarkan terhadap ONU.

Tabel 5. Perbandingan FTTC, FTTH, dan FTTB

Keterangan	FTTC	FTTH	FTTB
Kapasitas ONU	Ratusan	1 – 4 Port	Puluhan
Jarak OLT ke ONU	5 – 100 km	< 20 km	<20 km
Jarak ONU ke User	1 – 3 km	0 – 20 m	<500 m
Bandwidth per User	2 – 25 Mbps	100 Mbps	100 Mbps
Tipe ONU	ONU	SFU	MDU

Melalui Tabel 5, diketahui bahwa FTTC memiliki keuntungan yang sangat besar bagi penyelenggara jaringan atau operator dan bagi pelanggan. Walaupun FTTH masih dapat dikatakan lebih lambat dibandingkan dengan FTTH, namun FTTC masih lebih unggul dalam aksesibilitasnya. FTTC akan meneruskan konektivitas *fiber* optik dari titik yang mendekati kerumunan masyarakat. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO melalui kabel coaxial hingga beberapa ratus meter. Dengan kualitas transmisi yang tinggi dibuktikan dengan nilai parameter BER yang sangat kecil, aksesibilitas masyarakat terhadap internet tetap meningkat. Keunggulan FTTC ini akan lebih mudah dan lebih cepat dalam proses *deployment* dikarenakan dapat melayani ratusan pengguna dan mudah dalam proses instalasi.

4. KESIMPULAN

Perancangan infrastruktur FTTC menggunakan *software* optiwave berhasil memenuhi standar yang berlaku dalam sistem komunikasi serat optik dari PT. Telkom yaitu dengan nilai BER yang baik harus lebih kecil dari 1×10^{-9} atau 1 bit error dari 1 miliar bit yang dikirimkan. Sehingga dalam perancangan ini diperlukan input daya dengan *range* lebih dari 3 dBm agar didapatkan hasil BER diatas standar yang telah dikeluarkan PT.Telkom yaitu 1×10^{-9} . Dengan hasil percobaan ini juga dapat disimpulkan bahwa jika daya input yang diberikan oleh pemancar diatas 3 dBm akan terjadi error sebanyak 1 bit dari 1 miliar bit yang dikirimkan dalam satu waktu. Selain itu, nilai latensi terbesar yang didapatkan dari hasil perancangan adalah 78,372 mikro detik. Hal ini didasarkan pada jenis serat optik yang digunakan serta panjang penggunaan kabel serat optik. Kemudian untuk nilai sensitivitas penerima adalah -20,1 dBm. Pada pengujian selanjutnya diharapkan penggunaan modulasi selain NRZ untuk mendapatkan hasil daya yang lebih akurat dan tingkat BER yang jauh lebih baik serta memenuhi standar dari PT. Telkom.

REFERENSI

- [1] N. Harpawi, E. H. Putra, and R. A. R. Qory, "Desain Jaringan Fiber Optik Menggunakan Optisystem Untuk Kawasan Kota Pekanbaru," *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, vol. 3, no. 2, pp. 21-30, 2017.
- [2] M. Burhanudin and S. Wardoyo, "Reventive Maintenance Jaringan Fiber to The X (FTTX) Di PT Moratelindo Tbk," *Manufaktur: Publikasi Sub Rumpun Ilmu Keteknikan Industri*, vol. 2, no. 1, pp. 146-152, 2024.
- [3] Y. Natali and R. D. Hapsari, R. D. "Perancangan kapasitas jaringan fiber to the home (FTTH) pada perumahan tawanganom magetan menggunakan optisystem". *Journal ICT*, 7(13), 2016.
- [4] D. R. Kumala, "Simulasi Perancangan Jaringan Fiber to The Home (FTTH) di Perumahan Legok Indah Menggunakan Simulasi Optisystem," *Tugas Akhir, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom*, 2015.
- [5] S. A. Machfuddin, A. Hambali, and D. M. Saputri, "Evaluasi Jaringan Akses Fiber To The Curb (fttc) Menggunakan Teknologi 10-gigabit-capable Passive Optical Networks (xgpon) Di Sto Tanjung Priok," *eProceedings of Engineering*, vol. 5, no. 3, 2018.
- [6] "Difference between ONU, ONT, SFU, HGU and MDU – Solution.
- [7] R. Strobel and W. Utschick, "Coexistence of G. fast and VDSL in FTTdp and FTTC deployments," in *2015 23rd European signal processing conference (EUSIPCO) IEEE*, 2015.
- [8] D. Hendratno, A. Hambali, and M. Wim, "Perancangan Jaringan Akses Fiber to The Curb (FTTC) Menggunakan Teknologi 10-Gigabit-Capable Passive Optical Networks (XGPON) Studi Kasus STO Cempaka Putih Dengan Ducting Bersama," *eProceedings of Engineering*, vol. 3, no. 2, 2016.

-
- [9] U. L. F. I. Terapan, "FTTH (Fiber To The Home)," Apr. 05, 2017.
- [10] N. Harpawi, E. H. P. H. Putra, and R. R. Qory, "Desain Jaringan Fiber Optik Menggunakan Optisystem Untuk Kawasan Kota Pekanbaru," *Jurnal ELEMENTER (Elektro dan Mesin Terapan)*, vol. 3, no. 2, pp. 21-30, 2017.
- [11] M. M. Al-Quzwini, "Design and Implementation of a Fiber to the Home FTTH Access Network based on GPON," *International Journal of Computer Applications*, vol. 92, no. 6, 2014.
- [12] T. H. Yanuary and L. Lidyawati, "Analisis Link Budget Penyambungan Serat Optik Menggunakan Optical Time Domain Reflectometer AQ7275," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 36-40, 2018.
- [13] E. C. HIDAYAT, "Analisa Power Link Budget Perancangan Jaringan Fiber To The Home Dengan Teknologi Gigabit Passive Optical Networks Di Perumahan Citraland Tegal," *Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung*, 2022.
- [14] M. R. Farisan, T. N. Damayanti, and A. P. Satya, "Analisa Dan Optimasi Jaringan Fiber To The Home (fth) Di Perumahan Ciganitri Indah Residence Kabupaten Bandung," *eProceedings of Applied Science*, vol. 6, no. 1, 2020.
- [15] "Jaringan Akses Fiber Optik – sejarah internet," Feb. 18, 2016.