

Perancangan Jaringan *Fiber to the Home* (FTTH) pada Perumahan di Daerah Urban

(Fiber to the Home (FTTH) Network Design at Housing in Urban Areas)

Sahid Ridho¹, A'isyah Nur Aulia Yusuf², Syaniri Andra³, Dinari Nikken Sulastrie Sirin⁴, Catur Apriono⁵

Abstract—The evolution of communication network comes from the need for users to stay connected anytime and anywhere. Modernization of the network continues to be done to increase bandwidth capacity in order to obtain an increase in multimedia services, especially in urban areas. Of various transmission media, optical fiber is the best choice to support reliable communication networks. One of the optical fiber communication technologies is Fiber to the Home (FTTH). This study proposes FTTH network design with Gigabit Capable Passive Optical Network (GPON) technology aimed at housing in urban areas. The design uses aerial and duct-aerial cabling systems. The design analysis is carried out based on the parameters of the link power budget, rise time, Bit Error Rate (BER), components and costs required. The value of the power budget link for the uplink and downlink are -22.792 dBm and -23.120 dBm. The rise time value for uplink and downlink are 0.256 ns and 0.258 ns, while the BER value is 14.628×10^{-12} . The calculation results show that the design meets the required parameters, hence, the proposed network can be implemented. For the cost components required by the aerial system, it is 11.56% less than of the duct-aerial sistem.

Intisari—Evolusi jaringan komunikasi hadir dari kebutuhan pengguna untuk tetap terkoneksi kapan pun dan di mana pun. Modernisasi jaringan terus dilakukan untuk meningkatkan kapasitas *bandwidth* agar didapatkan peningkatan layanan multimedia, terutama di kawasan urban. Dari berbagai media transmisi, *fiber optic* menjadi pilihan terbaik untuk mendukung jaringan komunikasi yang andal. Salah satu teknologi komunikasi *fiber optic* adalah *Fiber to the Home* (FTTH). Makalah ini mengusulkan perancangan jaringan FTTH dengan teknologi *Gigabit Capable Passive Optical Network* (GPON) yang ditujukan pada perumahan di daerah urban. Perancangan menggunakan sistem pengkabelan *aerial* dan *duct-aerial*. Analisis perancangan dilakukan berdasarkan parameter *link power budget*, *rise time*, *Bit Error Rate* (BER), komponen, dan biaya yang dibutuhkan. Nilai *link power budget* untuk *uplink* dan *downlink* masing-masing sebesar -22,792 dBm dan -23,120 dBm. Nilai *rise time* untuk *uplink* dan *downlink* sebesar 0,256 ns dan 0,258 ns, sedangkan nilai BER sebesar $14,628 \times 10^{-12}$. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa perancangan telah memenuhi parameter yang dipersyaratkan sehingga jaringan yang diusulkan dapat diimplementasikan. Untuk komponen

biaya yang dibutuhkan, sistem *aerial* membutuhkan 11,56% lebih sedikit biaya daripada sistem *duct-aerial*.

Kata Kunci—FTTH, *Link Power Budget*, *Rise Time Analysis*, BER.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi didorong oleh kebutuhan dan permintaan perubahan dalam kehidupan masyarakat. Evolusi jaringan komunikasi yang cepat dari jaringan telepon hingga jaringan dengan area luas berkecepatan tinggi saat ini hadir dari kebutuhan sosial manusia untuk berkomunikasi satu sama lain, peningkatan permintaan pengguna untuk berbagai aplikasi baru, serta kemajuan dalam teknologi. Perubahan yang cepat pada jaringan telekomunikasi juga didorong oleh kebutuhan pengguna agar tetap terkoneksi kapan pun dan di mana pun. Berbagai aplikasi baru, seperti layanan multimedia, *video conference*, permainan interaktif, dan layanan internet, semuanya membutuhkan *bandwidth* yang sangat besar. Di samping itu, pengguna menginginkan jaringan yang memberikan layanan terbaik dan efisien [1].

Modernisasi jaringan terus dilakukan untuk meningkatkan kapasitas *bandwidth* agar didapatkan peningkatan layanan multimedia video, *voice*, dan data. Media transmisi yang cocok untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah *fiber optic*. Komunikasi *fiber optic* adalah teknologi komunikasi yang menggunakan pulsa cahaya untuk mentransfer informasi dari satu titik ke titik lain melalui *optical fiber* (*fiber optic*). *Fiber optic* dipilih di antaranya karena memiliki *bandwidth* yang besar, *loss* dan biaya rendah, ringan, tahan terhadap gangguan elektromagnetik, dan berbagai gangguan lainnya (*noise*) [1].

Salah satu teknologi komunikasi dengan memanfaatkan *fiber optic* adalah *Fiber to the Home* (FTTH). FTTH merupakan pembangunan infrastruktur jaringan *fiber optic* ke pelanggan atau rumah tinggal [2]. FTTH menjadi penting karena tingkat kepadatan penduduk (pelanggan) dan kebutuhan akan internet semakin tinggi. Selain itu, FTTH juga mampu menjadi sarana untuk mendukung program *Indonesia Digital Network* (IDN) yang dicanangkan pemerintah Indonesia.

Beberapa penelitian tentang FTTH telah dilakukan, seperti perancangan jaringan FTTH menggunakan teknologi *Gigabit Capable Passive Optical* (GPON) [2]–[4]. Pada penelitian tersebut dibahas perancangan jaringan FTTH untuk perumahan di daerah Purwakarta dengan teknologi GPON [2]. Analisis perancangan yang dilakukan mencakup perhitungan *link power budget*, *rise time analysis*, dan *Bit Error Rate* (BER). Pada perancangan lainnya, untuk jaringan FTTH menggunakan GPON di wilayah Bandung, juga digunakan

^{1,2,3,4,5} Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, Depok, Jawa Barat 16424 INDONESIA (telp:021-7270078; email: ¹sahid.ridho@ui.ac.id, ²aisyah.nur@ui.ac.id, ³syaniri.andra@ui.ac.id, ⁴dinari.nikken@ui.ac.id, ⁵catur@eng.ui.ac.id)

parameter perancangan *link power budget*, *rise time analysis*, dan BER [3], [4]. Namun, perancangan jaringan yang telah dilakukan belum menjangkau jumlah komponen dan biaya yang dibutuhkan serta analisis potensi masalah dan dampak yang ditimbulkan dari perancangan jaringan FTTH.

Makalah ini membahas usulan rancangan topologi jaringan FTTH yang ditujukan untuk kawasan urban, secara lebih spesifik adalah perumahan. Penelitian mencakup Perumahan Islam Thoyibah yang terletak di kawasan Cibitung, Kabupaten Bekasi. Perumahan ini dipilih karena lokasinya yang strategis berada di kawasan industri yang dekat dengan kota Jakarta. Cibitung juga menjadi lokasi yang memiliki tingkat kebutuhan properti sangat tinggi. Hal ini juga disebabkan oleh mobilisasi dari dan ke Cibitung yang tergolong cukup mudah. Perumahan Islam Thoyibah sendiri merupakan perumahan yang dihuni cukup banyak penduduk dan memiliki minat pembeli yang tinggi, sehingga potensi pelanggan jaringan FTTH pun diprediksi cukup besar. Selain itu, analisis terhadap desain jaringan dilakukan dari segi perhitungan *link power budget*, *rise time analysis*, BER, komponen dan biaya yang dibutuhkan, serta potensi masalah dan dampak dari topologi jaringan yang diusulkan.

Susunan makalah ini adalah sebagai berikut. Bagian II menjabarkan tentang dasar teori dalam FTTH. Bagian III menunjukkan desain jaringan FTTH yang diusulkan, komponen dan biaya yang dibutuhkan, serta perhitungan *link power budget*, *rise time analysis*, dan BER. Bagian IV menjelaskan analisis hasil perhitungan serta potensi masalah dan dampak yang terjadi dalam perancangan FTTH, sedangkan bagian terakhir menyajikan kesimpulan.

