

Perancangan Jaringan *Fixed Broadband* Sebagai *Inner Ring* dan *Backhaul* 5G di Ibu Kota Nusantara

1st Alfandi Zuhair
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

alfandiz@student.telkomuniversity.ac.id

4th Uke Kurniawan Usman
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung Indonesia

ukeusman@telkomuniversity.ac.id

5th Rizky Satria
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

satria.riz2007@gmail.com

Abstrak — Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Kalimantan mengusung visi kota berkelanjutan berbasis teknologi untuk mendukung pertumbuhan ekonomi yang inklusif. Dalam mewujudkan visi ini, jaringan telekomunikasi menjadi komponen utama, khususnya penyediaan layanan *fixed broadband*. Penelitian ini merancang jaringan *fixed broadband* berbasis standar ITU-T G.984.2, yaitu *Gigabit Passive Optical Network* (GPON). Desain ini mencakup pembangunan untuk *inner ring* dan *backhaul* jaringan 5G. Simulasi perancangan ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *Google Earth* untuk pemetaan geografis dan *OptiSystem* untuk analisis performa jaringan, dengan parameter evaluasi LPB, SNR, Q-Factor, BER, dan RTB. Hasil penelitian menunjukkan terdapat 6 *inner ring* di wilayah KIPP-1A dengan LPB ≥ -28 dBm, SNR ≥ 22 dB, Q-Factor ≥ 6 , BER $\leq 10^{-9}$, dan RTB < 70 ps, dimana hasil pada keenam *ring* sudah memenuhi standar ITU-G.984.2.

Kata kunci — *Fixed Broadband*, GPON, Ibu Kota Nusantara (IKN), ITU-G.984.2, Telekomunikasi

I. PENDAHULUAN

Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Kalimantan bertujuan untuk menciptakan pertumbuhan yang lebih inklusif dan merata dengan mengalihkan pusat gravitasi pembangunan dari Pulau Jawa. IKN dirancang sebagai kota berkonsep *smart city* dan *sustainable forest city* yang terintegrasi dengan teknologi canggih, berfokus pada efisiensi, keberlanjutan, dan kenyamanan hidup bagi penghuninya, sekaligus mengadopsi prinsip ramah lingkungan untuk pengelolaan sumber daya yang lebih baik [1].

Prinsip *smart city* yang diusung dalam rencana induk IKN dan visi transformasi digital nasional mencakup infrastruktur fisik serta jaringan digital. Dengan bantuan teknologi dalam pengambilan keputusan dan kebijakan, penerapan konsep *smart city* bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya, meningkatkan layanan publik, dan menciptakan lingkungan yang mendukung inovasi [1]. Komponen utama dari *smart city* adalah jaringan telekomunikasi, khususnya Jaringan Tetap (*Fixed Network*) atau layanan *fixed broadband*, yang juga

mencakup *inner ring* dan *backhaul* untuk distribusi ke jaringan 5G [2].

Sebagai ibu kota negara baru yang mengusung konsep *smart city*, perancangan layanan *fixed broadband* di IKN, khususnya di wilayah KIPP-1A, memerlukan perhitungan dan analisis yang cermat [3]. Perancangan layanan *fixed broadband* ini menjadi bahan pertimbangan bagi penyelenggara telekomunikasi. Hasil analisis ini menjadi dasar penting untuk menilai apakah perancangan jaringan *fixed broadband* tersebut memenuhi standar teknis.

II. KAJIAN TEORI

A. Fiber Optic

Fiber optic merupakan media transmisi berkecepatan tinggi yang menggunakan cahaya dari LED atau laser untuk mentransmisikan informasi melalui prinsip pembiasan dan pemantulan cahaya di dalam inti serat optik terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu *core*, *cladding*, dan *coating*. *Core* berfungsi sebagai jalur utama perambatan cahaya dengan indeks bias tinggi, sedangkan *cladding* memantulkan cahaya agar tetap merambat dalam inti melalui perbedaan indeks bias. *Coating* berfungsi melindungi serat dari kerusakan mekanis.

