

Perancangan dan Analisis Jaringan *Fiber to the Home* Berbasis Karakteristik Wilayah dalam Mendukung Implementasi *Smart Village* di Desa Padakembang

Program Studi PJJ Informatika; Universits Insan Cita Indonesia; Jalan Asem Baris Raya No.1,
RT.2/RW.14, Kb. Baru, Kec. Tebet, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta
12830, No Telpon (021) 2528282; e-mail: uici.dadansukma@gmail.com

* Korespondensi: e-mail: uici.dadansukma@gmail.com

Diterima: 26 Desember 2025; Review: 28 Desember 2025; Disetujui: 29 Desember 2025

Cara sitasi: Sukma D. 2025. Perancangan dan Analisa Jaringan *Fiber Optic to The Home* (FTTH) Berbasis Karakteristik Wilayah dalam Mendukung Implementasi *Smart Village* di Desa Padakembang. Informatics for Educators and Professionals : Journal of Informatics. Vol.10 (2): 59 - 68.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis jaringan *Fiber to the Home* (FTTH) berbasis karakteristik wilayah guna mendukung implementasi *Smart Village* di Desa Padakembang. Wilayah pedesaan ini memiliki tantangan kompleks berupa geografi berbukit, sebaran pemukiman yang tidak merata, dan keterbatasan anggaran infrastruktur. Metode penyelesaian masalah dilakukan melalui integrasi analisis spasial berbasis *Geographic Information System* (GIS) menggunakan Google MyMaps untuk penentuan rute kabel dan titik distribusi yang optimal, dipadukan dengan perhitungan teknis *link budget* untuk menjamin kualitas sinyal pada kontur yang ekstrim. Selain itu, diterapkan analisis kapasitas dan evaluasi skala ekonomi (*economies of scale*) untuk memastikan efisiensi investasi jangka panjang. Hasil penelitian menunjukkan jaringan telah melayani 325 pelanggan aktif dengan utilisasi 56% dan redaman -22 dBm, memenuhi standar *Passive Optical Network* (PON). Dengan total biaya pembangunan sebesar Rp309.911.000, diperoleh biaya rata-rata Rp953.572 per pelanggan yang menunjukkan tingkat efisiensi tinggi. Dampak nyata dari penelitian ini adalah terciptanya infrastruktur digital utama (*backbone*) yang memfasilitasi transformasi administrasi publik desa secara digital, pemberdayaan UMKM berbasis daring, serta menjadi fondasi teknologi dalam pembentukan Gugus Desa Inovasi untuk meningkatkan skor Indeks Desa Inovasi secara berkelanjutan.

Kata kunci: Jaringan FTTH; Karakteristik Wilayah, Indeks Desa Inovasi; Sistem Informasi Geografis; *Smart Village*.

Abstract: This study aims to design and analyze a territory-based *Fiber to the Home* (FTTH) network to support the implementation of a *Smart Village* in Padakembang Village. This rural area faces complex challenges, including hilly geography, uneven residential distribution, and limited infrastructure budgets. The problem-solving method integrates spatial analysis based on a *Geographic Information System* (GIS) using Google MyMaps to determine optimal cable routes and distribution points, combined with technical *link budget* calculations to ensure signal quality across extreme contours. Furthermore, capacity analysis and economies of scale evaluation were applied to ensure long-term investment efficiency. The results indicate that the network serves 325 active subscribers with 56% utilization and an attenuation of -22 dBm, meeting *Passive Optical Network* (PON) standards. With a total construction cost of IDR 309,911,000, an average cost of IDR 953,572 per subscriber was achieved, demonstrating high efficiency. The real impact of this research is the establishment of a primary digital infrastructure (*backbone*) that facilitates the digital transformation of village public administration, online-based

SME empowerment, and serves as a technological foundation for the formation of an Innovation Village Cluster to sustainably improve the Innovation Village Index scores.

Keywords: *FTTH Network; Geographic Information System (GIS); Regional Characteristics; Innovation Village Index; Smart Village.*

1. Pendahuluan

Implementasi konsep *Smart Village* telah menjadi agenda prioritas nasional dalam upaya mempercepat transformasi digital di tingkat pedesaan [4]. Sebagai tulang punggung utama dari ekosistem digital tersebut, ketersediaan infrastruktur jaringan *broadband* yang stabil dan berkapasitas tinggi menjadi prasyarat mutlak. Teknologi *Fiber to the Home* (FTTH) berbasis *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) diakui sebagai solusi paling mumpuni untuk menyediakan *bandwidth* besar dengan latensi rendah [3]. Namun, tantangan besar muncul ketika teknologi ini diimplementasikan di wilayah pedesaan yang memiliki karakteristik topografi dan demografi yang sangat berbeda dibandingkan wilayah perkotaan.

