

Jaringan Harapan: Membangun Akses Digital di Wilayah Terpencil

Onno W. Purbo
onno@indo.net.id
onno@itts.ac.id
twitter onnowpurbo

Insitut Teknologi Tangerang Selatan
OnnoCenter
2025

Lisensi



Karya ini dilisensikan di bawah lisensi **Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0)**.

Artinya, **siapapun bebas untuk menggunakan, menyalin, membagikan, dan mengadaptasi materi ini, dengan syarat:**

- **Memberikan atribusi yang sesuai** (menyebut sumber asli),
- **Menyertakan lisensi yang sama** jika dimodifikasi atau dikembangkan lebih lanjut.

Lihat detail lisensi di sini <https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/legalcode.id>

Disclaimer

Buku ini disusun untuk tujuan edukasi dan berbagi pengetahuan mengenai pembangunan akses digital di wilayah terpencil. Seluruh informasi, data, maupun contoh kasus yang disajikan bersifat informatif dan tidak dimaksudkan sebagai nasihat teknis maupun kebijakan yang mengikat. Penulis dan penerbit tidak bertanggung jawab atas segala kerugian, resiko, atau konsekuensi yang mungkin timbul dari penggunaan isi buku ini secara langsung maupun tidak langsung.

Daftar Isi

Lisensi.....	2
Disclaimer.....	2
Daftar Isi.....	3
Kata Pengantar.....	6
Executive Summary.....	7
BAB 1: Pendahuluan Teknis.....	8
Latar Belakang Masalah Blank Spot di Indonesia.....	8
Peta Wilayah Terpencil dan Perbatasan.....	8
Peta Cakupan Sinyal Telkomsel di Indonesia.....	9
Highlight Blank Spot.....	9
Implikasi terhadap Kesenjangan Digital.....	10
Kesenjangan Digital (Digital Divide).....	10
Tantangan Teknis Akses Internet di Wilayah 3T.....	11
Topografi & Geografi.....	11
Keterbatasan Pasokan Listrik.....	11
Biaya Infrastruktur Tinggi.....	11
Tujuan dan Ruang Lingkup Buku.....	13
Ruang Lingkup Buku.....	13
BAB 2: Teknologi Akses Jaringan.....	15
Fiber Optik: Backbone Utama.....	15
Teknologi Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM).....	15
Penggunaan Kabel Fiber Drop Wire untuk Solusi Murah di Pedesaan.....	15
Biaya Deployment & Maintenance di Daerah Terpencil.....	16
Teknologi FTTH untuk End User.....	16
Penutup.....	16
Evolusi Teknologi Seluler: 4G menuju 5G.....	18
Arsitektur Radio Base Station.....	18
Optimasi Spektrum: Low-Band vs Mid-Band.....	18
Open RAN sebagai Solusi Ekonomis.....	19
Peran Open Source & SDR.....	19
Satelit VSAT, HTS, dan LEO Constellations.....	20
Perbandingan GEO, MEO, dan LEO.....	20
Starlink, OneWeb, dan Inisiatif Lokal.....	21
Inisiatif LEO Sat Indonesia.....	21
Wireless Point-to-Point & Point-to-Multipoint.....	22
Teknologi Microwave & Millimeter Wave.....	22
Mesh Network untuk Skala Desa.....	22
Penutup.....	23
Hybrid Network.....	24
Hybrid Network: Integrasi Multi-Teknologi.....	24
Arsitektur Multi-Access Edge.....	24
Ilustrasi Peran Teknologi dalam Hybrid Network.....	25

Penutup.....	25
BAB 3: Internet Offline.....	26
Konsep Internet Offline di Wilayah Blank Spot.....	26
Use Case Internet Offline.....	26
Delay Tolerant Network (DTN).....	27
Penutup.....	27
Content Caching & Content Delivery Offline.....	28
Local Caching Server di Desa/Sekolah.....	28
Mekanisme Pembaruan Berkala.....	28
Penutup.....	29
AI ChatGPT Offline untuk Wilayah Rural.....	30
Menggunakan Small Language Model (SLM).....	30
Menggunakan Komputer tanpa GPU (CPU Only).....	30
Menggunakan RAG (Retrieval-Augmented Generation) Sederhana.....	30
Menggunakan Wi-Fi Lokal.....	31
Penutup.....	31
Teknologi Perangkat Pendukung untuk Internet Desa.....	33
Raspberry Pi / Microserver Offline Box.....	33
Solar-powered Server & Wi-Fi Hotspot.....	33
Protokol Interoperabilitas.....	34
Penutup.....	34
BAB 4: Implementasi & Arsitektur.....	35
Desain Jaringan Internet Desa.....	35
Topologi Mesh & Relay Point.....	35
Wi-Fi Komunitas Berbasis OpenWRT.....	35
Infografis: Skema Jaringan Internet Desa.....	36
Energi Terbarukan untuk Infrastruktur Internet Desa.....	37
Solar Panel, Micro-Hydro, dan Hybrid Energy.....	37
Optimasi Konsumsi Daya Perangkat Jaringan.....	37
Penutup.....	38
Sistem Monitoring & Maintenance Jarak Jauh.....	39
Remote Troubleshooting via Satelit.....	39
Manfaat Utama.....	39
Infografis (Konsep Visual).....	40
Kesimpulan.....	40
BAB 5: Studi Kasus & Uji Coba.....	41
Internet Desa / RT/RW-net berbasis komunitas.....	41
Prinsip Utama RT/RW-net Komunitas.....	41
Kelebihan Internet Desa Komunitas.....	41
Narasi Visual.....	42
Studi Kasus Internasional.....	43
India: Community Wi-Fi & Jio BharatNet.....	43
Kenya: Internet Offline untuk Pendidikan.....	43
Brasil: Mesh Network di Amazon.....	43

Ringkasan Perbandingan.....	44
Penutup.....	44
BAB 6: Tantangan & Prospek Teknologi.....	45
Isu Regulasi, Spektrum, dan Lisensi.....	45
Regulasi: Antara Perlindungan dan Inovasi.....	45
Spektrum: Berlisensi vs Tidak Berlisensi.....	45
Lisensi: Hambatan atau Fasilitator?.....	45
Penutup.....	46
Keberlanjutan Finansial & Model Bisnis.....	47
Isu Regulasi, Spektrum, dan Lisensi.....	47
Penutup.....	48
Arah Masa Depan: 6G, Edge AI, dan Quantum Internet.....	49
6G: Lebih dari Sekadar Kecepatan.....	49
Edge AI: Kecerdasan di Ujung Jaringan.....	49
Quantum Internet: Masa Depan Keamanan Digital.....	49
Ringkasan Arah Masa Depan.....	50
Penutup.....	50
Penutup.....	51
Kesimpulan Teknis.....	51
Rekomendasi Implementasi Praktis.....	51
Lampiran Teknis.....	54
Spesifikasi Perangkat VSAT dan Wi-Fi Mesh.....	54
Standar Teknis Open RAN.....	54
Daftar Software Open Source untuk Open RAN.....	54
1. O-RU (Open Radio Unit).....	54
2. O-DU (Open Distributed Unit).....	55
3. O-CU (Open Centralized Unit).....	55
4. Platform Pendukung.....	55
Ringkasan.....	56
Skema Arsitektur Internet Offline.....	56
Penutup.....	57
Glosarium.....	58
Tentang Penulis.....	60

Kata Pengantar

Alhamdulillah, atas rahmat dan karunia-Nya buku “*Jaringan Harapan: Membangun Akses Digital di Wilayah Terpencil*” ini dapat terselesaikan. Buku ini lahir dari keprihatinan sekaligus harapan atas kondisi kesenjangan digital (digital divide) yang masih nyata di Indonesia, khususnya di wilayah 3T (Terdepan, Terpencil, dan Tertinggal).