Terdapat dua jenis *fiber optic*: *single mode* dan *multi mode*. *Single mode* memiliki inti sempit yang memungkinkan transmisi satu sinar cahaya secara lurus tanpa pantulan, umumnya menggunakan sinar laser inframerah dan berbahan dasar kaca silika (SiO_2) yang dipadukan dengan (GeO_2). Sementara itu, *multi mode* memiliki inti lebih besar yang memungkinkan beberapa sinyal cahaya ditransmisikan secara bersamaan, cocok untuk kebutuhan komersial, dengan sumber cahaya berupa LED atau laser [4].

B. Sistem Komunikasi *Fiber Optic*

Sistem komunikasi serat optik adalah metode transmisi data yang memanfaatkan gelombang cahaya sebagai media penghantar, dengan kapasitas sangat tinggi berkat lebar pita (*bandwidth*) yang besar. Informasi dikonversi menjadi sinyal cahaya oleh pemancar, kemudian dikirimkan melalui kabel *fiber optic*, dan diubah kembali menjadi sinyal listrik oleh penerima. Proses transmisi ini memanfaatkan prinsip pemantulan total cahaya dalam serat optik pada panjang

gelombang tertentu untuk memastikan pengiriman data yang efisien dari satu lokasi ke lokasi lain [5].

C. Jaringan Backhaul

Jaringan *backhaul* merupakan komponen vital dalam sistem komunikasi modern yang menghubungkan jaringan akses ke jaringan inti menggunakan fiber optic, memungkinkan transmisi data berkecepatan gigabit per detik. Infrastruktur ini terdiri dari Optical Line Terminal (OLT) di pusat data dan Optical Network Unit (ONU) di sisi pengguna, mendukung layanan seperti VoIP, IPTV, dan internet cepat secara simultan. Teknologi pasif yang digunakan memungkinkan efisiensi biaya operasional, kemudahan perluasan jaringan, latensi rendah, dan keamanan tinggi, menjadikannya solusi optimal untuk kebutuhan layanan data berkualitas tinggi dan pengembangan jaringan masa depan [6].

D. Google Earth Pro

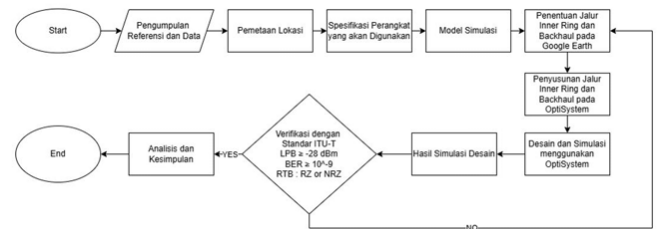
Google Earth adalah perangkat lunak pemetaan geospasial yang dikembangkan oleh Google dan kini dikenal sebagai *Google Earth Pro*, tersedia secara gratis di situs resminya. Aplikasi ini menampilkan citra satelit, foto udara, dan data kartografi 3D. Fitur utamanya meliputi tampilan relief wilayah dari masa lalu, informasi lokasi terbaru, *overlay* data vektor atau raster untuk visualisasi 3D, integrasi data SIG dalam format KML/KMZ, serta pengukuran radius, area, dan keliling permukaan bumi. Dengan kemampuannya tersebut, *Google Earth* mendukung berbagai kebutuhan penelitian geospasial [7].

E. OptiSystem

OptiSystem adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *Optiwave* untuk merancang dan mensimulasikan berbagai jenis jaringan *fiber optic*, serta berperan penting dalam sistem komunikasi optik. Perangkat ini menyediakan *library* berisi berbagai komponen, seperti *Optical Power Meter* (OPM) untuk mengukur kehilangan daya dan *Optical Time Domain Reflectometer* (OTDR) untuk mendeteksi gangguan atau menganalisis kondisi serat optik. Selain itu, *OptiSystem* juga mendukung perhitungan *power link budget* dan *rise time budget* guna mengevaluasi performa jaringan optik [6].