II. TEKNOLOGI GPON PADA FTTH

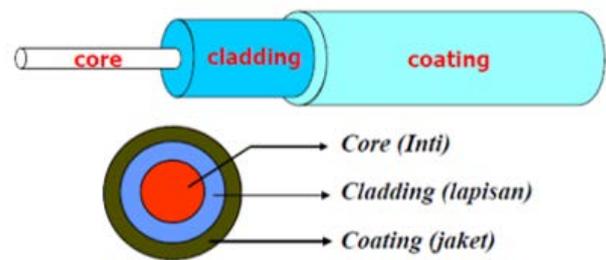
A. Fiber Optic

Fiber optic adalah media transmisi telekomunikasi yang berupa sejenis kabel yang terbuat dari kaca atau plastik untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu titik ke titik yang lain. Sumber cahaya yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal biasanya adalah laser dan LED. *Fiber optic* memiliki kecepatan transmisi yang begitu tinggi, sehingga sangat baik untuk digunakan sebagai saluran telekomunikasi modern [2].

Secara garis besar, sistem komunikasi *fiber optic* terdiri atas sumber optik yang berfungsi sebagai pemancar, kabel *fiber optic* yang berfungsi sebagai media transmisi, dan *photodetector* yang berfungsi sebagai penerima. Struktur dasar sebuah *fiber optic* terdiri atas tiga bagian, seperti ditunjukkan pada Gbr. 1, yaitu *core* (inti), *cladding* (kulit), dan *coating* (jaket).

B. Gigabit Capable Passive Optical Network (GPON)

GPON adalah salah satu teknologi akses yang termasuk sebagai *broadband access* yang berbasis kabel *fiber optic* sebagai media transpor ke pelanggan. GPON juga merupakan salah satu teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T dengan menggunakan standar G.984 dan sering disebut sebagai teknologi FTTx [5].



Gbr. 1 Struktur *fiber optic* [2].

Pada GPON, informasi dari sentral didistribusikan ke pelanggan menggunakan pembagi daya yang dikirim (*splitter*) pada beberapa percabangan, sehingga mampu untuk menjangkau banyak pelanggan. Kecepatan data *downstream* bekerja pada 2,488 Gbps dan untuk *upstream* pada 1,244 Gbps. Keamanan *downstream* menggunakan enkripsi 128 bit. Maksimum jumlah percabangan pada GPON adalah 1:64, sedangkan maksimal jarak dari OLT sampai ONT adalah 20 km.

Untuk mengirimkan data secara *upstream* dan *downstream* melalui *fiber optic single mode*, GPON menggunakan teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM). Pemisahan sinyal *upstream* dan *downstream* melalui *fiber optic* yang sama dari pengguna yang berbeda menggunakan teknologi *broadcast technology* untuk transmisi data *downstream* dan *Time Division Multiple Access* (TDMA) untuk transmisi data *upstream*.

C. Fiber to the Home (FTTH)

FTTH merupakan jaringan akses yang menggunakan *fiber optic* sebagai media transmisi untuk disalurkan ke pelanggan perumahan dengan arsitektur dari Jaringan Lokal Akses Fiber (Jarlokaf) yang memungkinkan penarikan kabel optik sangat dekat dengan pelanggan perumahan dari sentral [6], [7]. Dalam arsitektur FTTH, sinyal optik dengan panjang gelombang 1.490 nm digunakan pada *downstream* dan sinyal optik dengan panjang gelombang 1.310 nm pada *upstream*. FTTH sendiri memiliki beberapa kelebihan, di antaranya sebagai berikut [7].

- Tersedianya *range* yang lebar untuk layanan hiburan.
- Menawarkan layanan suara, video, dan data yang lebih baik.
- Mendukung pengembangan dan peningkatan jaringan komunikasi masa depan.

D. Perangkat FTTH

1) *Optical Line Termination: Optical Line Termination* (OLT) adalah perangkat yang berfungsi sebagai *end-point* dari layanan jaringan GPON. OLT menyediakan *interface* dengan penyedia layanan (*service provider*) telepon, video, dan data. Fungsi utama OLT adalah melakukan konversi sinyal listrik dalam jaringan *fiber optic* yang menggunakan jaringan GPON [1]. Komponen OLT yang digunakan dalam perancangan ini adalah OLT ZTE ZX10 C320.

2) *Optical Distribution Cabinet*: Kabel *feeder* dari OLT akan terhubung ke *Optical Distribution Cabinet* (ODC). ODC

berfungsi sebagai tempat instalasi sambungan jaringan *fiber optic*. ODC ini biasanya berbentuk kotak atau kubah (*dome*) yang berisi *splitter*, *splicing*, konektor, dan terdapat ruang manajemen kabel fiber dengan kapasitas tertentu [6].

Komponen *splitter* di dalam ODC merupakan komponen pasif yang memisahkan daya optik dari satu *input* ke beberapa *output* fiber. Di dalam perancangan jaringan, besarnya redaman setiap *splitter* menentukan pemilihan jenis *splitter*.

3) *Optical Distribution Point: Optical Distribution Point* (ODP) merupakan *output* dari ODC yang terhubung ke masing-masing *Optical Network Termination* (ONT)/ONU. Perangkat ODP dapat berisi *splitter room*, konektor adaptor, *optical pigtail*, dan dilengkapi ruang manajemen fiber dengan kapasitas tertentu [4]. Komponen ODP yang digunakan dalam perancangan ini menggunakan ODP *Pole Fiber Optic 24 Core*.

4) *Optical Network Termination*: ONT merupakan perangkat pada sisi pelanggan yang menyediakan *interface*, baik data, telepon, maupun video. ONT mengubah sinyal optik yang ditransmisikan dari OLT dan mengubahnya menjadi sinyal elektrik yang diperlukan [8], [9].

5) *Konektor*: Konektor merupakan perlengkapan kabel *fiber optic* yang berfungsi sebagai sambungan ujung terminal sebagai penghubung kabel *fiber optic*. Konektor tersedia dalam beberapa jenis yang berbeda bentuk, yang tergantung pada kebutuhan implementasinya.

E. Kinerja Sistem

Dalam merancang sistem telekomunikasi, perlu dilakukan analisis jaringan untuk mengetahui kinerja sistem yang dirancang.

1) *Link Power Budget: Link power budget* adalah perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui batasan redaman total yang diizinkan antara daya *output* pemancar dan sensitivitas penerima [7]. Berdasarkan standar ITU-T G.948, redaman total tidak lebih dari 28 dB atau $Pr > -28$ dBm [10]. Total redaman sistem (α_{tot} dalam dB) dapat diperoleh dari (1). L adalah panjang *fiber optic* (km); α_{fiber} adalah redaman *fiber optic* (dB/km); N_c dan N_s adalah jumlah konektor dan jumlah sambungan; α_c dan α_s adalah redaman konektor (dB/buah) dan redaman sambungan (dB/sambungan); dan α_{sp} adalah redaman *splitter* (dB).

$$\alpha_{tot} = L \cdot \alpha_{fiber} + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + \alpha_{sp} \quad (1)$$

Besarnya nilai daya yang diterima oleh detektor didapatkan menggunakan (2). Pr_x adalah daya pada detektor (dBm); P_t adalah daya *output* sumber optik (dBm); dan M_s adalah margin sistem (sekitar 6–8 dB). Persamaan (3) merupakan persamaan untuk melakukan perhitungan margin daya (M dalam dBm), dengan Pr adalah sensitivitas daya maksimum detektor (dBm).