Desa Padakembang merupakan salah satu wilayah yang sedang dipersiapkan dalam pengembangan Desa Inovasi. Meskipun memiliki potensi ekonomi dari sektor UMKM dan pertanian, desa ini menghadapi kendala serius berupa isolasi digital. Masalah utama yang ditemukan di lapangan adalah kondisi geografis yang berbukit-bukit dengan sebaran pemukiman yang tidak merata (terfragmentasi). Infrastruktur jaringan kabel konvensional sebelumnya sering kali terkendala oleh biaya penggelaran yang tinggi dan degradasi sinyal akibat jarak yang jauh melampaui standar teknis. Tanpa adanya perancangan infrastruktur yang presisi, digitalisasi layanan administrasi desa dan pengembangan ekonomi berbasis daring akan sulit terwujud [9], yang pada akhirnya menghambat peningkatan nilai Indeks Desa Inovasi di wilayah tersebut.

Sejumlah studi penelitian terdahulu telah membahas perancangan jaringan FTTH, namun mayoritas studi tersebut difokuskan pada area perkotaan dengan kontur tanah yang relatif datar dan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi [1], [2]. Pendekatan standar perkotaan tersebut sering kali gagal jika diterapkan di pedesaan karena cenderung menghasilkan pemborosan material pada rute yang tidak efisien atau kegagalan teknis pada redaman sinyal di area pelosok. Terdapat celah penelitian (*research gap*) yang signifikan dalam literatur saat ini mengenai model desain jaringan yang secara spesifik mengintegrasikan karakteristik spasial wilayah pedesaan yang ekstrim dengan analisis efisiensi biaya jangka panjang.

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada pengembangan model perancangan jaringan FTTH yang mengintegrasikan analisis spasial berbasis *Geographic Information System* (GIS) dengan metode perhitungan *link budget* dan evaluasi skala ekonomi (*economies of scale*) [5], [8]. Pendekatan ini memungkinkan penentuan rute kabel dan titik distribusi secara optimal yang menyesuaikan dengan kontur geografis Desa Padakembang, sehingga dapat menekan biaya investasi tanpa mengorbankan kualitas layanan (QoS). Lebih jauh lagi, penelitian ini tidak hanya berhenti pada aspek teknis, tetapi juga menganalisis bagaimana infrastruktur fisik ini menjadi katalisator dalam memperkuat parameter teknologi pada Indeks Desa Inovasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang arsitektur jaringan FTTH yang adaptif terhadap karakteristik wilayah pedesaan serta menganalisis kinerjanya dari sisi teknis maupun ekonomi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi model bagi desa-desa lain dalam mengembangkan infrastruktur digital yang efisien guna mendukung akselerasi *Smart Village* dan pembentukan ekosistem Desa Inovasi secara berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian terapan (*applied research*) dengan metode integratif yang menggabungkan analisis spasial, simulasi teknis, dan evaluasi ekonomi. Lokasi penelitian difokuskan di Desa Padakembang, Kabupaten Tasikmalaya, yang memiliki karakteristik geografis perbukitan dan sebaran pemukiman yang terfragmentasi.

2.1. Teknik Pengumpulan Data

Data primer diperoleh melalui survei lapangan (*walk-through survey*) untuk memetakan koordinat calon pelanggan, kondisi jalur kabel (*right of way*), serta titik lokasi tiang eksisting. Data sekunder berupa peta administrasi desa dan profil kependudukan diperoleh dari database Kantor Desa Padakembang untuk mendukung analisis kebutuhan kapasitas jaringan.

2.2. Alat dan Instrumen Penelitian

Analisis dan perancangan jaringan dilakukan dengan bantuan beberapa instrumen utama:

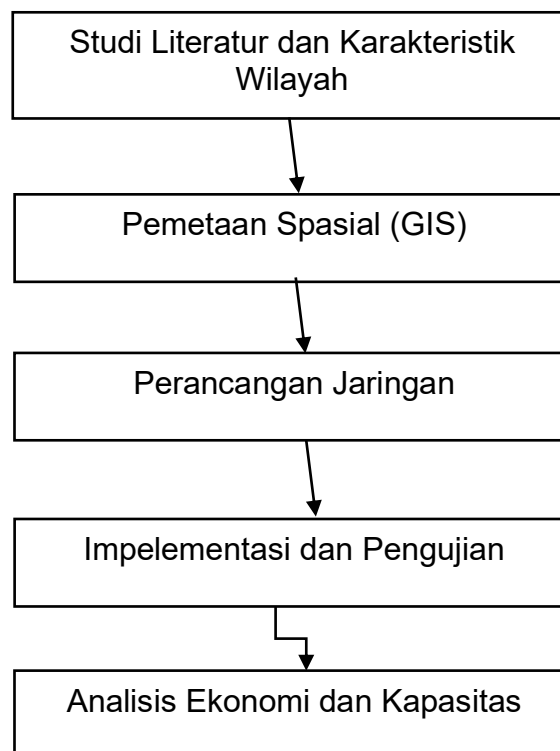
1. Google MyMaps (GIS): Digunakan untuk pemetaan spasial, penentuan rute kabel *backbone* dan *distribution*, serta penentuan lokasi optimal *Optical Distribution Point* (ODP) berdasarkan klaster pemukiman.
2. Aplikasi Spreadsheet: Digunakan untuk perhitungan *Link Budget* (redaman total), perhitungan kapasitas utilisasi, dan analisis skala ekonomi.
3. Oven Network Analysis Tool: Digunakan sebagai pembanding akurasi desain rute jaringan terhadap topografi wilayah.