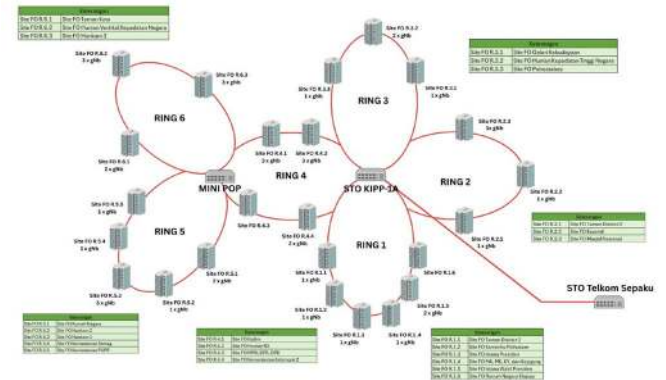
III. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi untuk menguji dan menghitung pada layanan *fixed broadband* yang dirancang dengan menggunakan topologi *ring* di wilayah KIPP-1A, dengan mengacu pada standar ITU-T G.984.2, disimulasikan menggunakan *Google Earth* dan *OptiSystem*, dengan menghitung parameter seperti LPB, SNR, *Q-Factor*, BER, dan RTB.



GAMBAR 1 Diagram alur perancangan jaringan

Gambar 1 menunjukkan metodologi perancangan dan simulasi jaringan *fixed broadband*. Proses dimulai dengan pengumpulan referensi dan data, dilanjutkan dengan pemetaan lokasi, dan penentuan spesifikasi perangkat yang akan digunakan untuk membuat model simulasi. Setelah itu, dilakukan penentuan jalur *inner ring* dan *backhaul* menggunakan *Google Earth*, lalu penyusunan jalur tersebut di *OptiSystem*. Kemudian, desain dan simulasi dilakukan menggunakan *OptiSystem*. Hasil simulasi desain diverifikasi dengan standar ITU-T, yang meliputi kriteria $LPB \geq -28$ dBm, $BER \geq 10^{-9}$, dan RTB: RZ or NRZ. Jika semua kriteria terpenuhi, proses berlanjut ke analisis dan kesimpulan, kemudian berakhir. Namun, jika kriteria tidak terpenuhi, proses akan kembali ke tahap penentuan jalur *inner ring* dan *backhaul* pada *Google Earth* untuk penyesuaian desain.



GAMBAR 2 Desain topologi jaringan di KIPP-1A

Gambar 1 menunjukkan topologi jaringan di KIPP-1A dirancang dengan STO Sepaku sebagai titik awal yang terhubung ke STO KIPP-1A sebagai pusat distribusi utama. STO KIPP-1A mendistribusikan konektivitas melalui empat *ring* (1-4), sementara *ring* 5 dan 6 terhubung ke MINI POP sebagai titik distribusi menengah yang mendukung redundansi dan mempercepat distribusi data ke STO KIPP-1A. Setiap *ring* memiliki beberapa *site FO* yang terhubung ke 35 *gNodeB* (*gNb*) untuk efisiensi jarak distribusi, mendukung jaringan 5G SA.