Fenomena **blank spot** yang masih meluas bukan hanya menunjukkan keterbatasan teknis jaringan, tetapi juga berimplikasi langsung pada akses pendidikan, layanan kesehatan, serta peluang ekonomi masyarakat. Tantangan geografis, keterbatasan energi listrik, hingga biaya infrastruktur yang tinggi membuat pemerataan akses internet menjadi pekerjaan besar yang memerlukan pendekatan strategis dan kolaboratif.

Melalui buku ini, penulis berupaya memberikan gambaran menyeluruh mengenai tantangan, teknologi, hingga strategi implementasi yang relevan untuk menghadirkan akses digital di pelosok negeri. Konsep-konsep yang ditawarkan mencakup pendekatan **multi-teknologi berbasis cost-based deployment**, mulai dari fiber optik, satelit LEO, Open RAN 4G/5G, jaringan wireless point-to-point dan mesh, hingga gagasan inovatif berupa **Internet Offline** dengan content caching, *Delay Tolerant Network*, serta pemanfaatan **AI ChatGPT Offline berbasis Small Language Model (SLM)**.

Selain itu, buku ini juga menekankan pentingnya partisipasi masyarakat melalui model **RT/RW-net komunitas**, pemanfaatan energi terbarukan, serta keberlanjutan finansial dalam pembangunan infrastruktur. Berbagai studi kasus internasional turut dihadirkan sebagai pembandingan dan inspirasi agar Indonesia dapat belajar dan mengadaptasi solusi yang sesuai dengan kondisi lokal.

Buku ini ditujukan tidak hanya untuk kalangan akademisi dan praktisi, tetapi juga bagi pembuat kebijakan, industri telekomunikasi, serta komunitas desa yang ingin membangun akses digital secara mandiri. Harapan besar penulis, karya ini dapat menjadi salah satu pijakan dalam memperkuat kedaulatan digital bangsa, serta mewujudkan pemerataan akses informasi bagi seluruh lapisan masyarakat Indonesia.

Akhir kata, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung, memberi masukan, dan menjadi inspirasi dalam penyusunan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat, membuka wawasan, dan menjadi bagian dari ikhtiar bersama untuk menjembatani kesenjangan digital di tanah air.

Jakarta, Agustus 2025
Onno W. Purbo

Executive Summary

Dokumen ini menyoroti bahwa Indonesia masih menghadapi **tantangan besar dalam mengatasi blank spot** terutama di wilayah **3T (Terdepan, Terpencil, dan Tertinggal)**, yang mencerminkan kesenjangan digital (*digital divide*) bukan hanya dari sisi teknis jaringan tetapi juga akses terhadap **pendidikan, kesehatan, dan ekonomi digital**. Hambatan utama meliputi **topografi ekstrim, keterbatasan listrik, serta biaya infrastruktur yang tinggi**, sehingga pembangunan satu BTS di Papua bisa mencapai tiga kali lipat dibanding Jawa. Untuk menjawab hal ini, buku menawarkan pendekatan **multi-teknologi berbasis cost-based deployment: fiber optik** dengan *DWDM* sebagai backbone, **Open RAN 4G/5G** untuk akses murah dan fleksibel, serta **satelit LEO** (Starlink, OneWeb, maupun inisiatif lokal) untuk jangkauan luas dan latensi rendah, ditambah **wireless point-to-point, point-to-multipoint, dan mesh network** untuk distribusi *last-mile*. **Novelty utama** buku ini adalah gagasan **Internet Offline** melalui *content caching* di server desa/sekolah, **Delay Tolerant Network (DTN)** untuk sinkronisasi data berbasis *store-and-forward*, serta **AI ChatGPT Offline berbasis Small Language Model (SLM)** yang bisa dijalankan di **PC bekas tanpa GPU** dengan dukungan *retrieval-augmented generation (RAG)* sederhana dan dibagikan lewat **Wifi lokal**. Implementasi ini didukung dengan **RT/RW-net komunitas berbasis gotong royong**, pemanfaatan **energi terbarukan** (solar panel, mikrohidro, hybrid), serta sistem **monitoring dan maintenance jarak jauh via satelit**, dengan inspirasi dari **studi kasus internasional** seperti BharatNet di India, *offline education* di Kenya, dan *mesh network* komunitas di Brasil. Ke depan, prospek teknologi mengarah pada **6G yang lebih dari sekadar kecepatan, Edge AI untuk kecerdasan di ujung jaringan**, dan **Quantum Internet sebagai fondasi keamanan digital masa depan**, menjadikan strategi ini bukan hanya solusi teknis, tetapi **arah strategis pemerataan digital Indonesia**.

BAB 1: Pendahuluan Teknis

Latar Belakang Masalah Blank Spot di Indonesia

Fenomena **blank spot** atau area tanpa sinyal masih menjadi masalah serius di Indonesia. Meskipun penetrasi internet nasional terus meningkat, terdapat ribuan desa yang belum terjangkau jaringan seluler maupun broadband. Data Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kominfo) menunjukkan bahwa sebagian besar blank spot berada di wilayah **3T (Terdepan, Terpencil, dan Tertinggal)**. Hal ini bukan sekadar persoalan teknis, tetapi juga menyangkut **akses ke pendidikan, layanan kesehatan, dan peluang ekonomi**. Dengan kata lain, *blank spot* adalah bentuk nyata dari kesenjangan pembangunan digital di Indonesia.

Sebagai contoh sederhana, jika biaya pembangunan satu Base Transceiver Station (BTS) mencapai Rp1 miliar, maka untuk menutup 7.000 titik blank spot dibutuhkan investasi sekitar **Rp7 triliun**. Angka ini menunjukkan skala tantangan yang tidak kecil, terlebih ketika lokasi pembangunan berada di wilayah yang sulit diakses.

Peta Wilayah Terpencil dan Perbatasan

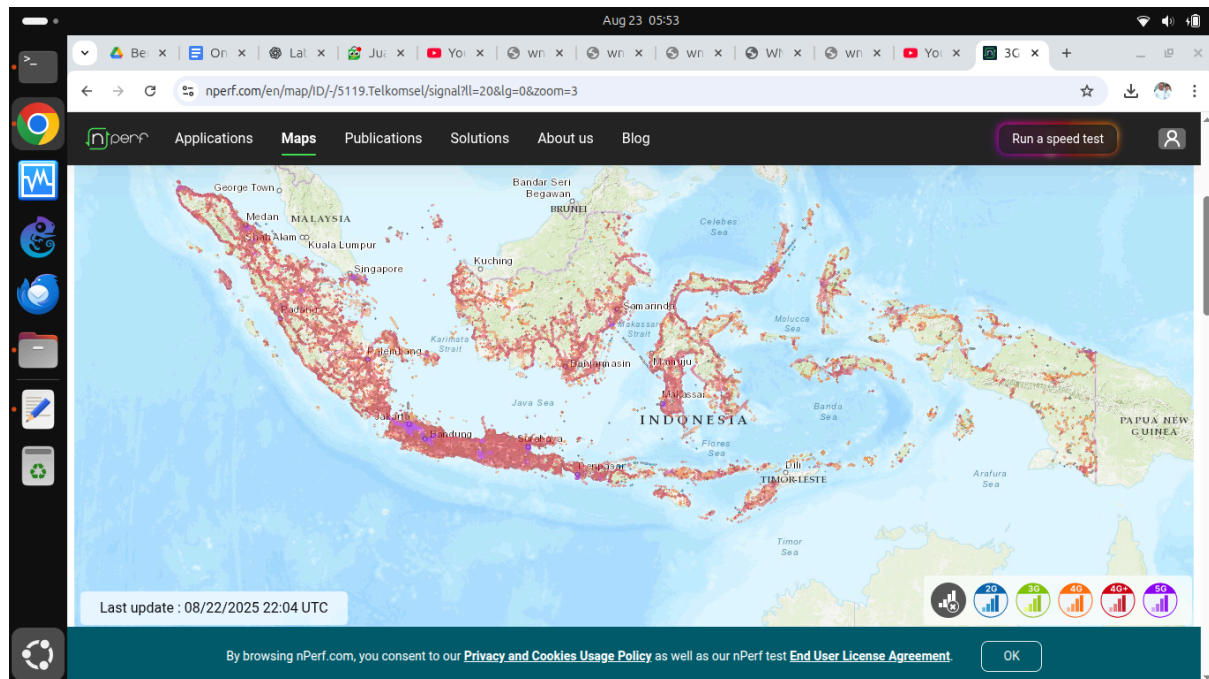
Wilayah **perbatasan dan pulau terluar** merupakan area yang paling rentan menghadapi blank spot. Contohnya perbatasan Kalimantan dengan Malaysia, wilayah Papua pedalaman, hingga pulau-pulau kecil di Maluku dan Nusa Tenggara. Kondisi geografis seperti pegunungan terjal, hutan lebat, dan jarak antarpulau yang jauh membuat **biaya logistik dan infrastruktur** meningkat drastis.