$$Pr_x = P_t - \alpha_{tot} - M_s \quad (2)$$

$$M = (P_t - Pr) - \alpha_{tot} - M_s \quad (3)$$

2) *Rise Time Analysis: Rise time analysis* merupakan suatu metode untuk menentukan batasan dispersi pada suatu

jaringan *fiber optic* untuk menganalisis kinerja jaringan terkait kapasitas kanal [10], [11]. Biasanya penurunan total waktu transisi pada jaringan digital bernilai $\leq 70\%$ dari satu periode bit *Non-Return-to-Zero* (NRZ). Total *rise time* sistem dapat dihitung menggunakan (4), dengan t_{total} adalah total *rise time* sistem (ns); t_{tx} adalah *rise time* pemancar (ns); $t_{intramodal}$ adalah $t_{material} + t_{waveguide}$ (ns); $t_{intermodal}$ sebesar 0 untuk *fiber optic single mode*; dan t_{rx} adalah *rise time* penerima (ns). Persamaan (5) digunakan untuk memperoleh *rise time* maksimum dari *bit rate* NRZ, dengan T_r adalah *rise time* maksimum (ns) dan B_r adalah *bit rate* (Gbps). *Rise time* material dapat diperoleh menggunakan (6), dengan $t_{material}$ adalah *rise time* material; $\Delta\sigma$ adalah lebar spektral (nm); L adalah panjang *fiber optic* (km); dan D_m adalah *dispersi* material (ps/nm.km).

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

$$T_r = 0,7/B_r \quad (5)$$

$$t_{material} = \Delta\sigma \times L \times D_m \quad (6)$$

Tahap selanjutnya adalah mendapatkan *rise time waveguide* menggunakan (7). Nilai Δ_s , V , dan dV_b/dv didapatkan menggunakan (8) sampai (10). $t_{waveguide}$ adalah *rise time waveguide*; C adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s); n_2 adalah indeks bias selubung; n_1 adalah indeks bias inti; Δ_s adalah selisih indeks bias inti dan selubung; V adalah frekuensi dinormalkan; λ adalah panjang gelombang; dan a adalah jari-jari inti dari *fiber optic*.

$$t_{waveguide} = \frac{L}{c} \times [n_2 + (n_2 \times \Delta_s \times \frac{dV_b}{dv})] \quad (7)$$

$$\Delta_s = (n_1 - n_2)/n_1 \quad (8)$$

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \times a \times n_1 (2 \times \Delta_s)^{1/2} \quad (9)$$

$$\frac{dV_b}{dv} = 1 + (\frac{u_c^2}{v^2}) \quad (10)$$

3) *Bit Error Rate*: BER di dalam sistem transmisi digital merupakan parameter tingkat kesalahan bit yang diterima pada sisi penerima untuk meninjau kualitas sinyal [6]. Di dalam FTTH, nilai BER yang harus dipenuhi pada rentang 10^{-9} sampai dengan 10^{-12} . Nilai BER dapat didekati menggunakan (11) dan (12). Q adalah *quantum noise* dan Pe adalah *probability error*. Kualitas komunikasi yang baik memiliki batasan minimum S/N untuk sistem komunikasi optik sebesar 21,5 dB ($BER = 10^{-9}$). S/N merupakan perbandingan *signal power* dengan *noise power* pada satu titik yang sama. Nilai S/N dapat diperoleh menggunakan (13).

$$(S/N)_{pk/rms} = 20 \log 2Q \quad (11)$$

$$BER = Pe(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (12)$$

$$\text{Signal-to-Noise Ratio: } (S/N)_{pk/rms} = \frac{\text{Signal Power}}{\text{Noise Power}} \quad (13)$$

Daya sinyal (*signal power*) merupakan kuatnya sinyal *transmit* yang diterima pada penerima. Besarnya daya sinyal yang diterima oleh penerima dapat dicari menggunakan (14), dengan P_{opt} adalah daya sinyal yang diterima detektor (W);

$\frac{\eta q}{hv} = R$ adalah nilai *responsivity* (A/W); η adalah nilai efisiensi *quantum* (%); h adalah konstanta Plank ($6,626 \times 10^{-34}$ Js); hv adalah energi foton (kWh); q adalah $1,6 \times 10^{-19}$ C; dan M adalah nilai penguatan daya sinyal pada detektor cahaya (jika menggunakan APD).

$$\text{Signal Power} = 2(P_{opt} \left(\frac{\eta q}{hv}\right))^2 M^2 \quad (14)$$

Noise Power dihasilkan dari tiga *noise*, yaitu *dark current*, *thermal noise*, dan *shot noise*. Penjumlahan dari ketiga jenis *noise* tersebut menghasilkan *noise power* seperti pada (15). *Dark Current*, yang merupakan arus balik kecil yang mengalir karena adanya *reverse bias* diode, didapatkan dengan menggunakan (16). Q adalah muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C); i_D adalah *dark current* (A); dan B adalah *bandwidth* *detector* cahaya (Hz).

$$\text{Total Noise} = \text{Noise dark current} + \text{thermal noise} + \text{shot noise} \quad (15)$$

$$\text{Noise dark current} = 2 q i_D B \quad (16)$$

Thermal noise yang merupakan gangguan yang berasal dari perubahan temperatur komponen-komponen elektronik yang diperoleh menggunakan (17). Sedangkan *shot noise* merupakan adanya ketidaklinearan yang dirumuskan dengan (18). K adalah konstanta *Boltzman* ($1,38 \times 10^{-23}$ Joule/k; B adalah *bandwidth* (Hz); T_{eff} adalah *effective noise* temperatur (k); R_1 adalah *equivalent resistance* (ohm); $F(M)$ adalah *noise figure* pada sistem *fiber optic*; dan $F(M) = M$.

$$\text{Thermal Noise} = \frac{4kT_{eff}B}{R_1} \quad (17)$$

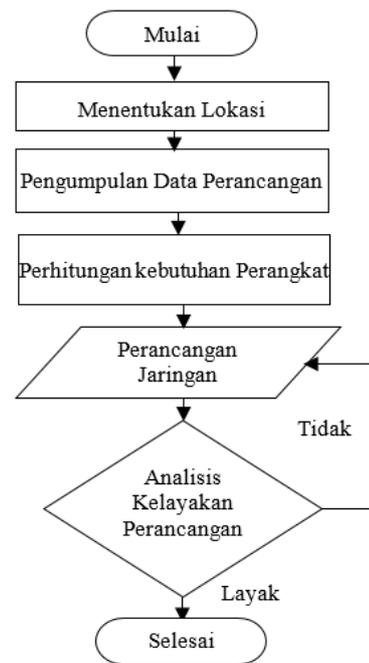
$$\text{Shot Noise} = 2q \left(2P_{opt} \frac{\eta q}{hv} BM^2 F(M) \right) \quad (18)$$

III. PERANCANGAN JARINGAN FTTH

Proses perancangan dilakukan untuk mempermudah proses analisis jaringan FTTH yang dibangun. Proses perancangan yang tepat dapat mencegah risiko, baik secara teknis dan nonteknis. Risiko secara teknis dapat berlangsung pada penentuan spesifikasi, jumlah, dan penempatan peralatan jaringan FTTH. Penentuan spesifikasi peralatan yang benar dapat menghindari kesalahan pada saat pembelian peralatan FTTH yang diperlukan, sehingga dapat mengantisipasi kelebihan atau kekurangan peralatan yang dibutuhkan. Pada proses penempatan peralatan FTTH, dapat diantisipasi kesalahan penempatan peralatan. Risiko nonteknis dapat mencakup proses perizinan yang diperlukan, baik kepada pemerintah setempat maupun kepada masyarakat di sekitar lokasi pemasangan jaringan FTTH. Selain itu, tahap ini dapat membantu dalam menyosialisasikan proses pembangunan jaringan FTTH. Perancangan juga membantu dalam hal menentukan Sumber Daya Manusia (SDM) yang dibutuhkan. Perancangan jaringan yang baik juga dapat menghemat waktu dan biaya yang diperlukan dalam mengimplementasikan jaringan FTTH.