TABEL 1 Parameter layanan *fixed broadband* [8]

| Optical Fiber Requirements | KPIs Optical Fiber | Target |
|----------------------------|----------------------------|-------------|
| Cable Type | Suitable for Ring topology | Single Mode |
| Wavelength | 1310-1550 nm | 1550 nm |

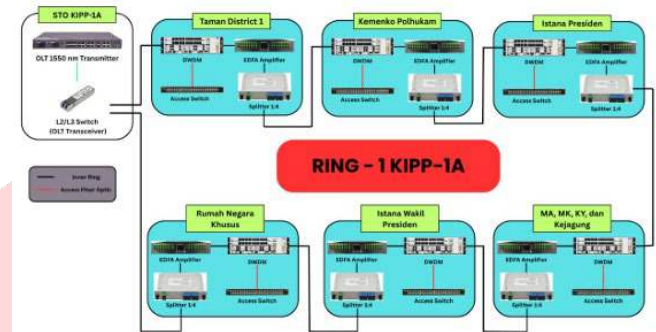
| | | |
|-----------------------------|-----------|----------------|
| Signal to Noise Ratio (SNR) | 22 dB | ≥ 22 dB |
| Q-Factor | 6 | ≥ 6 |
| Link Power Budget (LPB) | -28 dBm | ≥ -28 dBm |
| Bit Error Rate (BER) | 10^{-9} | $\geq 10^{-9}$ |
| Rise Time Budget (RTB) | RZ or NRZ | NRZ |

Tabel 1 menunjukkan parameter teknis yang digunakan dalam perancangan fixed broadband di wilayah KIPP-1A berdasarkan ITU-T G.984.2. Desain ini menggunakan topologi ring sebagai inner ring yang menghubungkan jaringan internet di KIPP-1A dan berfungsi sebagai backhaul untuk layanan 5G SA. Parameter yang harus dipenuhi meliputi SNR ≥ 22 dB, Q-Factor ≥ 6 , LPB ≥ -28 dBm, BER $\geq 10^{-9}$, RTB yang menggunakan line coding NRZ (Non-Return-to-Zero) sebagai format data [8].

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perancangan layanan fixed broadband melakukan pemetaan detail dan drafting jalur fiber optic menggunakan Google Earth. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk mengidentifikasi rute optimal bagi penempatan kabel serat optik. Penentuan rute ini penting karena jarak yang diperoleh dari pemetaan tersebut akan menjadi input vital untuk perhitungan berbagai parameter teknis kinerja jaringan. Parameter-parameter ini meliputi Link Power Budget (LPB) yang menentukan ketersediaan daya optik, Signal to Noise Ratio (SNR) yang mengukur kualitas sinyal terhadap derau, Q-Factor merupakan indikator kualitas sinyal digital, Bit Error Rate (BER) yang menunjukkan frekuensi kesalahan bit dalam transmisi data, dan Rise Time Budget (RTB) yang menilai kemampuan jaringan mempertahankan integritas sinyal pada kecepatan tinggi.

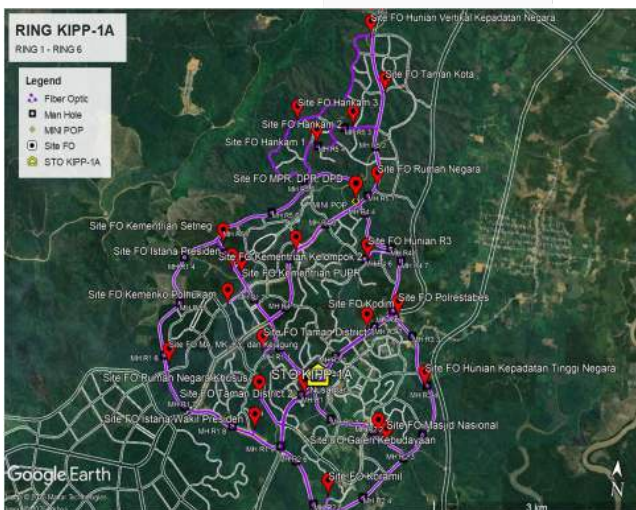
(gNb). Desain ring di KIPP-1A menghubungkan STO KIPP-1A (untuk ring 1-4) dan MINI POP (untuk ring 5 & 6). Pada masing – masing ring akan terhubung ke sejumlah site FO untuk distribusi ke gNb. Di STO KIPP-1A terdapat OLT 1550 nm Transmitter dan L2/L3 Switch untuk mengatur lalu lintas data berdasarkan protokol layer 2 dan 3. Di. Setiap site FO dilengkapi dengan DWDM untuk menggabungkan sinyal, EDFA Amplifier untuk memperkuat sinyal, Access Switch untuk menghubungkan ke gNodeB (gNb), dan Splitter 1:4 untuk distribusi layanan.