Berikut ilustrasi sederhana perbandingan biaya:

Wilayah	Estimasi Biaya Pembangunan BTS	Catatan Kondisi
Jawa (akses mudah)	Rp800 juta	Infrastruktur dasar sudah tersedia
Papua pedalaman	Rp2 – 3 miliar	Transportasi sulit, pasokan listrik terbatas
Pulau kecil	Rp1,5 – 2 miliar	Harus gunakan renewable energy (panel surya)

Tabel ini menunjukkan bahwa **peta tantangan biaya** tidak merata. Artinya, strategi pembangunan infrastruktur digital harus mempertimbangkan faktor geografis dan sosial-ekonomi lokal.

Peta Cakupan Sinyal Telkomsel di Indonesia



Screenshot dari **nPerf** yang ditampilkan memperlihatkan distribusi cakupan sinyal Telkomsel di seluruh wilayah Indonesia. Area berwarna merah hingga ungu menunjukkan variasi kekuatan sinyal (2G, 3G, 4G, hingga 4G+). Dari peta tersebut terlihat jelas bahwa **wilayah perkotaan di Jawa, Sumatera bagian timur, serta sebagian Kalimantan dan Sulawesi memiliki cakupan sinyal yang cukup merata**. Namun, semakin menuju ke arah timur Indonesia, terutama di wilayah Maluku, Nusa Tenggara, dan Papua, distribusi sinyal semakin menipis.

Highlight Blank Spot

1. Jawa dan Sumatera

Hampir seluruh Pulau Jawa dan jalur utama Sumatera telah tercakup sinyal 4G. Blank spot hanya muncul di daerah pegunungan (misalnya di Jawa Barat bagian selatan dan Bukit Barisan di Sumatera).

2. Kalimantan dan Sulawesi

Cakupan relatif baik di kota besar seperti Samarinda, Balikpapan, Makassar, dan Manado. Namun, wilayah pedalaman Kalimantan Tengah dan Sulawesi Tengah masih terlihat **banyak area putih** (blank spot) tanpa sinyal.

3. Maluku dan Nusa Tenggara

Sinyal terkonsentrasi di kota-kota pesisir, sedangkan pulau kecil dan daerah perbukitan masih banyak yang kosong. Contoh nyata adalah Maluku Tengah, Maluku

Barat Daya, serta NTT bagian timur.

4. Papua

Merupakan wilayah dengan blank spot terluas. Hanya beberapa kota besar seperti Jayapura, Timika, dan Merauke yang memiliki cakupan sinyal memadai. Pedalaman Papua hampir seluruhnya masih belum terjangkau, ditandai dengan **peta kosong tanpa warna**.

Implikasi terhadap Kesenjangan Digital

Peta distribusi sinyal menunjukkan bahwa **kesenjangan digital di Indonesia memiliki dimensi spasial**. Wilayah barat seperti Jawa, Sumatera, dan sebagian Kalimantan relatif lebih maju karena infrastruktur telekomunikasi sudah cukup memadai. Sebaliknya, **wilayah timur**—terutama NTT, Maluku, dan Papua—masih jauh tertinggal. Dengan kata lain, **semakin jauh dari pusat pertumbuhan ekonomi nasional, semakin besar kemungkinan masyarakat menghadapi blank spot**.

Dari sisi biaya, terdapat disparitas yang cukup besar. Jika pembangunan satu BTS di wilayah mudah dijangkau (misalnya Jawa) membutuhkan sekitar **Rp800 juta**, maka di Papua dengan kondisi geografis yang sulit biaya tersebut bisa melonjak hingga **Rp3 miliar per BTS**. Hal ini menandakan adanya **tantangan finansial yang sangat berat** untuk mewujudkan pemerataan akses digital di seluruh nusantara.

Kesenjangan Digital (Digital Divide)

Fenomena **digital divide** di Indonesia tidak hanya soal ketersediaan jaringan, tetapi juga menyangkut **akses, keterampilan, dan pemanfaatan teknologi**. Masyarakat di kota-kota besar umumnya telah menikmati layanan **4G bahkan 5G** dengan tarif terjangkau. Sebaliknya, banyak desa masih bergantung pada jaringan **2G** atau bahkan belum memiliki sinyal sama sekali.

Perbedaan ini tampak nyata dalam aspek biaya internet. Sebagai contoh:

- Di kota besar seperti Jakarta, masyarakat hanya perlu membayar sekitar **Rp50.000 untuk kuota 15 GB**.
- Sementara di daerah terpencil, meskipun ada sinyal, mereka harus mengeluarkan sekitar **Rp100.000 untuk kuota jauh lebih kecil, hanya sekitar 5 GB**.

Kondisi ini semakin mempertegas **jurang pemisah digital**. Masyarakat perkotaan terus melaju dengan teknologi, sedangkan masyarakat di wilayah terpencil kian tertinggal. Jika tidak segera diatasi, ketimpangan ini berpotensi menimbulkan **ketidakadilan sosial dan ekonomi digital** di masa depan.

Tantangan Teknis Akses Internet di Wilayah 3T

Wilayah **3T (Terdepan, Terpencil, dan Tertinggal)** di Indonesia menghadapi tantangan besar dalam pembangunan akses internet. Tidak hanya dari sisi biaya, tetapi juga faktor alam dan ketersediaan sumber daya pendukung. Tiga hambatan utama yang sering menjadi sorotan adalah **topografi & geografi, keterbatasan pasokan listrik, serta biaya infrastruktur yang tinggi.**

Topografi & Geografi

Kondisi alam Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau, pegunungan terjal, dan hutan tropis lebat menjadikan pembangunan infrastruktur jaringan jauh lebih rumit dibandingkan dengan negara yang didominasi daratan luas. Misalnya, pemasangan kabel **fiber optik** di wilayah pegunungan Papua membutuhkan biaya tambahan untuk **pengerjaan terowongan dan jembatan kabel**. Sebuah proyek kabel optik sepanjang 1 km di daerah dataran rendah dapat menghabiskan biaya sekitar **Rp 200 juta**, sedangkan di daerah pegunungan biaya bisa meningkat hingga **Rp 500 juta per km**. Perbedaan ini memperlihatkan bahwa **topografi ekstrim secara langsung menaikkan ongkos pembangunan jaringan.**

Keterbatasan Pasokan Listrik

Selain hambatan geografis, masalah serius lainnya adalah **pasokan energi listrik**. Banyak desa di wilayah 3T hanya menikmati listrik 6–12 jam per hari, bahkan ada yang masih mengandalkan genset dengan biaya bahan bakar yang tinggi. Padahal, perangkat jaringan seperti BTS atau server *edge* membutuhkan suplai listrik stabil selama 24 jam.