A. Diagram Perancangan

Untuk mempermudah proses perancangan, diperlukan adanya diagram alir yang menggambarkan tahapan



Gbr. 2 Diagram alir perancangan jaringan FTTH.



Gbr. 3 Lokasi perancangan (sumber: Google Map).

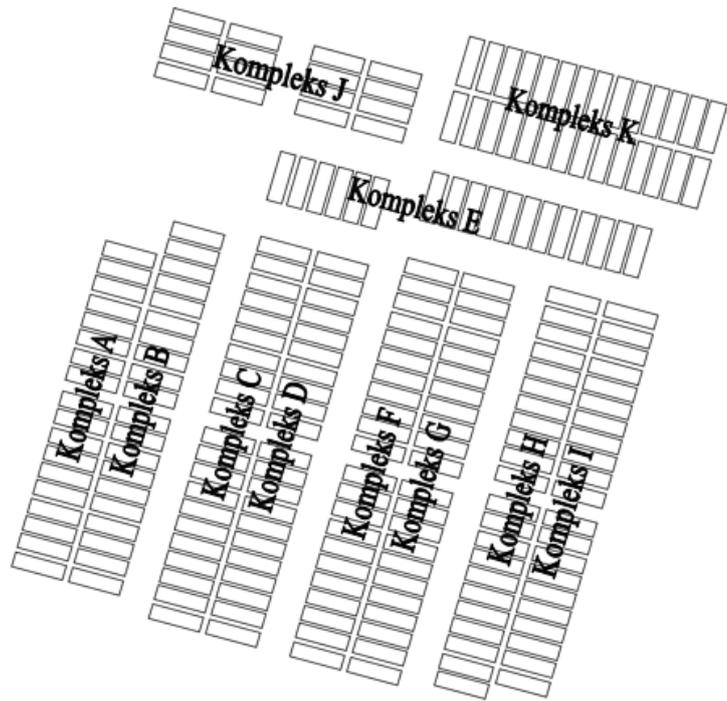
perancangan yang harus dilakukan. Gbr. 2 merupakan diagram alir perancangan jaringan FTTH. Pada awal perancangan dilakukan penentuan lokasi perancangan. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data perancangan yang terdiri atas jumlah potensi konsumen, peta lokasi konsumen, perhitungan jarak yang dibutuhkan, dan titik penempatan perangkat FTTH. Data-data yang didapat digunakan untuk proses perhitungan banyaknya perangkat yang dibutuhkan. Setelah didapat data perancangan dan diketahui banyaknya perangkat yang dibutuhkan, langkah selanjutnya adalah melakukan perancangan jaringan. Perancangan jaringan terdiri atas penentuan lokasi peletakan perangkat pada area perancangan.

Tahap berikutnya adalah analisis kelayakan yang terdiri atas hal-hal sebagai berikut.

1. Analisis potensi masalah, dampak, dan penyelesaian.
2. Analisis *link power budget*, analisis *rise time budget*, dan analisis BER. Analisis dilakukan pada sisi *downlink* (OLT ke ONT) dan sisi *uplink* (ONT ke OLT) untuk perhitungan menggunakan jarak terjauh dan terdekat OLT ke ONT pada proses *downlink* dan ONT ke OLT pada proses *uplink*. Jarak terjauh dan terdekat dapat

Data jumlah rumah

Kompleks A	18	Kompleks G	22
Kompleks B	20	Kompleks H	22
Kompleks C	21	Kompleks I	21
Kompleks D	21	Kompleks J	16
Kompleks E	18	Kompleks K	18
Kompleks F	22		
Total rumah			229



Gbr. 4 Data jumlah rumah pada lokasi perancangan.

menggambarkan analisis *link power budget* pada keseluruhan jaringan.

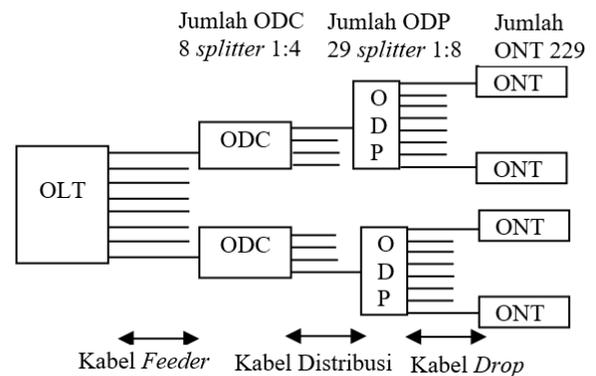
- Analisis biaya material dan SDM. Pada analisis ini akan didapat jenis, jumlah, biaya perangkat, dan biaya SDM instalasi perangkat FTTH.

B. Penentuan Lokasi Perancangan

Lokasi perancangan jaringan FTTH berada di Perumahan Kampung Islam Thoyibah, Cibitung. Perumahan ini memiliki sebelas kompleks perumahan, dari kompleks A hingga kompleks K, dengan rata-rata 22 rumah per kompleks dan jumlah total perumahan sebanyak 229 rumah. Perumahan ini memiliki lokasi yang strategis, berdekatan dengan fasilitas umum (seperti sekolah, rumah sakit umum, dan pasar), akses transportasi umum (seperti Stasiun Cibitung dan Stasiun Cikarang), dan pada kawasan Cibitung lokasi perumahan ini berada terdapat beberapa perumahan lainnya, baik yang sudah dibangun maupun yang akan dibangun, yang merupakan potensi tumbuhnya calon konsumen dan pengembangan jaringan FTTH. Lokasi penempatan OLT berjarak sekitar 1,6 km dari lokasi perancangan, seperti ditunjukkan pada Gbr. 3.

C. Pengumpulan Data Perancangan

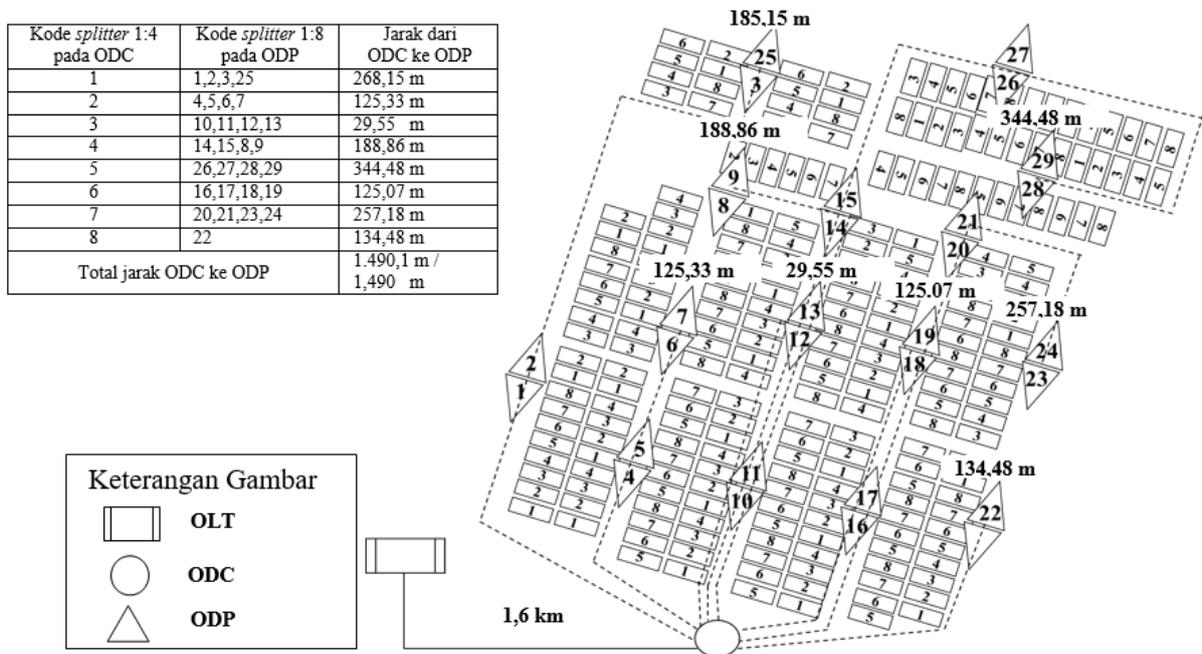
Perumahan terdiri atas sebelas kompleks perumahan, yaitu kompleks A dengan 18 rumah, kompleks B dengan 20 rumah, kompleks C dengan 21 rumah, kompleks D dengan 21 rumah, kompleks E dengan 18 rumah, kompleks F dengan 22 rumah, kompleks G dengan 22 rumah, kompleks H dengan 22 rumah, kompleks I dengan 21 rumah, kompleks J dengan 16 rumah, dan kompleks K dengan 28 rumah. Total jumlah rumah adalah 229 rumah, seperti ditunjukkan pada Gbr. 4.