GAMBAR 4

Perangkat yang digunakan pada ring 1

Gambar 4 menunjukkan perangkat yang digunakan untuk layanan fixed broadband pada ring 1 di KIPP-1A. Adapun, perangkat pada setiap ring disesuaikan dengan jumlah site FO yang ada pada ring 1 memiliki 6 site FO, ring 2 memiliki 3 site FO, ring 3 memiliki 3 site FO, ring 4 memiliki 4 site FO, ring 5 memiliki 5 site FO, dan ring 6 memiliki 3 site FO. Namun, perangkat pada masing - masing site FO sesuai dengan gambar 3. Perlu diketahui detail spesifikasi pada jenis kabel dan power transmit pada STO KIPP-1A dan MINI POP yang digunakan untuk implementasi layanan fixed broadband ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.



GAMBAR 3

Draft jalur fiber optic di KIPP-1A menggunakan Google Earth

Gambar 3 menunjukkan hasil drafting jalur fiber optic di KIPP-1A menggunakan Google Earth. Desain ini menghasilkan total enam ring di wilayah KIPP-1A. Masing-masing ring akan terhubung ke beberapa site FO, yang kemudian akan mendistribusikan konektivitas ke 35 gNodeB

TABEL 2

Spesifikasi kabel fiber optic

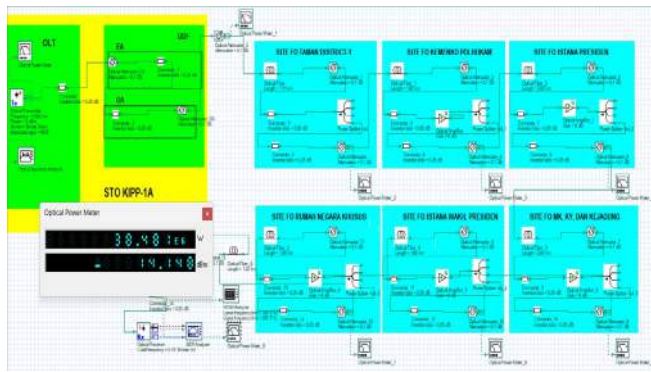
| | |
|----------------------|-------------------------------|
| Jenis Kabel | OPGW type ITU-T G.655 - NZDSF |
| Atenuasi | 0,35 db/km |
| Chromatic Dispersion | 6 ps / nm.Km |

TABEL 3

Spesifikasi pada transmitter

| Transmitter | |
|-------------------------------|---------|
| Wavelength | 1550 nm |
| Power Transmitter STO KIPP-1A | 3 dBm |
| Power Transmitter MINI POP | 1 dBm |

Setelah spesifikasi perangkat untuk implementasi layanan fixed broadband ditentukan, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi pada OptiSystem untuk setiap ring. Proses ini memungkinkan simulasi kinerja jaringan optik guna mendapatkan nilai performansi seperti daya terima P_{rx} , SNR, Q-Factor, dan BER.



GAMBAR 5
Simulasi *OptiSystem* ring 1

Gambar 5 menunjukkan sampe dari simulasi yang berada di ring 1 KIPP-1A menggunakan *OptiSystem*, berdasarkan spesifikasi *fixed broadband* yang telah ditentukan. Dengan panjang kabel 11 km, simulasi ini menghasilkan nilai Prx sebesar -14,148 dBm, BER 5.01248×10^{-61} , Q-Factor 16,4388, dan SNR 35,49488. Selain itu, RTB tercatat 40,1442 ps dengan *line coding* NRZ. Hasil nilai performansi pada parameter tersebut sudah memenuhi standar ITU G.984.2. Simulasi pada masing - masing ring di *OptiSystem* memiliki prosedur yang serupa, dengan perbedaan utama pada total site FO di setiap ring. Berikut detail hasil simulasi pada setiap ring yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