Contoh sederhana: sebuah BTS kecil mengonsumsi listrik sekitar **1.500 watt per jam**. Jika diasumsikan tarif listrik setara Rp1.500 per kWh, maka kebutuhan biaya listrik per bulan bisa mencapai **Rp1,6 juta** hanya untuk satu BTS. Jika di daerah tersebut tidak ada pasokan listrik PLN, biaya operasional bisa melonjak dua kali lipat karena penggunaan solar diesel. Kondisi ini menjadikan **energi terbarukan (solar panel atau mikrohidro)** sebagai opsi penting, meski investasi awal juga cukup tinggi.

Biaya Infrastruktur Tinggi

Tantangan terbesar yang selalu menjadi kendala adalah **biaya pembangunan dan operasional infrastruktur jaringan**. Harga perangkat keras jaringan di wilayah perkotaan relatif stabil, tetapi ketika dikirim ke wilayah terpencil, ongkos logistik bisa mencapai **30–50% dari total biaya proyek.**

Sebagai ilustrasi:

- Biaya pembangunan 1 unit BTS di Jawa: **Rp800 juta – Rp1 miliar.**
- Biaya pembangunan 1 unit BTS di Papua: **Rp2 – Rp3 miliar** (tergantung lokasi dan transportasi).

Tabel berikut memperlihatkan perbandingan kasar:

Lokasi	Estimasi Biaya BTS	Faktor Penyebab Tinggi Biaya
Jawa (akses mudah)	Rp800 juta – Rp1 M	Infrastruktur dasar tersedia
NTT & Maluku	Rp1,5 – Rp2,5 M	Transportasi laut & energi terbatas
Papua pedalaman	Rp2 – Rp3 M	Medan ekstrim, logistik udara

Dari data ini, jelas bahwa **biaya pembangunan internet di wilayah 3T bisa tiga kali lipat lebih mahal dibanding wilayah perkotaan.**

Ketiga tantangan ini menunjukkan bahwa pembangunan internet di wilayah 3T bukan sekadar persoalan teknologi, tetapi juga berkaitan dengan **faktor alam, ketersediaan energi, dan beban finansial yang besar.** Untuk mengatasi masalah tersebut, dibutuhkan **strategi multi-teknologi (fiber, satelit, dan seluler)** serta pemanfaatan energi terbarukan agar akses digital di seluruh pelosok negeri dapat diwujudkan secara berkelanjutan.

Tujuan dan Ruang Lingkup Buku

Buku “**Jaringan Harapan: Membangun Akses Digital di Wilayah Terpencil**” disusun dengan tujuan untuk memberikan pemahaman menyeluruh mengenai **tantangan, teknologi, serta strategi implementasi jaringan internet di wilayah 3T (Terdepan, Terpencil, dan Tertinggal)**. Dengan menyajikan analisis yang komprehensif, buku ini diharapkan dapat menjadi referensi praktis bagi **akademisi, praktisi, pembuat kebijakan, dan pelaku industri telekomunikasi** dalam merumuskan solusi yang tepat guna mengurangi kesenjangan digital.

Secara khusus, buku ini memiliki tiga tujuan utama:

1. **Memberikan gambaran faktual** tentang kondisi *blank spot* di Indonesia, termasuk peta distribusi wilayah yang belum terjangkau sinyal.
2. **Menyajikan alternatif teknologi** mulai dari fiber optik, satelit, jaringan seluler, hingga *hybrid network*, beserta perhitungan biaya pembangunan dan operasional.
3. **Menawarkan model implementasi** yang dapat diaplikasikan di tingkat desa maupun regional, dengan menekankan keberlanjutan finansial dan pemanfaatan energi terbarukan.

Ruang Lingkup Buku

Ruang lingkup buku ini mencakup aspek **teknis, sosial, dan ekonomi** dalam pembangunan akses internet di wilayah terpencil. Pada aspek teknis, pembahasan akan mencakup infrastruktur inti (*backbone*) seperti **fiber optik**, solusi akses berbasis **4G/5G**, hingga pemanfaatan **satelit LEO**. Selain itu, konsep *internet offline* juga diuraikan sebagai solusi sementara di daerah yang benar-benar sulit dijangkau.

Dari sisi sosial, buku ini menekankan pentingnya **partisipasi komunitas lokal**. Contoh nyata adalah inisiatif *RT/RW-net* di Indonesia yang mampu menyediakan akses internet murah berbasis gotong-royong. Sementara dari sisi ekonomi, analisis biaya pembangunan infrastruktur menjadi fokus, misalnya:

- Pembangunan **BTS di Jawa** rata-rata membutuhkan **Rp800 juta – Rp1 miliar**.
- Di Papua, biaya serupa dapat melonjak hingga **Rp2 – Rp3 miliar** karena faktor geografi dan logistik.

Tabel ringkas:

Wilayah	Biaya Estimasi Pembangunan BTS	Faktor Penentu Biaya
Jawa	Rp800 juta – Rp1 M	Infrastruktur dasar tersedia
NTT & Maluku	Rp1,5 – Rp2,5 M	Transportasi laut, listrik terbatas
Papua pedalaman	Rp2 – Rp3 M	Medan ekstrim, logistik udara

Dengan cakupan tersebut, buku ini tidak hanya membahas **tantangan teknis dan biaya**, tetapi juga membuka wawasan mengenai bagaimana solusi jaringan dapat dirancang secara **adaptif, inklusif, dan berkelanjutan**. Harapannya, pembaca dapat melihat bahwa pembangunan akses internet di wilayah 3T bukan sekadar proyek infrastruktur, melainkan sebuah **upaya strategis untuk mewujudkan pemerataan digital** di seluruh Indonesia.

BAB 2: Teknologi Akses Jaringan

Fiber Optik: Backbone Utama

Dalam sistem telekomunikasi modern, **fiber optik** berperan sebagai **backbone utama** yang menghubungkan pusat-pusat jaringan, baik di dalam kota maupun antar wilayah. Keunggulan fiber dibandingkan media transmisi lain terletak pada **kapasitas besar, latensi rendah, dan ketahanan terhadap interferensi elektromagnetik**. Karena alasan inilah, fiber menjadi pilihan utama dalam pembangunan jaringan **backhaul** dan **interkoneksi antar kota/kabupaten**.

Teknologi Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

Agar fiber lebih efisien, digunakan teknologi **Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)**. Dengan DWDM, **satu helai serat optik dapat membawa ratusan channel cahaya dengan panjang gelombang berbeda**. Setiap *channel* mampu mentransmisikan data hingga 100 Gbps, bahkan dalam implementasi terkini dapat mencapai 400 Gbps. Artinya, satu jalur fiber bisa menampung trafik **puluhan terabit per detik**.

Bagi Indonesia yang memiliki ribuan kilometer jaringan optik bawah laut, DWDM menjadi **strategi vital** karena **meningkatkan kapasitas tanpa menambah kabel baru**. Hal ini dapat menekan biaya jangka panjang, meskipun investasi awal perangkat DWDM relatif tinggi (sekitar Rp3–5 miliar per perangkat *multiplexer* di *landing station*).

Penggunaan Kabel Fiber Drop Wire untuk Solusi Murah di Pedesaan

Di tingkat distribusi lokal, khususnya pedesaan, penggunaan **fiber drop wire** menjadi solusi murah dan praktis. Kabel jenis ini ringan, fleksibel, dan bisa dipasang di tiang listrik atau tiang bambu tanpa membutuhkan konstruksi besar. Harga kabel drop relatif terjangkau, yakni sekitar **Rp200.000 – Rp300.000 per km**.