2.3. Spesifikasi Topologi Jaringan

Menanggapi masukan *reviewer*, penelitian ini mengusulkan arsitektur jaringan *Fiber to the Home* (FTTH) menggunakan teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) dengan Topologi Tree (Pohon) tersentralisasi. Pusat Kontrol: *Optical Line Terminal* (OLT) ditempatkan di kantor BUMDes sebagai pusat integrasi layanan. Segmentasi Splitter: Menggunakan sistem *one-stage splitting* dengan rasio 1:16 pada sisi ODP untuk menjaga efisiensi daya pancar dan kemudahan pemeliharaan di wilayah pedesaan. Infrastruktur Pasif: Menggunakan kabel serat optik jenis *Single Mode G.652D* untuk jalur *feeder* dan *G.657* untuk kabel *drop* guna meminimalkan redaman akibat tekukan pada medan yang sulit.

3. Desain Penelitian

Untuk memastikan konsistensi antara narasi dan diagram alur, tahapan penelitian dilaksanakan melalui enam fase utama sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

3.1. Studi Literatur dan Karakteristik Wilayah

Tahap awal penelitian difokuskan pada pengkajian standar operasional jaringan *Passive Optical Network* (PON) dan regulasi terkait pembangunan infrastruktur digital pedesaan. Secara spesifik, dilakukan identifikasi mendalam terhadap kondisi geografis Desa Padakembang yang memiliki kontur berbukit dan sebaran permukiman yang terfragmentasi.

Analisis karakteristik wilayah ini krusial untuk menentukan spesifikasi perangkat yang mampu meminimalkan degradasi sinyal pada jarak jauh dan medan yang sulit.

3.2. Pemetaan Spasial (GIS)

Untuk mengatasi tantangan geografis, dilakukan digitalisasi jalur jalan dan koordinat lokasi calon pelanggan menggunakan sistem informasi geografis (GIS) melalui *Google MyMaps*. Pemetaan ini bertujuan untuk memvisualisasikan kluster permukiman secara presisi sehingga penentuan rute kabel *backbone* dan distribusi dapat dioptimalkan. Dengan pendekatan spasial ini, risiko pemborosan material kabel akibat rute yang tidak efisien dapat diminimalisir sejak fase perencanaan.

3.3. Perancangan Jaringan

Berdasarkan data spasial, disusun arsitektur jaringan *Fiber to the Home* (FTTH) menggunakan topologi *tree* tersentralisasi. Pusat kontrol berupa *Optical Line Terminal* (OLT) ditempatkan di kantor BUMDes untuk memudahkan integrasi layanan desa. Perancangan mencakup penempatan 36 unit *Optical Distribution Point* (ODP) dengan penggunaan *splitter* rasio 1:16. Pemilihan perangkat pasif maupun aktif disesuaikan dengan kebutuhan kapasitas transmisi data tinggi guna mendukung ekosistem *Smart Village*.

3.4. Implementasi dan Pengujian

Tahapan ini merupakan realisasi fisik dari rancangan ke dalam kondisi lapangan, mencakup penggelaran kabel dan instalasi perangkat distribusi. Setelah infrastruktur terpasang, dilakukan pengujian teknis secara empiris menggunakan *Optical Power Meter* (OPM) dan metode *link budget*. Pengujian dilakukan pada 325 pelanggan aktif untuk memvalidasi nilai redaman aktual. Hal ini bertujuan memastikan seluruh titik distribusi memiliki kualitas sinyal yang stabil dan berada dalam batas toleransi standar ITU-T, yaitu antara -22 dBm hingga -28 dBm.