TABEL 4
Hasil simulasi ring 1 - ring 3

| Parameter | Target | Realisasi | | | Tercapai / Tidak Tercapai |
|-----------|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | Ring 1 | Ring 2 | Ring 3 | |
| LPB (dBm) | > -28 | -14,148 | -18,897 | -18,886 | Tercapai |
| SNR (dB) | > 22 | 35,49488 | 39,935269 | 39,927287 | Tercapai |
| Q-Factor | ≥ 6 | 16,4388 | 7,46095 | 7,06341 | Tercapai |
| BER | ≥ 10 ⁻⁹ | $5,01248 \times 10^{-61}$ | $7,46095 \times 10^{-11}$ | $8,11112 \times 10^{-11}$ | Tercapai |
| RTB (ps) | < 70 (NRZ) | 40,1442 | 39,7591 | 39,758 | Tercapai |

TABEL 5
Hasil simulasi ring 4 - ring 6

| Parameter | Target | Realisasi | | | Tercapai / Tidak Tercapai |
|-----------|--------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | Ring 4 | Ring 5 | Ring 6 | |
| LPB (dBm) | > -28 | -18,102 | -18,362 | -19,3 | Tercapai |
| SNR (dB) | > 22 | 36,897147 | 33,948893 | 38,211509 | Tercapai |
| Q-Factor | ≥ 6 | 9,26911 | 6,77225 | 7,12723 | Tercapai |
| BER | ≥ 10 ⁻⁹ | $9,3675 \times 10^{-21}$ | $6,33977 \times 10^{-12}$ | $5,1197 \times 10^{-12}$ | Tercapai |
| RTB (ps) | < 70 (NRZ) | 39,9235 | 39,9726 | 39,8659 | Tercapai |

Simpulan harus diuraikan dalam bentuk paragraf yang berisi poin utama pembahasan hasil penelitian, berupa uraian dan tidak boleh menggunakan pointer.

REFERENSI

- [1] Amallya, D. et al., "Cetak Biru Kota Cerdas Nusantara," *IKN Official Website*, Dec. 22, 2023. [Online]. Available: https://www.ikn.go.id/storage/thd/blueprint/cetak_biru_kota_cerdas_nusantara.pdf
- [2] M. N. Fadhilah, *Perencanaan Jaringan Backhaul gNodeB dan Distribusi Jaringan 5G NR di Kota Makassar*, Universitas Telkom, Surabaya, 2024
- [3] O. A. V. Putri and N. A. Wessiani, "Analisis kelayakan finansial proyek pembangunan jaringan telekomunikasi di kawasan wisata Nusa Penida, Bali (Studi kasus: PT Telkom Indonesia (Persero) Tbk Witel Singaraja)," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 9, no. 2, 2020.
- [4] *Situbondo*, Universitas Telkom, Surabaya, 2025.
- [5] M. S. Ohorella, *Simulasi Perancangan Jaringan Backbone Fiber Optik di Kepulauan Seram Bagian Barat*, Universitas Telkom, Surabaya, 2023.
- [6] N. A. Nugraha, *Perencanaan Jaringan Backhaul Menggunakan Optik Gigabit Passive Optical Network (GPON) di Daerah Kabupaten Pegunungan Bintang*, Universitas Telkom, Surabaya, 2025.
- [7] E. N. Budifitriani, *Pemanfaatan Citra Satelit Google Earth sebagai Data Analisis Penilaian Pemulihan Lahan*, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, 2021.
- [8] International Telecommunication Union, *G.984.2: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification*, 2008. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/en>. [Accessed: Jun. 27, 2025].
- [9]

V. KESIMPULAN