Sebagai ilustrasi, jika sebuah desa memiliki 100 rumah yang tersebar dalam radius 2 km, maka kebutuhan kabel drop hanya sekitar 4–5 km. Dengan asumsi harga Rp250.000 per km, total biaya kabel hanya sekitar **Rp1 juta – Rp1,25 juta**, jauh lebih murah dibandingkan penggelaran kabel distribusi utama. **Hal ini membuat fiber drop wire layak dipertimbangkan sebagai solusi *last-mile* di desa.**

Biaya Deployment & Maintenance di Daerah Terpencil

Meskipun fiber sangat efisien dalam kapasitas, **biaya penggelaran dan perawatan (deployment & maintenance)** di wilayah terpencil menjadi tantangan serius.

- **Dataran rendah / akses mudah:** Rp150–200 juta per km
- **Wilayah pegunungan / hutan:** Rp400–500 juta per km
- **Jalur laut (submarine cable):** Rp800 juta – Rp1 miliar per km

Selain itu, perawatan fiber di daerah terpencil sering terkendala logistik. Misalnya, **gangguan kabel bawah laut** akibat jangkar kapal atau gempa dapat membutuhkan waktu perbaikan berminggu-minggu dengan biaya mencapai miliaran rupiah, karena harus menggunakan kapal khusus yang jarang tersedia di kawasan regional.

Teknologi FTTH untuk End User

Pada sisi pengguna akhir, teknologi **Fiber to the Home (FTTH)** menjadi standar emas akses broadband modern. Dengan FTTH, **koneksi internet langsung masuk ke rumah pelanggan melalui kabel fiber**, memberikan kualitas layanan stabil dengan kecepatan hingga ratusan Mbps bahkan Gbps.



Menariknya, saat ini perangkat FTTH semakin murah dan mudah didapat. Perangkat seperti **Optical Network Terminal (ONT)**, *optical splitter*, dan *distribution box* kini tersedia luas di toko daring. Harga ONT dengan port gigabit hanya sekitar **Rp400.000 – Rp600.000**, sedangkan *optical splitter* 1:8 bisa diperoleh dengan harga Rp150.000–Rp200.000. Bahkan paket kabel drop fiber untuk pemasangan mandiri bisa dibeli bebas. **Hal ini membuka peluang bagi komunitas lokal atau operator kecil untuk membangun jaringan skala desa dengan biaya lebih rendah.**

Penutup

Dengan demikian, **fiber optik tetap menjadi infrastruktur inti** dalam pengembangan jaringan internet nasional. Teknologi DWDM memberikan solusi kapasitas besar untuk backbone, sementara **fiber drop wire dan FTTH** menawarkan jalur murah untuk distribusi di pedesaan. Tantangan biaya deployment dan maintenance memang tinggi, terutama di

daerah terpencil, namun dengan pemanfaatan teknologi yang semakin terjangkau, **pemerataan akses internet berbasis fiber bukanlah hal mustahil.**

Evolusi Teknologi Seluler: 4G menuju 5G

Teknologi **4G** ditetapkan oleh *ITU IMT-Advanced* sebagai generasi keempat jaringan seluler pita lebar. Ia mendukung aplikasi seperti *mobile web*, VoIP, *mobile TV HD*, hingga *video conferencing*. Namun sejak 2010, definisi 4G diperluas mencakup **LTE, WiMAX, dan HSPA+**. Selanjutnya, **5G** hadir dengan kapabilitas *low-band, mid-band, hingga mmWave*, memungkinkan *throughput* hingga **20 Gbps**, *latency* <1 ms, dan dukungan *Massive IoT*.

Di Indonesia, uji coba lapangan di Pemerintah kota **Tangerang Selatan** menunjukkan capaian **800 Mbps**, yang menegaskan kesiapan jaringan untuk menghadirkan *ultra-fast mobile broadband*.

Arsitektur Radio Base Station

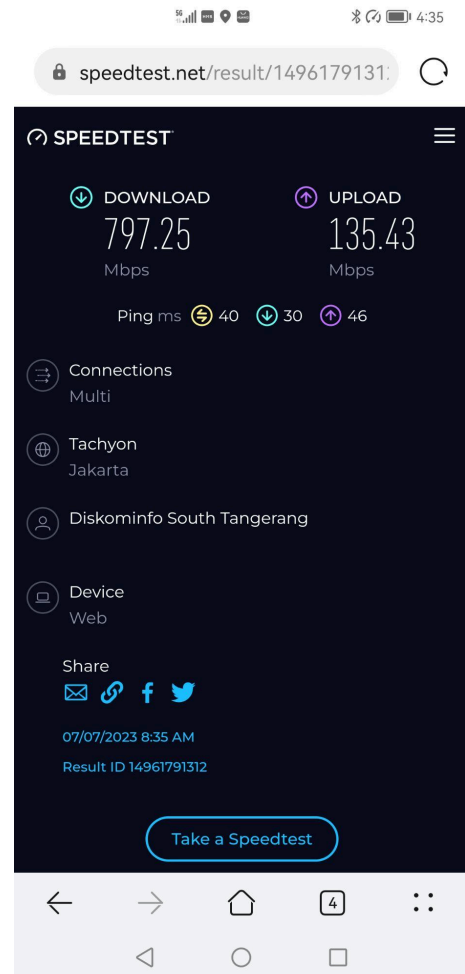
Sebuah **base station** terbagi atas komponen analog (antena) dan digital (prosesor). Dalam 5G, konsep **CUPS (Control and User Plane Separation)** mempertegas pemisahan antara bidang kontrol dan data. Base station berperan dalam:

- Menyediakan *bearer service* (saluran data) untuk setiap perangkat pengguna.
- Membuat konektivitas *control plane* guna otentikasi, registrasi, dan mobilitas.
- Membangun *user plane tunnel* untuk lalu lintas data.
- Meneruskan paket data melalui protokol seperti **SCTP/IP** (kontrol) dan **GTP/UDP/IP** (data).

Struktur ini memudahkan integrasi antara *RAN* dengan *core network* sekaligus mengoptimalkan *handover* antar perangkat.

Optimasi Spektrum: Low-Band vs Mid-Band

Spektrum merupakan aset kritis. **Low-band (600–900 MHz)** memberikan cakupan luas dan penetrasi gedung yang baik, cocok untuk layanan dasar dan IoT. **Mid-band (3,3–3,8 GHz)** adalah tulang punggung 5G karena seimbang antara kapasitas dan jangkauan. Sementara **mmWave (>24 GHz)** unggul dalam kapasitas ekstim namun terbatas jangkauan.



Tabel ringkas perbandingan:

Spektrum	Kelebihan	Keterbatasan	Use Case
Low-band	Jangkauan luas, penetrasi gedung	Kapasitas terbatas	IoT, cakupan dasar
Mid-band	Balance jangkauan & kapasitas	Butuh infrastruktur padat	Broadband, MBB
mmWave	Kecepatan sangat tinggi	Jangkauan pendek	VR/AR, hotspot kota

Open RAN sebagai Solusi Ekonomis

Open RAN membuka ekosistem agar operator tidak terikat vendor tunggal. Dengan memisahkan fungsi perangkat keras dan perangkat lunak, operator dapat menggabungkan *small cell*, *distributed unit (DU)*, dan *centralized unit (CU)* dari vendor berbeda. Manfaat utamanya:

- **Biaya lebih rendah** karena tidak ada *vendor lock-in*.
- **Fleksibilitas** deployment, terutama untuk jaringan privat.
- **Skalabilitas**: mudah menambah kapasitas sesuai permintaan.

Contoh solusi: *Comba Open Platform Small Cell* untuk indoor coverage, atau *Amarisoft* yang memungkinkan integrasi penuh dengan perangkat x86 generik.