3.5. Analisis Ekonomi dan Kapasitas

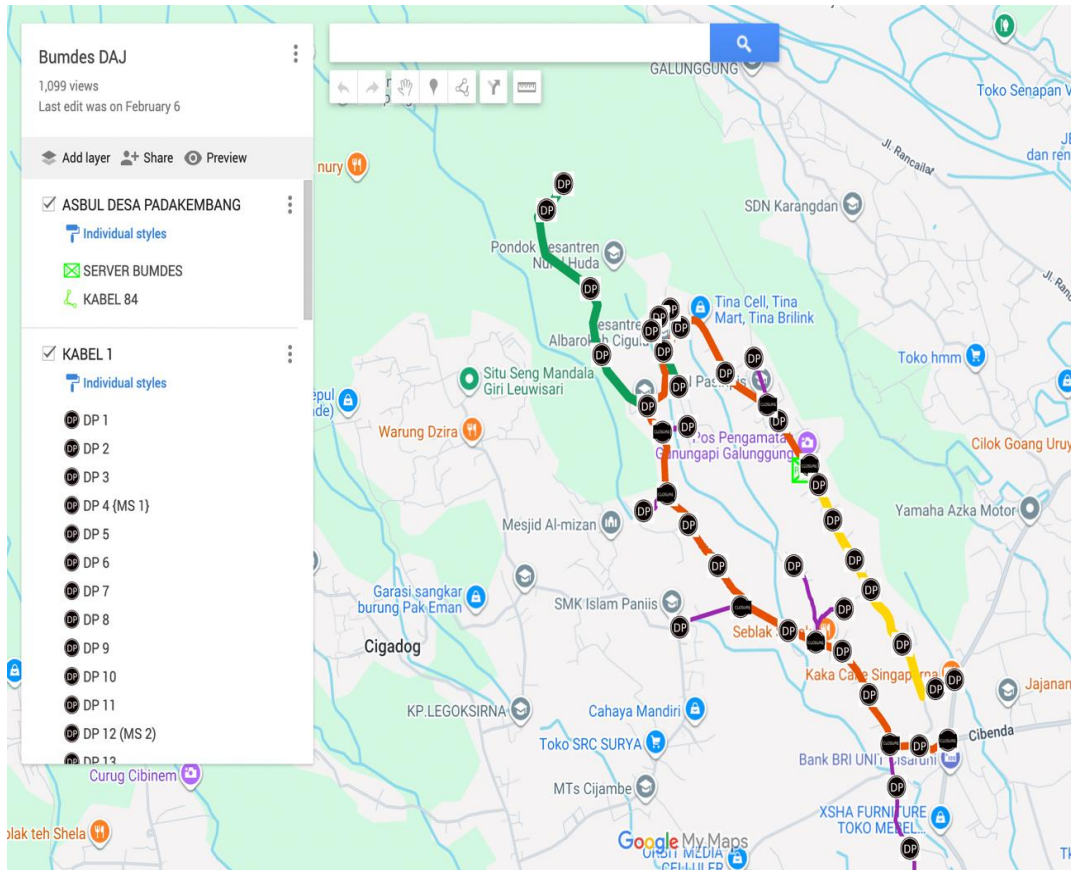
Data hasil pengujian dan biaya investasi kemudian dievaluasi secara komprehensif. Analisis ekonomi mencakup perhitungan total pengeluaran sebesar Rp. 309.911.000 untuk menentukan efisiensi biaya rata-rata per pelanggan. Selain itu, dilakukan analisis kapasitas untuk melihat tingkat utilisasi port terpasang saat ini (56%) dibandingkan dengan potensi pengembangan hingga 1000 pengguna. Analisis ini menjadi dasar dalam menilai keberlanjutan investasi jaringan dalam kerangka pembentukan Desa Inovasi serta dampaknya terhadap peningkatan skor Indeks Desa Inovasi secara berkelanjutan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Karakteristik Wilayah dan Pemetaan Spasial Jaringan

Tahap awal perancangan didasarkan pada hasil analisis karakteristik wilayah Desa Padakembang. Berdasarkan observasi, wilayah ini memiliki kontur topografi yang didominasi perbukitan dengan tingkat elevasi yang bervariasi, serta sebaran permukiman warga yang terfragmentasi ke dalam beberapa dusun. Kondisi ini menjadi tantangan utama karena penarikan kabel *broadband* konvensional akan memakan biaya tinggi dan rawan mengalami gangguan fisik.

Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan pemetaan spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS) melalui *Google MyMaps*. Pemetaan ini menghasilkan visualisasi kluster permukiman yang akurat, sehingga penentuan rute kabel *backbone*, kabel distribusi, dan penempatan tiang dapat dirancang sedemikian rupa untuk menghindari rute ekstrem dan mengoptimalkan jangkauan ke area padat penduduk.