Gbr. 5 Usulan arsitektur jaringan FTTH.

D. Perancangan Jaringan

Tahap berikutnya adalah perhitungan kebutuhan perangkat FTTH. Perhitungan dimulai dari banyaknya perangkat ONT yang akan digunakan. Tahap berikutnya adalah penentuan jenis dan jumlah *splitter* pada ODC (dasar pertimbangan jenis dan jumlah *splitter* sama dengan penentuan jenis dan jumlah pada ODP). Terakhir, dilakukan penentuan jumlah *core* kabel *feeder* dari OLT. Kabel *feeder* terhubung dari ODC ke OLT. Dalam makalah ini digunakan satu buah OLT. Gbr. 5 menunjukkan usulan arsitektur jaringan FTTH. Setiap pelanggan memiliki perangkat ONT. Dari jumlah perangkat ONT yang ada, diperoleh jumlah *splitter* 1:8 pada ODP sebanyak 29 *splitter*. Dari jumlah 29 *splitter* 1:8 pada ODP, didapatkan jumlah *splitter* 1:4 di ODC sebanyak delapan *splitter* 1:4, sehingga banyaknya *core* kabel *feeder* dari ODC ke OLT yang dibutuhkan diperoleh, yaitu sebanyak delapan *core* kabel *feeder*.



Gbr. 6 Posisi dan jarak perangkat FTTH.

Kabel feeder		Kabel distribusi		Kabel drop	
Sistem Aerial	Sistem Duct-Aerial	Sistem Aerial	Sistem Duct-Aerial	Sistem Aerial	Sistem Duct-Aerial
-Material terminal OLT	-Material terminal OLT	-Material terminal ODP	-Material terminal ODP	-Material terminal ONT	-Material terminal ODP
OTB	OTB	-Material kabel Kabel FO G652D	-Material kabel Kabel FO G652D	-Material kabel Kabel FO G657A	-Material kabel Kabel FO G652D
ODC	ODC	-Material aksesoris	-Material aksesoris	-Material aksesoris konektor	-Material aksesoris
-Material kabel Kabel FO G652D	-Material kabel Kabel FO G652D	<i>Splicing</i>	<i>Splicing</i>		<i>Splicing</i>
-Material aksesoris	-Material alur kabel	<i>Splitter</i> 1:8	<i>Splitter</i> 1:8		<i>Splitter</i> 1:8
<i>Splicing</i>	Subduct	Konektor	Konektor		Konektor
<i>Splitter</i> 1:4	-Material aksesoris	Tiang besi/beton	Tiang besi/beton		Tiang besi/beton
Konektor	<i>Splicing</i>				
Tiang besi/beton	<i>Splitter</i> 1:4				
	Konektor				

Gbr. 7 Daftar material sistem *aerial* dan sistem *duct-aerial*.

Setelah didapatkan jumlah kebutuhan perangkat jaringan FTTH, tahap berikutnya adalah penentuan peletakan posisi perangkat FTTH. Gbr. 6 menunjukkan posisi dan jarak perangkat FTTH. Pemasangan perlu memperhitungkan ketepatan pemasangan dan mengoptimalkan penggunaan jumlah ODP [4]. Perangkat ODP di dalamnya menggunakan dua buah *splitter* 1:8. ODP diposisikan di antara pelanggan yang menarik *fiber optic*-nya dari dua buah *splitter* 1:8 tersebut. Sedangkan *splitter* yang terhubung dengan ODC ditempatkan pada satu ODC yang sama. ODC diletakkan di dekat pintu masuk perumahan.

Setelah peletakan perangkat FTTH diketahui, berikutnya adalah perhitungan jarak antar perangkat dari OLT sampai ke ONT. Jarak ini mengidentifikasi panjang kabel *fiber optic* yang dibutuhkan. Dari jarak yang didapat, ditambahkan

10% sebagai panjang kabel yang didapatkan. Penambahan panjang kabel ini dipertimbangkan untuk cadangan kabel dalam implementasi rancangan. Gbr. 6 menunjukkan jarak antar perangkat FTTH dari OLT sampai ONT. Jarak dari OLT sampai ODC adalah sepanjang 1,6 km. Panjang kabel yang dibutuhkan sebesar 1,760 km. Total jarak ODC ke ODP sejauh 1,490 km, sehingga panjang kabel yang dibutuhkan sepanjang 1,650 km. Total jarak ODP ke ONT sejauh 3 km, sehingga panjang kabel yang dibutuhkan sejauh 3,3 km.

E. Daftar Material FTTH

Daftar material yang digunakan dapat dibagi menjadi dua, yaitu daftar material dengan sistem *aerial* dan *duct-aerial*. Sistem *aerial* dilakukan dengan meletakkan kabel di udara menggunakan tiang sebagai penyangga. Sistem ini diterapkan

TABEL I
PERKIRAAN BIAYA MATERIAL SISTEM AERIAL DAN DUCT-AERIAL

Nama Material	Jumlah		Harga	
	Aerial	Duct-Aerial	Aerial (Rp)	Duct-Aerial (Rp)
OLT	1 pcs	1 pcs	29.500.000	29.500.000
OTB	1 pcs	1 pcs	800.000	800.000
ODC	1 pcs	1 pcs	1.550.000	1.550.000
ODP	14 pcs	14 pcs	10.080.000	10.080.000
ONT	229 pcs	229 pcs	32.093.205	32.093.205
Kabel FO aerial G652d	3.410 m	1.760 m	69.700.400	35.974.400
Kabel FO aerial G657a	3.300 m	1.650 m	2.640.000	33.726.000
Alat sambung kabel	1 pcs	3.300 m	50.000.000	2.640.000
Splitter 1:4	8 pcs	1,3 km	920.000	35.100.000
Splitter 1:8	29 pcs	1 pcs	5.075.000	50.000.000
Konektor	493 pcs	8 pcs	1.035.300	920.000
Tiang besi/beton	78 pcs	29 pcs	78.000.000	5.075.000
Total keseluruhan			281.393.905	290.458.605