Peran Open Source & SDR

Gerakan *open technology* mendorong penggunaan perangkat lunak sumber terbuka seperti **open5gs**, yang menyediakan *core network* 4G/5G berbasis software. Selain itu, **SDR (Software Defined Radio)** seperti *LimeSDR* atau *USRP* memungkinkan eksperimen langsung pada frekuensi tinggi, termasuk mmWave.

Kombinasi *open source* dan SDR memberi peluang akademisi maupun praktisi untuk melakukan eksperimen murah, membangun prototipe, bahkan mengembangkan operator mini 5G seperti dibahas dalam buku “**Membuat Operator Seluler 5G Sendiri**” (Andi Publisher).

Satelit VSAT, HTS, dan LEO Constellations

Teknologi satelit telah menjadi salah satu solusi utama untuk menjangkau wilayah rural dan terpencil yang sulit dijangkau jaringan fiber optik atau *fixed wireless*. **VSAT (Very Small Aperture Terminal)** sudah lama digunakan di Indonesia, khususnya untuk kebutuhan komunikasi di daerah pelosok. Kelebihannya adalah ketersediaan infrastruktur yang relatif matang, namun biayanya cukup tinggi per Mbps dan latensinya juga besar karena mayoritas berbasis satelit **GEO**.

Perkembangan berikutnya adalah **HTS (High Throughput Satellite)** yang memanfaatkan teknologi *spot beam* sehingga kapasitas bisa ditingkatkan berkali lipat dibanding satelit GEO konvensional. Biaya bandwidth lebih murah dibanding VSAT lama, meskipun masih terbatas oleh karakteristik orbit **geostasioner**.

Kini, muncul generasi baru yaitu **LEO Constellations**, seperti *Starlink* dan *OneWeb*. Dengan ribuan satelit di orbit rendah (LEO), teknologi ini memberikan latensi rendah, kecepatan tinggi, serta fleksibilitas jangkauan, yang sangat relevan untuk negara kepulauan seperti Indonesia.

Perbandingan GEO, MEO, dan LEO

Perbedaan orbit satelit sangat menentukan kualitas layanan. Tabel berikut merangkum perbandingan utama:

Jenis Orbit	Ketinggian	Contoh	Kelebihan	Kekurangan
GEO (Geostationary Earth Orbit)	±36.000 km	Palapa, BRIsat	Cakupan luas, stabil	Latensi tinggi (500–600 ms), biaya tinggi
MEO (Medium Earth Orbit)	±8.000–20.000 km	O3b mPOWER	Latensi menengah (100–150 ms), kapasitas besar	Cakupan tidak seluas GEO, butuh lebih banyak satelit
LEO (Low Earth Orbit)	±500–2.000 km	Starlink, OneWeb	Latensi rendah (20–40 ms), kecepatan tinggi, fleksibel	Biaya investasi konstelasi tinggi, umur satelit relatif singkat

Bagi kebutuhan **rural Indonesia**, LEO menjadi sangat menjanjikan karena dapat menghadirkan kualitas internet mendekati fiber, namun tantangan utamanya adalah model bisnis dan biaya perangkat terminal pengguna.

Starlink, OneWeb, dan Inisiatif Lokal

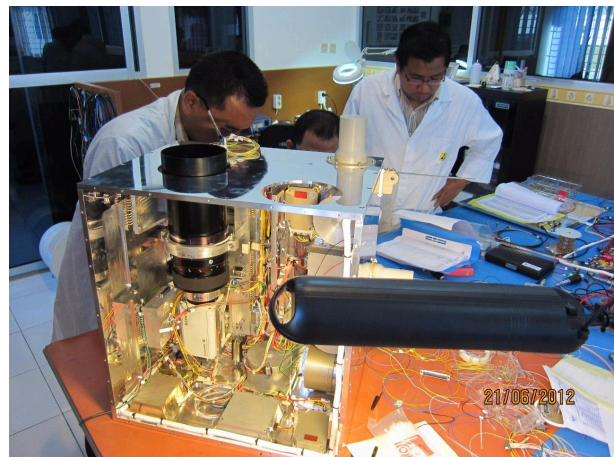
Starlink menjadi pionir komersialisasi LEO dengan layanan yang relatif mudah diakses masyarakat. **OneWeb** lebih fokus pada kolaborasi dengan operator lokal dan penyedia layanan bisnis. Kedua konstelasi ini memberikan gambaran bahwa *ekonomi satelit* kini bukan hanya domain negara besar, tetapi juga membuka peluang kolaborasi lintas negara.

Namun, Indonesia tidak tinggal diam. Dalam sejarahnya, melalui **LAPAN** dan kolaborasi dengan universitas serta mitra internasional (TUBerlin, DLR), Indonesia pernah membangun **microsatellite** seperti LAPAN-A1, A2, dan A3. Upaya ini menunjukkan bahwa penguasaan teknologi satelit bukan hal mustahil, meskipun menghadapi keterbatasan anggaran dan sumber daya manusia.

Inisiatif LEO Sat Indonesia

Mengacu pada semangat kemandirian teknologi yang dikemukakan tokoh-tokoh seperti **Muhammad Ichsan (YDØRH/SK)**—*“Jika kita hanya membangun, kita akan bergantung terus pada asing. Kita harus bisa bikin sendiri”*—inisiatif LEO Indonesia seharusnya diarahkan pada:

1. **Kolaborasi dengan universitas dan startup teknologi** untuk membangun *nanosatellite* dan *microsatellite* yang lebih murah.
2. **Kemitraan publik-privat** dengan operator telekomunikasi nasional agar satelit LEO dapat diintegrasikan dengan jaringan terestrial dan fiber.
3. **Skema bisnis berbasis biaya (cost-based deployment)**, dimana subsidi, USO (Universal Service Obligation), dan model koperasi desa dapat mendukung adopsi terminal pengguna.
4. **Eksperimen teknologi lokal**, seperti *hybrid LEO–terrestrial* atau memanfaatkan jaringan komunitas, agar tercipta model yang sesuai dengan kondisi geografis dan sosial-ekonomi Indonesia.



Dengan arah ini, **inisiatif LEO Indonesia** tidak hanya menjadi proyek teknologi, tetapi juga strategi **kedaulatan digital** yang memperkuat posisi bangsa di era konstelasi satelit global.

Wireless Point-to-Point & Point-to-Multipoint

Wireless Point-to-Point (PtP) adalah teknologi yang menghubungkan **dua lokasi secara langsung** menggunakan gelombang radio. Implementasi ini sangat efektif untuk **backhaul jarak jauh**—misalnya, menghubungkan desa terpencil ke jaringan utama. PtP membutuhkan *line-of-sight* (LOS) yang jelas, dan kualitas sinyal dipengaruhi oleh kondisi atmosfer, hujan, atau halangan topografi.



Sebaliknya, **Point-to-Multipoint (PtMP)** memungkinkan satu titik pusat (base station) melayani **banyak titik klien sekaligus**. Teknologi ini lebih cocok untuk penyebaran akses internet di area pemukiman, sekolah, atau pusat komunitas desa. Dengan PtMP, biaya per pengguna lebih rendah dibanding PtP, meskipun kapasitas bandwidth per klien lebih terbatas.

Model	Kelebihan	Kekurangan	Cocok untuk
PtP	Bandwidth tinggi, stabil, cocok untuk backhaul	Biaya tinggi per link, perlu LOS	Backbone desa–kota
PtMP	Ekonomis, melayani banyak klien, skalabel	Bandwidth terbagi, rawan interferensi	Distribusi akses di desa

Teknologi Microwave & Millimeter Wave

Microwave (1–30 GHz) telah lama digunakan untuk komunikasi jarak menengah hingga jauh. Teknologi ini relatif matang, dengan biaya perangkat yang semakin menurun. Gelombangnya cukup mampu menembus kondisi atmosfer biasa, tetapi masih sensitif terhadap hujan deras (*rain fade*).