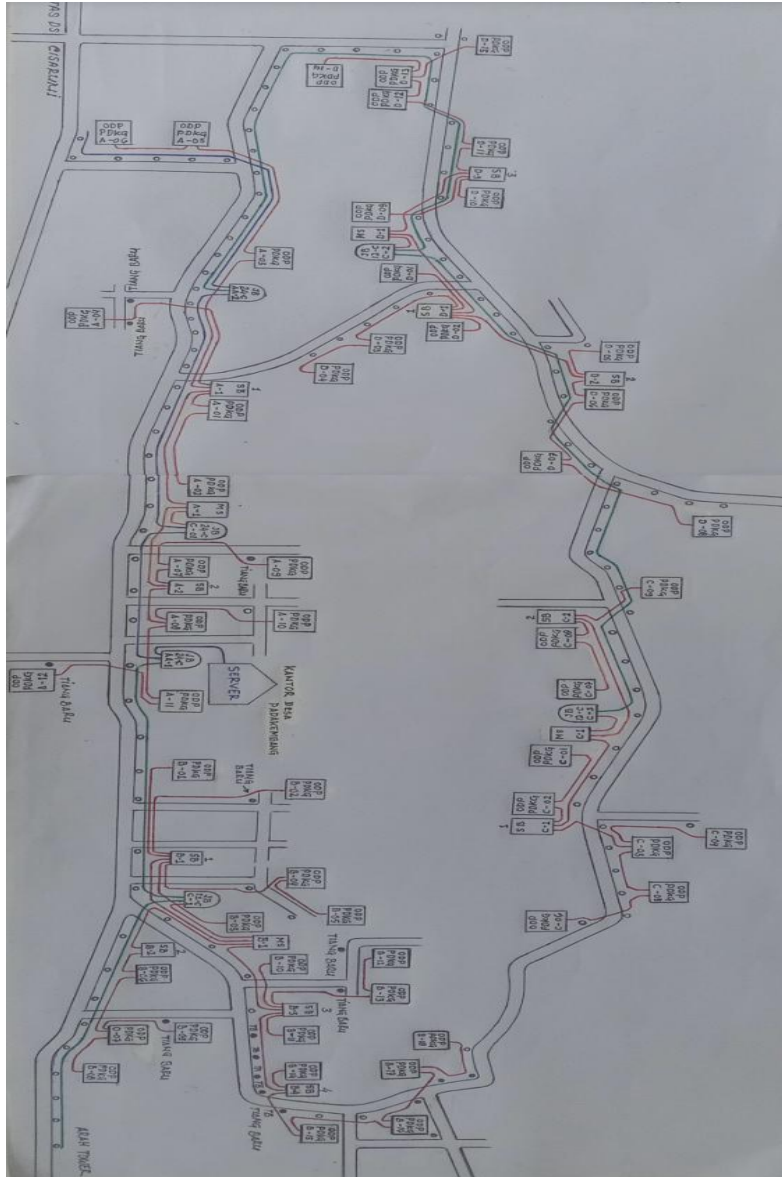
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Gambar 1. Hasil Pemetaan Spasial Rute Jaringan FTTH Desa Padakembang menggunakan GIS.

4.2. Rincian Topologi Jaringan yang Diusulkan

Berdasarkan hasil pemetaan spasial, penelitian ini mengusulkan arsitektur jaringan menggunakan teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) dengan model topologi *Tree* (Pohon) tersentralisasi. Topologi ini dipilih karena kemampuannya dalam mendistribusikan *bandwidth* secara efisien dari satu titik pusat ke banyak titik pelanggan dengan menggunakan *passive splitter*, sehingga sangat minim kebutuhan daya listrik di lapangan.

Pusat kendali jaringan atau *Optical Line Terminal* (OLT) ditempatkan secara strategis di kantor BUMDes. Dari OLT, kabel *feeder* (kabel utama) ditarik menuju *Optical Distribution Cabinet* (ODC) atau langsung menuju *Optical Distribution Point* (ODP) di masing-masing klaster pemukiman. Untuk mengantisipasi redaman sinyal akibat kontur yang berbukit, penelitian ini menetapkan penggunaan *splitter* dengan rasio 1:16 pada 36 titik ODP yang tersebar. Pemilihan rasio 1:16 (dibandingkan 1:32) bertujuan untuk menjaga margin daya optik tetap aman meskipun jarak kabel antar-dusun cukup jauh.



Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Gambar 2. Arsitektur Topologi Tree Jaringan FTTH Berbasis Karakteristik Wilayah.

4.3. Implementasi dan Hasil Pengujian Kinerja Teknis

Desain yang telah dirancang kemudian diimplementasikan ke dalam jaringan fisik nyata. Untuk membuktikan kelayakan desain secara empiris, dilakukan pengujian kinerja jaringan menggunakan metode perhitungan *link budget* dan pengukuran langsung menggunakan *Optical Power Meter* (OPM). Parameter keberhasilan utama adalah total redaman (rugi-rugi daya) yang tidak boleh melebihi batas standar operasional *Passive Optical Network* (PON).

Hasil pengujian pada 325 sambungan pelanggan aktif menunjukkan bahwa nilai redaman rata-rata yang diterima di perangkat *Optical Network Terminal* (ONT) pelanggan adalah sebesar -22 dBm. Nilai ini sangat baik dan sepenuhnya memenuhi standar toleransi ITU-T G.984 yang mensyaratkan batas maksimal redaman sebesar -28 dBm. Stabilitas nilai redaman ini membuktikan bahwa spesifikasi kabel dan rasio *splitter* yang dipilih dalam perancangan topologi terbukti efektif meredam hambatan geografis.

Hasil pemetaan jaringan menunjukkan bahwa jalur distribusi fiber optik mengikuti pola jaringan jalan yang ada di Desa Padakembang. Hal ini dilakukan untuk mempermudah instalasi, pemeliharaan, serta mengurangi risiko gangguan jaringan. Total panjang kabel backbone dan distribusi yang digunakan mencapai lebih dari 8.000 meter, dengan variasi penggunaan kabel mulai dari 12 core, 24 core, hingga 48 core sesuai dengan kebutuhan kapasitas di setiap jalur.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Link Budget* dan Pengukuran Daya Optik.