TABEL II
PERKIRAAN BIAYA SDM SISTEM AERIAL DAN DUCT-AERIAL

No	Kegiatan	Biaya		Total Kebutuhan	
		Aerial (Rp)	Duct-Aerial (Rp)	Aerial (Rp)	Duct-Aerial (Rp)
1	Jasa galian dan penarikan kabel FO tanam - Dari OLT ke ODP	9.000 per meter	30.000 per meter	27.900.000	93.000.000
2	Jasa instalasi kabel <i>fiber optic</i> (FO) - Dari ODP ke ONT	9.000 per meter	9.000 per meter	27.000.000	27.000.000
3	Jasa pemasangan OTB, <i>pigtail</i> per unit	25.000 - 150.000 per unit	25.000 - 150.000 per unit	87.500	8.7500
4	Jasa <i>splicing</i> & OTDR (pengujian <i>optical time-domain reflectometer</i>)	90.000 per core	90.000 per core	3.600.000	3.600.000
5	Jasa pemasangan tiang listrik	565.000 per tiang	565.000 per tiang	41.245.000	16.950.000
Total keseluruhan				99.832.500	140.637.500

pada perangkat OLT sampai ONT. Sistem *aerial* dipilih karena proses instalasi perangkatnya lebih cepat dan biaya yang relatif lebih murah. Sistem *duct-aerial* dilakukan dengan menggabungkan pengkabelan di *duct* (di dalam tanah) dan pengkabelan di *aerial* (udara). Pengkabelan *duct* dilakukan dari OLT sampai ke ODC dan penambahan *subduct* sebagai pelindung tambahan kabel *feeder* di dalam tanah. Dan untuk pengkabelan *aerial* dilakukan dari ODC sampai dengan ONT menggunakan tiang untuk penyangga kabel di udara.

Gbr. 7 memperlihatkan daftar material sistem *aerial* dan *duct-aerial*. Pada Gbr. 7 terlihat, pada perangkat OLT sampai ke perangkat ODC, perbedaan *material* terdapat pada tiang besi/beton untuk sistem *aerial* dan *subduct* pada sistem *duct-aerial*, sedangkan material lainnya sama. Untuk perangkat ODC sampai ke perangkat ODP dan perangkat ODP ke ONT, material yang dibutuhkan sama untuk sistem *aerial* dan *duct-aerial*. Tabel I menyajikan perkiraan biaya material sistem *aerial* dan *duct-aerial*. Jumlah material berdasarkan perhitungan perancangan, harga satuan mengikuti harga pasaran yang ada, harga total jumlah dikali harga satuan, dan total keseluruhan didapat dari penjumlahan semua total harga material yang dibutuhkan. Tabel II merupakan perkiraan biaya SDM pada sistem *aerial* dan *duct-aerial*. Biaya SDM yang diperlukan di antaranya untuk kegiatan penarikan kabel *fiber*

optic, penggalian tanah, instalasi kabel *fiber optic*, jasa pemasangan perangkat, jasa *splicing*, dan jasa pemasangan tiang listrik. Perkiraan biaya masing-masing SDM ditunjukkan pada Tabel II.

F. Perhitungan Link Power Budget, Rise Time Analysis, BER

Perhitungan *link power budget*, *rise time analysis*, dan BER dari dua skenario yang diusulkan, yakni sistem *aerial* dan *duct-aerial*, menggunakan perhitungan yang sama. Variabel perhitungan yang diperlukan dalam perhitungan meliputi kabel, *splitter*, dan perangkat (OLT, ODC, ODP, ONT). Perbedaan kedua sistem tersebut terdapat pada penempatan kabel dan beberapa tambahan komponen pendukung.

1) *Perhitungan Link Power Budget*: Perhitungan *link power budget* dilakukan pada sisi *downlink* dan *uplink* untuk jarak terjauh dan terdekat. Parameter yang digunakan dalam perhitungan *link power budget* ditunjukkan pada Tabel III, yaitu jarak yang dihitung dari OLT ke ONT.

Dari nilai-nilai tersebut dan dengan menggunakan (1), diperoleh nilai redaman total. Dari (2), dapat diperoleh besarnya daya yang diterima detektor (*received power*). Maka, dengan menggunakan (3), dapat diperoleh nilai margin daya. Hasil perhitungan *link power budget* disajikan pada Tabel IV.

TABEL III
PARAMETER PERHITUNGAN LINK POWER BUDGET

Parameter	Keterangan
P_t	5 dBm
P_r	-28 dBm
L (terjauh/terdekat + 10%)	(2,139; 1,793) km
α fiber G.652.D (1310/1550)	(0,36; 0,23) dB/km
α fiber G.657.A (1310/1550)	(0,36; 0,23) dB/km
α s di kabel feeder	0,05 dB per splice
α s di kabel distribusi	0,05 dB per splice
α s di kabel drop	0,05 dB per splice
α konektor jenis SC/UPC	0,25 dB per konektor
Jenis PS 1:4 (1310/1550)	(7,17; 7,00) dB
Jenis PS 1:8 (1310/1550)	(10,08; 10,20) dB
Jumlah sambungan (splicer)	2 buah
Jumlah konektor	8 buah
Margin daya	> 0 dB

TABEL IV
PERHITUNGAN LINK POWER BUDGET

Layanan	Panjang Jarak (km)	Redaman Total (dB)	Power Receiver (dBm)	Margin Daya (dBm)
Downlink/uplink jarak terjauh	2,14/ 2,14	19,79/ 20,12	-22,79/ -23,12	5,21/ 4,88
Downlink/uplink jarak terdekat	1,79/ 1,79	19,71/ 19,99	-22,71/ -22,99	5,29/ 5,00

TABEL V
PARAMETER PERHITUNGAN RISE TIME ANALYSIS

Parameter	Keterangan
λ	1.310 nm dan 1.550 nm
$\Delta\sigma$ (OLT/ONT)	1 nm / 1 nm
t_{tx} (OLT/ONT)	(160x10 ⁻³ / 200x10 ⁻³) ns
D_m (1310/1550)	(3,56 / 13,64) ps/nm.km
t_{rx} (OLT/ONT)	(160x10 ⁻³ / 200x10 ⁻³) ns
Pengkodean	NRZ
Jenis fiber optic	Single mode fiber
Indeks bias inti (n_1)	1,48
Indeks bias selubung (n_2)	1,46
Jari-jari inti (a)	4,5 μ m
B_r (downlink/uplink)	2,4 Gbps/1,2 Gbps

Besarnya daya yang diterima detektor pada sisi *downlink* untuk jarak terjauh sebesar -22,792 dBm dan untuk jarak terdekat sebesar -22,712 dBm. Sedangkan pada sisi *uplink*, untuk jarak terjauh -23,120 dBm dan untuk jarak terdekat sebesar -22,995 dBm.

2) *Perhitungan Rise Time Analysis*: Perhitungan *rise time analysis* dilakukan pada sisi *downlink* dan *uplink* dengan parameter perhitungan seperti ditunjukkan pada Tabel V. Parameter yang harus diperhatikan dalam perhitungan *rise time analysis* adalah panjang gelombang (λ) yang digunakan dalam transmisi. Dari spesifikasi kabel yang digunakan, panjang gelombang transmisi *uplink* adalah 1.310 nm, sedangkan untuk transmisi *downlink* digunakan panjang gelombang 1.550 nm.