Millimeter wave (mmWave) (30–300 GHz) menawarkan kapasitas sangat besar (*multi-gigabit per second*), cocok untuk aplikasi *backhaul* berkapasitas tinggi. Namun, jangkauannya pendek dan sangat sensitif terhadap hujan, kabut, atau vegetasi. Oleh karena itu, mmWave lebih ideal untuk **konektivitas jarak dekat antar menara dalam satu desa atau kecamatan**.

Bagi wilayah rural Indonesia, kombinasi microwave untuk backhaul jarak menengah dan mmWave untuk distribusi lokal menjadi solusi **cost-effective** yang realistis. Pendekatan ini mengurangi ketergantungan pada fiber optik yang mahal untuk digelar di daerah bergunung atau berpulau.

Mesh Network untuk Skala Desa

Mesh network menawarkan pendekatan berbeda: setiap node (router atau access point) berfungsi sebagai pemancar sekaligus penerus (*relay*) bagi node lain. Dengan demikian, jaringan dapat berkembang secara organik—setiap rumah, sekolah, atau balai desa bisa menjadi bagian dari jaringan tanpa perlu menara besar di setiap titik.

Keunggulan mesh adalah **redundansi**: jika satu jalur terputus, data akan mencari jalur alternatif. Model ini sangat cocok untuk komunitas desa dengan **partisipasi masyarakat tinggi**. Misalnya, komunitas bisa secara swadaya membangun *mesh Wi-Fi* berbasis perangkat murah dan open-source.

Namun, mesh juga memiliki keterbatasan, terutama pada **latensi yang meningkat** ketika data melewati banyak *hops*. Oleh karena itu, mesh biasanya dipakai untuk **last-mile connectivity** (akses pengguna), sementara koneksi ke internet utama tetap menggunakan PtP atau PtMP.

Penutup

Bagi deployment internet berbasis biaya di desa, strategi optimal adalah menggabungkan:

- **PtP microwave** untuk backbone desa–kota,
- **PtMP** untuk distribusi akses lokal,
- **mmWave** untuk koneksi kapasitas tinggi jarak dekat,
- **mesh network** untuk memperluas cakupan ke rumah-rumah secara partisipatif.

Dengan kombinasi ini, infrastruktur desa dapat dibangun secara **bertahap, murah, namun tetap andal**, selaras dengan semangat *cost-based deployment* dan pemberdayaan komunitas.

Hybrid Network

Hybrid Network: Integrasi Multi-Teknologi

Hybrid network merupakan pendekatan strategis untuk menjawab tantangan *blank spot* internet di wilayah rural. Alih-alih hanya mengandalkan satu teknologi, model ini mengkombinasikan **fiber optik**, **satelit**, dan **jaringan seluler** dalam satu arsitektur terpadu. Pendekatan ini relevan di Indonesia yang memiliki geografi kompleks: pegunungan, pulau kecil, hingga kawasan perbatasan.

- **Fiber optik** tetap menjadi *backbone utama* karena menawarkan kapasitas besar dan latensi rendah. Namun, biaya deployment tinggi di daerah bergunung atau laut dalam menjadikannya sulit dijadikan solusi tunggal.
- **Satelit (VSAT, HTS, LEO)** melengkapi fiber dengan jangkauan luas, terutama di daerah terpencil atau kepulauan yang tidak ekonomis digelar kabel. Kehadiran konstelasi LEO memperkecil latensi dan meningkatkan kualitas layanan.
- **Seluler (4G/5G dengan Open RAN)** menjadi solusi akses yang fleksibel bagi masyarakat, dengan biaya terminal rendah dan jangkauan yang dapat diperluas melalui *small cell* atau *community network*.

Dengan menggabungkan tiga teknologi ini, **biaya deployment dapat dioptimalkan**, karena setiap teknologi digunakan sesuai konteks geografis dan kebutuhan kapasitas.

Arsitektur Multi-Access Edge

Dalam *hybrid network*, salah satu kunci keberhasilan adalah penerapan **multi-access edge computing (MEC)**. Arsitektur ini menempatkan fungsi komputasi, caching, dan kontrol jaringan **lebih dekat ke pengguna**.

Beberapa prinsip penting:

1. **Edge caching**: konten populer (video pendidikan, layanan kesehatan digital) disimpan di *edge server* di desa, sehingga mengurangi beban backhaul fiber atau satelit.
2. **Multi-access**: MEC mendukung berbagai akses – fiber, seluler, maupun satelit – secara simultan, dengan mekanisme *seamless handover* bagi pengguna.
Reliabilitas tinggi: jika akses fiber terganggu, trafik dapat dialihkan ke satelit atau seluler, sehingga layanan tetap berjalan.
3. **Efisiensi biaya**: trafik lokal (intra-desa) tidak perlu keluar ke jaringan nasional, sehingga menurunkan biaya OPEX.

Ilustrasi Peran Teknologi dalam Hybrid Network

Lapisan	Teknologi Utama	Fungsi
Backbone	Fiber Optik (DWDM, Submarine Cable)	Jalur utama kapasitas besar antar kota/provinsi
Mid-Mile	Satelit GEO/HTS/LEO + Microwave	Menghubungkan backbone ke desa atau pulau terpencil
Last-Mile	Seluler 4G/5G, Wi-Fi komunitas, Mesh	Distribusi akses langsung ke pengguna
Edge Layer	MEC, caching lokal, microserver	Optimasi trafik, latency rendah, hemat biaya

Penutup

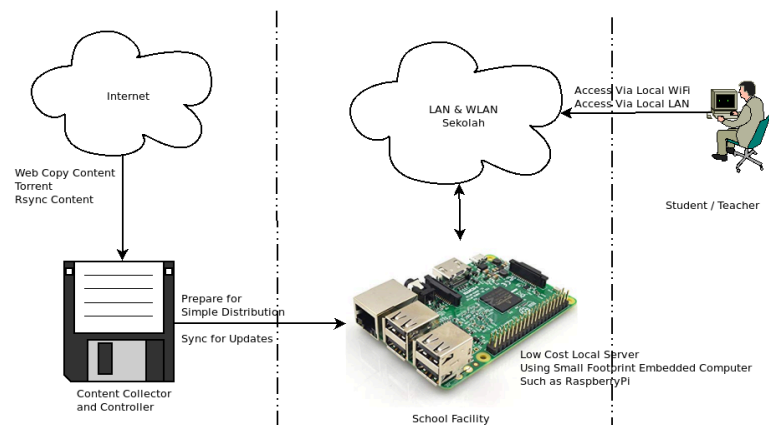
Hybrid network bukan sekadar solusi teknis, melainkan strategi *cost-based deployment* yang relevan untuk Indonesia. Dengan mengintegrasikan **fiber, satelit, dan seluler**, serta mengoptimalkan layanan melalui **multi-access edge**, kita dapat menghadirkan internet yang **murah, handal, dan inklusif** bagi desa-desa terpencil.

Pendekatan ini sekaligus menjawab disparitas biaya yang signifikan antara wilayah Jawa, NTT, dan Papua, serta mendukung agenda **pemerataan digital nasional**.

BAB 3: Internet Offline

Konsep Internet Offline di Wilayah Blank Spot

Internet Offline merupakan pendekatan untuk menghadirkan *akses digital* tanpa harus bergantung pada koneksi Internet langsung. Konsep ini berkembang sebagai solusi bagi **wilayah blank spot**, yaitu daerah 3T (*Terdepan, Terpencil, Tertinggal*) yang tidak memiliki sinyal seluler maupun akses broadband. Prinsip dasarnya adalah **mengcopy konten dari Internet** (misalnya *Wikipedia*, e-learning, video pembelajaran, perpustakaan digital) lalu menyimpannya di **server lokal**. Server ini kemudian dihubungkan ke jaringan *LAN* atau *Wi-Fi lokal* sehingga siswa, guru, atau masyarakat dapat mengakses materi seolah-olah mereka sedang online.