Titik Sampel (Lokasi ODP)	Jarak dari OLT (km)	Rugi-Rugi Serat Optik (dB)	Redaman Splitter 1:16 (dB)	Rugi-Rugi Splice, Konektor & Bending (dB)	Daya Terima Teoretis / Link Budget (dBm)	Daya Terima Aktual / OPM (dBm)
ODP-02 (Dusun Cigula - Pusat)	1,2	0,42	13,50	4,20	-17,12	-18,05
ODP-10 (Dusun Cigula - Menengah)	2,4	0,84	13,50	4,80	-18,14	-19,40
ODP-18 (Dusun Pasiripis - Transisi)	3,8	1,33	13,50	5,50	-19,33	-20,80
ODP-25 (Dusun Pasiripis - Perbukitan)	4,5	1,57	13,50	6,80	-20,87	-22,15
ODP-31 (Dusun Buniasih - Menyebar)	6,2	2,17	13,50	8,10	-22,77	-24,20
ODP-36 (Dusun Buniasih - Terjauh)	7,8	2,73	13,50	9,50	-24,73	-26,30
RATA-RATA REDAMAN	4,32				-20,49	-21,81 (~ -22)

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat perbandingan antara hasil perhitungan teoretis (*Link Budget*) dengan hasil pengukuran aktual di lapangan menggunakan *Optical Power Meter* (OPM). Terdapat enam sampel titik pengujian yang mewakili berbagai kondisi geografis, mulai dari pusat desa (ODP-02) dengan jarak 1,2 km, hingga titik wilayah perbukitan terjauh (ODP-36) dengan jarak tarikan kabel mencapai 7,8 km.

Hasil ukur aktual secara umum menunjukkan nilai redaman yang sedikit lebih besar (antara 0,9 hingga 1,5 dB) dibandingkan hitungan teoretis. Penurunan ini disebabkan oleh tingginya rugi-rugi akibat faktor *macrobending* (tekukan kabel) yang tidak dapat dihindari saat menelusuri kontur jalan perbukitan dan area permukiman yang terfragmentasi. Meskipun demikian, nilai pengukuran OPM pada titik terjauh tercatat sebesar -26,30 dBm, dan secara keseluruhan rata-rata daya terima pada pelanggan berada pada angka sekitar -21,81 dBm (dibulatkan menjadi -22 dBm).

Angka ini membuktikan secara empiris bahwa arsitektur jaringan yang dirancang berbasis pendekatan spasial ini berhasil mengelola redaman dengan sangat baik dan tetap berada di bawah ambang batas toleransi standar ITU-T G.984 (yaitu batas maksimal -28 dBm), sehingga jaringan dijamin mampu mentransmisikan data berkecepatan tinggi tanpa hambatan.

4.4. Analisis Kelayakan Ekonomi dan Kapasitas (*Economies of Scale*)

Dari perspektif ekonomi infrastruktur, analisis kelayakan dilakukan dengan mengevaluasi total biaya pembangunan terhadap tingkat utilisasi jaringan. Total biaya investasi fisik (*Capital Expenditure*) yang dikeluarkan untuk membangun seluruh jaringan FTTH ini mencapai Rp.309.911.000. Komponen biaya ini mencakup pengadaan perangkat aktif, kabel fiber optik, perangkat pasif (ODP, *splitter*), hingga biaya instalasi.

Dengan jumlah pelanggan aktif saat ini sebanyak 325 pengguna dari total kapasitas 576 port ODP yang tersedia, tingkat utilisasi jaringan berada pada angka 56%. Berdasarkan data tersebut, biaya investasi rata-rata per pelanggan adalah sebesar Rp.953.572.

Lebih lanjut, analisis proyeksi ekspansi menunjukkan bahwa investasi jaringan ini memiliki sifat *economies of scale* (skala ekonomi). Mengingat infrastruktur *backbone* utama telah terbangun, penambahan pelanggan baru di masa depan hanya akan memerlukan biaya kabel *drop* berbiaya rendah. Jika target penetrasi dimaksimalkan hingga menjangkau 1000 pengguna potensial, maka beban biaya rata-rata per pelanggan akan menurun drastis, sehingga mempercepat *Return on Investment* (ROI) bagi pihak pengelola jaringan desa.

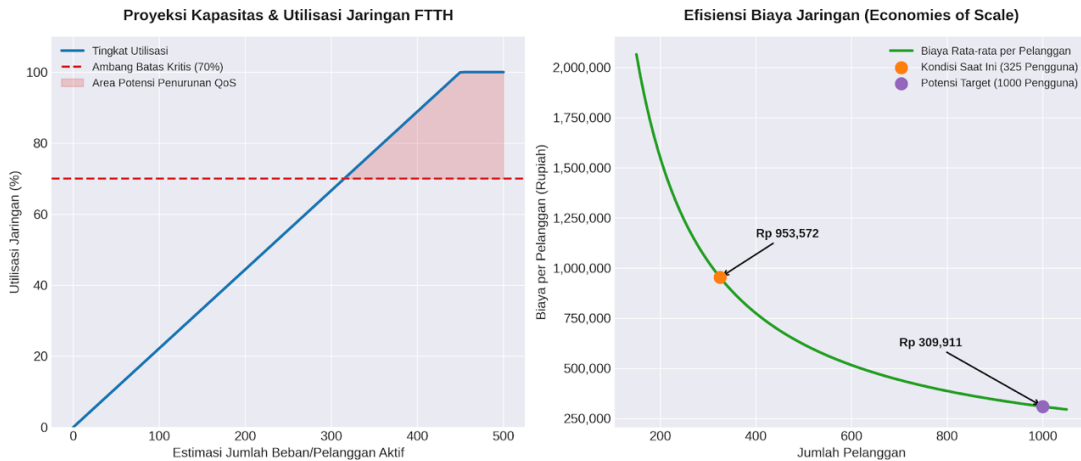
Tabel 2. Rincian Biaya Investasi Pembangunan Jaringan (CAPEX).