Persamaan (5) digunakan untuk mendapatkan *rise time* maksimum dari *bit rate* NRZ. Kemudian, dari (4) dapat

TABEL VI
PERHITUNGAN RISE TIME ANALYSIS

Layanan	Rise Time Maksimum Pengkodean NRZ (ns)	Rise Time Total Sistem (ns)
Downlink/uplink	0,292/0,583	0,258/0,256

TABEL VII
SPESIFIKASI PARAMETER BER

Link Parameter	Value
Jenis sumber cahaya	ILD
Daya output (P_t)	-5 dBm
Jenis detektor cahaya	PIN
Dark current (I_{dark})	2 nA
Responsifitas (R)	0,85 A/W
Bandwidth (B)	0,5 GHz
Resistansi ekivalen (R_{load})	50 Ω
Jenis kabel fiber optic	SM-SI
Diameter core (D_{core})	9
Bandwidth fiber optic	10,00 MHz.km
Koefisien redaman kabel optic	0,30 dB/km
Numerical aperture (NA)	0,20

TABEL VIII
PERHITUNGAN BIT ERROR RATE

Layanan	Signal Power	S/N (dBW)	BER
Downlink jarak terjauh	3,99 x 10 ⁻¹¹ A	23,93	18,58 x 10 ⁻¹⁴
Downlink jarak terdekat	4,15 x 10 ⁻¹¹ A	24,10	55,91 x 10 ⁻¹⁵
Uplink jarak terjauh	3,44 x 10 ⁻¹¹ A	23,28	14,63 x 10 ⁻¹²
Uplink jarak terdekat	3,64 x 10 ⁻¹¹ A	23,53	30,37 x 10 ⁻¹³

diperoleh *rise time* total. Hasil perhitungan *rise time analysis* diperlihatkan pada Tabel VI. Besarnya *rise time total* untuk *downlink* sebesar 0,258 ns dan *uplink* sebesar 0,256 ns.

3) *Perhitungan Bit Error Rate*: Perhitungan *BER* dilakukan pada sisi *downlink* dan *uplink*, untuk jarak terjauh dan terdekat. Spesifikasi parameter BER ditunjukkan pada Tabel VII. Dari parameter tersebut, diperoleh *signal power* dan *total noise* dari sistem yang dirancang, yang kedua variabel tersebut akan menentukan besarnya *S/N* sistem.

Dengan menggunakan (14) diperoleh *signal power* dengan daya sinyal yang diterima (P_{opt}) merupakan hasil dari perhitungan daya yang diterima (P_r) *link power budget*. Persamaan (15) digunakan untuk mendapatkan besarnya total *noise*. Setelah didapat *signal power* dan total *noise*, digunakan (13) untuk mendapatkan *S/N*. *Quantum noise* (Q) dihitung menggunakan (11). Q digunakan dalam perhitungan BER dengan menggunakan (12). Hasil perhitungan BER ditunjukkan pada Tabel VIII. Besarnya nilai BER untuk *downlink* jarak terjauh dan terdekat masing-masing adalah 18,58 x 10⁻¹⁴ dan 55,91 x 10⁻¹⁵. Sedangkan untuk nilai BER *uplink* jarak terjauh dan terdekat masing-masing sebesar 14,63 x 10⁻¹² dan 30,37 x 10⁻¹³.

IV. ANALISIS PERANCANGAN

A. Potensi Masalah, Dampak dan Penyelesaian

Secara umum, potensi masalah yang dapat terjadi saat implementasi perancangan FTTH dapat dibagi menjadi masalah dari sisi manajerial dan masalah dari sisi teknis (*engineering*). Dari sisi manajerial di antaranya adalah terkait manajemen biaya, perekrutan pegawai yang berkualitas, dan batasan regulasi. Sedangkan dari sisi teknis, masalah yang dapat terjadi di antaranya terkait perluasan ke lokasi baru, penerapan topologi jaringan baru, dan memperbesar operasi jaringan. Sistem *aerial* dari sisi teknis dan perluasan ke lokasi baru lebih mudah dan cepat dibandingkan sistem *duct-aerial*, tetapi jika penggunaan kabel sistem *aerial* cukup banyak dan kerapian di dalam instalasi kurang, pemandangan akan terganggu dan perlu instalasi ulang jika terjadi penertiban pada kabel sistem *aerial*.

Pada saat instalasi perangkat FTTH dapat terjadi kesalahan pemasangan perangkat dan ketidakteraturan kabel pada kabinet/terminal akibat peletakan perangkat yang tidak tepat. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan perbaikan instalasi dan merekrut pekerja yang berkualifikasi serta melakukan pengawasan pekerjaan secara kontinu. Selain itu, saat instalasi juga mungkin terjadi *macro-bend* atau lengkungan besar pada kabel *fiber optic*. Ini dapat menghilangkan potensi pengembangan jaringan teknologi PON generasi berikutnya menggunakan panjang gelombang yang lebih panjang, yang sangat sensitif terhadap *macro-bend* – dan dapat meningkatkan *loss* pada *fiber optic*. Apabila hal ini terjadi, maka harus dilakukan pemeriksaan lokasi terjadinya *macro-bend* menggunakan *Optical Time-Domain Reflector* (OTDR), mengatur ulang kabel untuk mengurangi lengkungan, dan melakukan tes ulang untuk memastikan masalah sudah terselesaikan.

Saat layanan mulai berjalan, permasalahan yang muncul pada FTTH biasanya terkait gangguan pada sinyal atau layanan [12]. Gangguan pada sinyal dapat terjadi karena adanya konektor yang kotor, sehingga perlu dilakukan pemeriksaan dan pembersihan konektor dengan alat pembersih *fiber optic* (*fiber cleaning tool*). Penyebab lainnya adalah *cross* konektor, yaitu konektor pada terminal dan *splitter* disambungkan ke *port* yang salah. Untuk mengatasinya, dilakukan pemeriksaan PON ID dan pemasangan konektor pada *port* yang tepat. *Splitter* yang patah juga dapat menyebabkan layanan terputus, baik pada sebagian atau keseluruhan pelanggan. Karenanya, harus dilakukan tes OTDR untuk mengetahui lokasi *splitter* yang patah dan menggantinya. Gangguan layanan akibat pemadaman listrik juga dapat terjadi. Oleh karena itu, perlu disiapkan sumber listrik cadangan untuk mengantisipasi hal tersebut. Perubahan nilai BER pada sistem FTTH juga merupakan salah satu penyebab gangguan sinyal dan layanan. Untuk mengatasinya, perlu dilakukan pemeriksaan kabel yang digunakan, pemeriksaan pembagian penggunaan *splitter*, serta daya di sisi pemancar perlu dinaikkan.

Selain permasalahan yang mungkin muncul tersebut, implementasi hasil perancangan FTTH juga dapat memberikan dampak yang berakibat baik (positif) atau buruk (negatif). Dampak positif yang dapat terjadi adalah akses internet

TABEL IX
HASIL PERHITUNGAN DOWNLINK

Perhitungan Downlink			
Jarak	P_{rx} (dBm)	Rise Time Sistem (ns)	BER
Terjauh	-22,792	0,258	$18,58 \times 10^{-14}$
Terdekat	-22,712	0,258	$55,91 \times 10^{-15}$

TABEL X
HASIL PERHITUNGAN UPLINK

Perhitungan Uplink			
Jarak	P_{rx} (dBm)	Rise Time Sistem (ns)	BER
Terjauh	-23,120	0,256	$14,63 \times 10^{-12}$
Terdekat	-22,995	0,256	$30,37 \times 10^{-13}$

menjadi lebih cepat; penggunaan kabel *fiber optic* pada teknologi FTTH membuatnya lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan teknologi yang menggunakan kabel tembaga; terbukanya peluang bisnis untuk memperluas jaringan FTTH ke perumahan lain; serta memungkinkan terciptanya *smart city* dengan meningkatkan layanan FTTH ke berbagai aplikasi.

Adapun dampak negatif pada implementasi FTTH adalah meningkatnya latensi saat *broadband* bekerja penuh, yang mengakibatkan penurunan kinerja jaringan, serta munculnya persaingan bisnis dengan penyedia FTTH lainnya.