No.	Komponen Perangkat & Jasa	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
A Perangkat Aktif				
1	OLT HiSoo 2 Port EPON / GPON	1 unit	3.500.000	3.500.000
2	SFP OLT PX20+++ 7dbm	2 pcs	320	640
3	Mikrotik RB450Gx4	1 unit	1.850.000	1.850.000
B Perangkat Pasif & Kabel				
4	Kabel Fiber Optic Drop Core 1 Core (Roll=1000m)	15 Roll	1.100.000	16.500.000
5	Kabel Fiber Optic 4 Core (Roll=1000m)	2 Roll	1.800.000	3.600.000
6	Kabel Fiber Optic 2 Core (Roll=1000m)	5 Roll	1.500.000	7.500.000
7	ODP (Optical Distribution Point) 16 Core	36 unit	180	6.480.000
8	Splitter Box 1:16 SC UPC	36 pcs	65	2.340.000
9	Fast Connector SC UPC (1 pack = 100pcs)	10 pack	120	1.200.000
10	Patchcord SC UPC - SC UPC 1m	100 pcs	10	1.000.000
C Infrastruktur Tiang & Instalasi				
11	Tiang Telkom 7 Meter	50 batang	800	40.000.000
12	Aksesoris Tiang (Klem, S-Clamp, dll)	1 set	5.000.000	5.000.000
13	Jasa Instalasi Jaringan & Splicing	1 paket	25.000.000	25.000.000
14	Biaya Instalasi Perangkat Aktif & Setting Mikrotik	1 paket	5.000.000	5.000.000
D Sisi Pelanggan (End-User)				
15	ONU / ONT / Modem Pelanggan	325 unit	180	58.500.000
16	Drop Wire ke Rumah Pelanggan (Estimasi rata-rata 100m)	325 tarikan	400	130.000.000
17	Biaya Lain-lain / Tak Terduga (Contingency)	1 paket	1.801.000	1.801.000
TOTAL KESELURUHAN BIAYA (CAPEX)				309.911.000

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Berdasarkan Tabel 2, struktur pembiayaan didominasi oleh investasi pada sisi pelanggan (pemasangan ONU dan *drop wire* menuju rumah pelanggan) serta infrastruktur tiang untuk mengatasi medan geografis yang menyebar. Dari total belanja modal (CAPEX) sebesar Rp. 309.911.000, jika dibagi dengan 325 pelanggan awal, diperoleh biaya rata-rata sekitar Rp.953.572 per pelanggan. Angka ini merepresentasikan investasi yang sangat rasional dan efisien untuk membangun fondasi layanan internet tingkat desa.

Lebih jauh, data ini menegaskan prinsip *economies of scale*. Mengingat komponen utama jaringan (OLT, *backbone 2 core & 4 core*, serta ODP) telah sepenuhnya terpasang, penambahan pelanggan baru ke depannya hanya akan membutuhkan biaya dari kategori "Sisi Pelanggan" (poin 15 dan 16). Hal ini secara matematis akan terus menekan rasio biaya rata-rata per pengguna jika target Gugus Desa Inovasi untuk menjangkau hingga 1000 warga terpenuhi.



Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Gambar 3. Proyeksi Efisiensi Biaya Jaringan (*Economies of Scale*) pada Implementasi FTTH Desa Padakembang.

4.5. Dampak Strategis terhadap Implementasi *Smart Village*

Keberhasilan perancangan dan implementasi jaringan FTTH di Desa Padakembang memberikan dampak nyata yang transformatif melampaui sekadar ketersediaan konektivitas dasar. Infrastruktur ini menjadi fondasi utama dalam mewujudkan ekosistem *Smart Village* melalui penyediaan *backbone* digital yang stabil dengan rata-rata redaman -22 dBm serta jangkauan yang luas di area topografi perbukitan.

Ketersediaan akses internet pita lebar yang andal dan efisien secara ekonomi (berkisar Rp953.572 per pelanggan) ini secara langsung mengakselerasi pencapaian pilar-pilar utama *Smart Village*, di antaranya:

1. Tata Kelola Cerdas (*Smart Governance*): Kestabilan jaringan memfasilitasi digitalisasi administrasi publik secara menyeluruh. Pelayanan kependudukan, sistem informasi desa, hingga transparansi dana desa dapat dijalankan dan diakses secara *real-time*, sehingga memangkas birokrasi dan meningkatkan kualitas pelayanan kepada masyarakat.
2. Ekonomi Cerdas (*Smart Economy*): Infrastruktur ini memecahkan masalah isolasi geografis, sehingga membuka akses pasar yang lebih luas bagi pelaku Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) lokal. Pelaku UMKM kini dapat memanfaatkan *platform e-commerce* dan pemasaran digital secara optimal tanpa terkendala koneksi yang lambat.
3. Masyarakat dan Lingkungan Cerdas (*Smart Society & Environment*): Terhubungnya ratusan rumah tangga dengan internet berkecepatan tinggi meningkatkan literasi digital warga, serta memperluas akses terhadap fasilitas pendidikan dan kesehatan daring. Lebih jauh, kapasitas *bandwidth* yang besar membuka peluang bagi implementasi *Internet of Things* (IoT) di masa depan, seperti penggunaan sensor pintar untuk memantau irigasi lahan pertanian atau sistem keamanan desa terpadu.

Secara keseluruhan, integrasi antara desain teknis yang adaptif terhadap karakteristik wilayah dengan tujuan pembangunan desa menjadikan perancangan infrastruktur FTTH ini sebagai katalisator utama. Model jaringan ini memastikan kelancaran dan keberlanjutan transformasi Desa Padakembang menuju *Smart Village* yang inklusif dan modern.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pembangunan jaringan *Fiber to the Home* (FTTH) berbasis karakteristik wilayah di Desa Padakembang terbukti efektif dalam mengatasi hambatan geografis yang kompleks. Secara teknis, infrastruktur ini berhasil melayani 325 pelanggan aktif dengan kualitas sinyal yang sangat baik, di mana rata-rata redaman sebesar -22 dBm berada jauh di bawah ambang batas toleransi standar ITU-T. Dari sisi ekonomi, total investasi sebesar Rp309.911.000 menghasilkan efisiensi biaya rata-rata Rp953.572 per pelanggan. Analisis kapasitas juga menunjukkan adanya sifat *economies of scale*, di mana penambahan pengguna hingga target 1000 pelanggan akan semakin menurunkan beban biaya rata-rata secara signifikan.

Dampak nyata dari penelitian ini adalah terciptanya fondasi infrastruktur digital yang inklusif untuk mendukung transformasi Desa Padakembang menuju *Smart Village*. Jaringan ini memfasilitasi integrasi layanan administrasi publik desa yang lebih transparan (*Smart Governance*), membuka akses pasar digital bagi pelaku UMKM lokal untuk meningkatkan daya saing ekonomi (*Smart Economy*), serta memperluas jangkauan informasi dan literasi digital bagi masyarakat (*Smart Society*). Model perancangan ini tidak hanya memenuhi aspek teknis dan ekonomis, tetapi juga menjadi prasyarat fundamental bagi keberlanjutan ekosistem digital di pedesaan yang dapat direplikasi di wilayah lain dengan tantangan geografis serupa.

Peneliti mengucapkan banyak terimakasih kepada pemerintah Desa Padakembang, Badan Usaha Milik Desa Dinding Ari Jaya Desa Padakembang dan PT. Sudastek yang telah memberikan pembiayaan penelitian ini dan telah mendukung selama berjalannya kegiatan penelitian.

Referensi

- [1] R. Misra, S. Sharma, and A. Kumar, "Fiber to the Home (FTTH) Architecture and Planning for Rural Areas," *International Journal of Computer Applications*, vol. 178, no. 15, pp. 22-28, 2020.
- [2] M. R. Pratama, "Perancangan Jaringan Fiber Optic untuk Akses Internet di Wilayah Pedesaan," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 9, no. 3, pp. 210-216, 2020.
- [3] D. Kurniawan and S. Hidayat, "Analisis Perancangan Jaringan FTTH Menggunakan Teknologi GPON," *Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 10, no. 2, pp. 95-104, 2020.
- [4] S. Wahyuni, "Implementasi Konsep Smart Village dalam Pengembangan Desa Digital di Indonesia," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIIK)*, vol. 8, no. 4, pp. 789-798, 2021.
- [5] F. Ramadhan and A. Setiawan, "Pemetaan Infrastruktur Jaringan Berbasis GIS untuk Wilayah Pedesaan," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 5, no. 2, pp. 315-321, 2021.
- [6] ITU-T, "G.984.1: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General Characteristics," *International Telecommunication Union*, 2018.
- [7] B. Santoso, "Analisis Link Budget dan Power Margin pada Jaringan Akses Fiber Optik," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 45-52, 2022.
- [8] H. Sulisty, "Ekonomi Infrastruktur Digital: Skala Ekonomi dalam Pembangunan Jaringan Broadband Pedesaan," *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*, vol. 29, no. 2, pp. 112-125, 2021.
- [9] A. Z. Abidin, "Transformasi Digital melalui Smart Village: Tantangan dan Peluang di Era Industri 4.0," *Jurnal Ilmu Sosial dan Politik*, vol. 24, no. 3, pp. 201-215, 2020.
- [9] P. Nugroho, "Desain Topologi Tree pada Jaringan FTTH untuk Optimalisasi Budget Power," *Jurnal Infotel*, vol. 13, no. 4, pp. 158-165, 2021.