B. Analisis Link Power Budget, Rise Time Analysis, Bit Error Rate

Hasil perhitungan *link power budget*, *rise time analysis*, dan BER terhadap perancangan FTTH yang dilakukan pada sisi *downlink* dan *uplink* untuk jarak terjauh dan terdekat terangkum dalam Tabel IX dan Tabel X. Dalam perhitungan *downlink* untuk jarak terjauh didapatkan nilai P_{rx} , *rise time*, dan BER masing-masing sebesar -22,792 dBm, 0,258 ns, dan $18,58 \times 10^{-14}$. Sedangkan untuk jarak terdekat, nilai P_{rx} , *rise time*, dan BER yang didapatkan masing-masing -22,712 dBm, 0,258 ns, dan $55,91 \times 10^{-15}$. Pada sisi *uplink*, untuk jarak terjauh didapatkan nilai P_{rx} , *rise time*, dan BER masing-masing sebesar -23,120 dBm, 0,256 ns, dan $14,63 \times 10^{-12}$, sedangkan nilai P_{rx} , *rise time*, dan BER untuk jarak terdekat masing-masing sebesar -22,995 dBm, 0,256 ns dan $30,37 \times 10^{-13}$.

Pada perhitungan *link power budget* dapat dilihat bahwa panjang kabel (jarak) yang digunakan memengaruhi besarnya daya yang diterima pada detektor. Semakin panjang kabel, semakin kecil dayanya. Sedangkan pada perhitungan *rise time analysis*, selisih jarak yang tidak terlalu besar tidak akan berpengaruh secara signifikan terhadap *rise time* sistem yang dihasilkan. Nilai *rise time* lebih dipengaruhi oleh panjang gelombang dan *bit rate* transmisi, sedangkan nilai BER sistem dipengaruhi oleh besarnya daya dan *noise*.

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa perancangan FTTH dari sisi *downlink* dan sisi *uplink* untuk jarak terjauh dan terdekat sudah memenuhi persyaratan ITU-T G.984, yakni $P_r > -28$ dBm, *rise time* total $<$ *rise time* maksimum, dan nilai BER berkisar antara 10^{-9} sampai dengan 10^{-12} .

TABEL XI
BIAYA MATERIAL DAN SDM

Sistem Jaringan	Biaya Material (Rp)	Biaya SDM (Rp)	Total Biaya (Rp)
Sistem <i>aerial</i>	281.393.905	99.832.500	381.226.405
Sistem <i>duct-aerial</i>	290.458.605	140.637.500	431.096.105

C. Analisis Biaya Material dan SDM

Berdasarkan data perancangan pada Tabel XI, dapat dilakukan analisis sebagai berikut. Perkiraan biaya material pada sistem jaringan *aerial* sebesar Rp281.393.905 dan pada sistem jaringan *duct-aerial* sebesar Rp290.458.605. Perkiraan biaya material sistem jaringan *duct-aerial* lebih banyak daripada sistem jaringan *aerial* sebesar Rp9.064.700. Perkiraan biaya SDM pada sistem jaringan *aerial* sebesar Rp99.832.500 dan pada sistem jaringan *duct-aerial* sebesar Rp140.637.500. Perkiraan biaya SDM sistem jaringan *duct-aerial* lebih banyak daripada sistem jaringan *aerial* sebesar Rp40.805.000. Untuk total perkiraan biaya material dan biaya SDM pada sistem jaringan *aerial* adalah Rp381.226.405 dan pada sistem jaringan *duct-aerial* sebesar Rp431.096.105, sehingga total biaya material dan biaya SDM sistem *duct-aerial* lebih banyak Rp49.869.700.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, daya yang diterima detektor pada jarak terjauh adalah -22,792 dBm untuk *downlink* dan -23,120 dBm untuk *uplink*, dengan total *rise time uplink* sebesar 0,256 ns dan *downlink* sebesar 0,258 ns, serta nilai BER sebesar $14,628 \times 10^{-12}$. Perancangan FTTH yang dilakukan untuk contoh kasus pada Perumahan Islam Thoyibah Cibitung, Kabupaten Bekasi, dengan menggunakan sistem *aerial* dan *duct-aerial* telah memenuhi persyaratan, yakni $P_r > -28$ dBm, *rise time* total < *rise time* maksimum, dan nilai BER berkisar antara 10^{-9} sampai dengan 10^{-12} , sehingga usulan rancangan jaringan dapat diimplementasikan. Untuk biaya material dan SDM, sistem *aerial* membutuhkan biaya yang lebih sedikit dibandingkan sistem *duct-aerial*, dengan selisih harga sebesar Rp49.869.700 atau 11,56%. Namun, penggunaan kabel sistem *aerial* dalam jumlah yang banyak serta kurangnya kerapian di dalam instalasi akan mengganggu

pemandangan dan diperlukan instalasi ulang jika terjadi penertiban pada kabel sistem *aerial*. Perancangan jaringan FTTH ini cocok untuk diterapkan pada perumahan yang memiliki jarak antar rumah yang saling berdekatan.

REFERENSI

- [1] G.P. Agrawal, *Fiber-Optic Communication Systems*, 4th ed. Rochester, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2010.
- [2] R. Topani, T.N. Damayanti, dan A. Hartaman, "Perancangan Fiber to the Home (FTTH) di Perumahan Panorama Indah Purwakarta," *e-Proceeding of Applied Science*, Vol. 3, No. 2, hal. 1047-1058, Agt. 2017.
- [3] V.M.P. Sari, Sugito, dan A. Raporte B., "Perancangan Jaringan Akses Fiber to the Home (FTTH) dengan Teknologi Gigabyte Passive Optical Network (GPON) di Wilayah Permata Buah Batu I dan II," *e-Proceeding of Engineering*, Vol. 2, No. 2, hal. 3179-3186, Agt. 2015.
- [4] W. Ningrat dan Ratnadewi, "Perancangan Jaringan Distribusi Fiber to the Home (FTTH) di Kompleks Batununggal Indah Bandung," *Modern Electrical Engineering Technology and Its Application Seminar*, 2016, hal. 69–78.
- [5] R. Pratama, A. Hambali, dan A.D. Pambudi, "Analisis Perbandingan Kinerja Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) dan Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GEPON) Turbo Mode pada Jaringan Passive Optical Network (PON)," *e-Proceeding of Engineering*, Vol. 3, No. 2, hal. 2011-2018, Agus. 2016.
- [6] A.J. Maulana, "Perencanaan Desain Jaringan Metro FTTH di Universitas Indonesia," Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, Jul. 2012.
- [7] F. Pahlawan, D.A. Cahyasiwi, dan K. Fayakun, "Perancangan Jaringan Akses Fiber to the Home (FTTH) Menggunakan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON): Studi Kasus Perumahan Graha Permai Ciputat," *Prosiding Seminar Nasional Teknoka ke-2*, 2017, Vol. 2, hal 47-54.
- [8] F.R. Somantri, Hafidudin, dan H. Putri, "Perancangan Fiber to the Home (FTTH) untuk Wilayah Perumahan Sukasari Baleendah," *e-Proceeding of Applied Science*, 2017, Vol. 3, No. 2, hal. 1022–1030.
- [9] V.A. Lestari, T.N. Damayanti, dan B. Uripno, "Desain Jaringan Fiber Optic untuk Solusi Cluster Bumi Adipura," *e-Proceeding Appl. Sci.*, Vol. 4, No. 3, hal. 2421–2429, Des. 2018.
- [10] B. Dermawan, I. Santoso, dan T. Prakoso, "Analisis Jaringan FTTH (Fiber to the Home) Berteknologi GPON (Gigabit Passive Optical Network)," *J. Transm.*, Vol. 18, No. 1, hal 30-37, Jan. 2016.
- [11] D.A. Salim, "Perencanaan Jaringan Fiber Optic DWDM PT. Bakrie Telecom, Tbk Link Bogor-Bandung," Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, Des. 2008.
- [12] (2018) "Tech Tip: Troubleshooting Fiber-to-the-Home," [Online], <https://www.viavisolutions.com/en-us/literature/quick-tech-tip-troubleshooting-fiber-home-ftth-quick-references-en.pdf>, tanggal akses: 08-Nov-2019.