Dalam implementasinya, Internet Offline tidak membutuhkan pulsa maupun kuota karena **akses dilakukan secara lokal**. Hal ini membuat proses belajar-mengajar, e-learning, hingga ujian daring dapat berlangsung walaupun tanpa koneksi ke jaringan global. Dengan demikian, Internet Offline tidak hanya menjawab kebutuhan pendidikan di daerah rural, tetapi juga menjadi strategi untuk mengurangi **digital divide** di Indonesia.

Use Case Internet Offline

Beberapa **use case utama** Internet Offline di wilayah blank spot antara lain:

- **Pendidikan:** sekolah dapat mengoperasikan *server e-learning* berbasis *Moodle* berisi materi ajar, *bank soal*, dan video pembelajaran.
- **Perpustakaan Digital:** harddisk atau *flashdisk* berisi ribuan ebook, modul PDF, dan video dapat diakses melalui jaringan lokal.
- **Pelatihan Masyarakat:** pusat belajar desa dapat menyediakan konten keterampilan (misalnya pertanian, perikanan, UMKM) secara offline.
- **Kesehatan:** informasi medis dasar, SOP penanganan darurat, dan literatur kesehatan bisa disediakan tanpa Internet.

Untuk mempermudah adopsi, server dapat dibuat dengan berbagai bentuk: **PC bekas**, **Raspberry Pi**, hingga **USB flashdisk bootable**. Misalnya, *MoodleBox* atau server berbasis Kiwix dapat menghadirkan Wikipedia Offline dengan biaya rendah.

Delay Tolerant Network (DTN)

Di wilayah yang **sama sekali tidak ada sinyal** dan mustahil membangun infrastruktur broadband, solusi alternatif adalah **Delay Tolerant Network (DTN)**. Konsep DTN mengandalkan *store-and-forward*, yaitu pesan/konten disimpan di perangkat sementara (*data mule*) kemudian diteruskan saat ada koneksi. Dengan cara ini, distribusi data tetap berjalan meski koneksi intermiten atau hanya sesekali tersedia.

Contoh penerapan DTN di rural area:

Skema	Deskripsi
Data Mule	Motor/kapal/pejalan membawa perangkat penyimpan data (USB, Raspberry Pi, smartphone) yang secara otomatis melakukan sinkronisasi data ketika singgah ke server desa.
Intermittent Sync	Konten e-learning diperbarui mingguan saat ada koneksi satelit atau saat perangkat dibawa ke kota terdekat.
Hybrid DTN + Offline Server	Konten dasar tetap ada di server lokal; update berkala didistribusikan via DTN.

Dengan pendekatan ini, **akses digital tidak lagi bergantung pada konektivitas real-time**, melainkan pada mekanisme sinkronisasi berkala. Model ini sangat relevan untuk **wilayah pedalaman Papua, pulau kecil di Maluku, dan desa perbatasan** yang sulit dijangkau infrastruktur telekomunikasi.

Penutup

Konsep Internet Offline dan DTN menegaskan bahwa **akses informasi tidak harus identik dengan koneksi Internet langsung**. Untuk konteks Indonesia, terutama di wilayah 3T, pendekatan ini:

- Mengurangi ketergantungan pada **CAPEX/OPEX tinggi** untuk BTS dan satelit.
- Memberikan **solusi murah dan praktis** bagi sekolah serta komunitas desa.
- Menjadi strategi *bridging* menuju konektivitas penuh ketika infrastruktur sudah memungkinkan.

Dengan demikian, **Internet Offline dan DTN adalah fondasi penting dalam strategi cost-based deployment** untuk mempersempit digital divide di Indonesia.

-
-

Content Caching & Content Delivery Offline

Dalam konteks **wilayah blank spot** atau daerah rural dengan keterbatasan konektivitas, konsep **content caching & content delivery offline** menjadi strategi penting untuk menjembatani kesenjangan digital. Prinsipnya adalah **menyimpan konten digital populer secara lokal** sehingga dapat diakses berulang kali tanpa harus melakukan *download* terus-menerus dari Internet. Hal ini sangat relevan dalam kerangka *cost-based deployment*, karena secara langsung menurunkan beban **OPEX** (biaya operasional) sekaligus meningkatkan pengalaman pengguna.

Local Caching Server di Desa/Sekolah

Salah satu implementasi praktis adalah dengan menempatkan **local caching server** atau *edge server* di **desa, sekolah, atau pusat komunitas**. Server ini berfungsi sebagai repositori lokal untuk konten-konten esensial:

- **Pendidikan:** *offline Wikipedia, e-learning Moodle, video pembelajaran.*
- **Kesehatan:** SOP medis, literatur dasar, aplikasi konsultasi offline.
- **Ekonomi lokal:** modul pelatihan UMKM, tutorial pertanian/perikanan, informasi harga pasar.

Keunggulan dari model ini adalah **akses cepat dan hemat biaya**, karena pengguna cukup terhubung ke jaringan Wi-Fi lokal tanpa perlu kuota data. Selain itu, server dapat dibuat dengan perangkat murah seperti **Raspberry Pi, mini-PC, atau server bekas** yang dioptimalkan untuk konsumsi energi rendah.

Mekanisme Pembaruan Berkala

Tantangan utama dari *offline caching* adalah **pembaruan konten**. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme *sync* yang efisien. Ada dua pendekatan yang umum digunakan:

1. **Sync via Satelit:** konten baru (misalnya update kurikulum, aplikasi e-learning, atau video kesehatan) dapat dikirim secara *bulk* melalui kanal satelit berkapasitas terbatas.
2. **Sync via Mobile Unit:** pembaruan dilakukan dengan membawa media penyimpanan (harddisk, flashdisk, atau laptop sinkronisasi) dari lokasi yang memiliki akses Internet ke server desa. Konsep ini mirip dengan **Delay Tolerant Network (DTN)** di mana data ditransfer dengan metode *store-and-forward*.

Tabel ringkas mekanisme:

Metode Sync	Kelebihan	Kekurangan
Satelit (HTS/LEO)	Otomatis, tidak tergantung transportasi	Biaya bandwidth tinggi, terbatas kapasitas
Mobile Unit (harddisk, USB, laptop)	Murah, bisa membawa data besar (ratusan GB)	Manual, tergantung logistik

Penutup

Dengan kombinasi **local caching server** dan **mekanisme sinkronisasi berkala**, akses informasi tetap bisa berlangsung meski tanpa koneksi Internet permanen. Pendekatan ini memberikan **efisiensi biaya, kecepatan akses, dan ketahanan layanan**. Bagi desa dan sekolah di wilayah rural, strategi ini bukan hanya solusi sementara, tetapi juga **fondasi untuk ekosistem digital mandiri** yang dapat tumbuh seiring hadirnya konektivitas penuh di masa depan.

AI ChatGPT Offline untuk Wilayah Rural

Salah satu tantangan utama di **wilayah blank spot** adalah bagaimana masyarakat tetap dapat mengakses layanan berbasis **kecerdasan buatan (AI)** tanpa koneksi Internet. Konsep **AI ChatGPT Offline** hadir sebagai solusi: sebuah model bahasa lokal yang bisa berjalan di komputer sederhana, bahkan tanpa GPU. Dengan pendekatan ini, masyarakat desa tetap bisa menggunakan *chatbot* untuk pendidikan, kesehatan, maupun administrasi, walau tidak ada koneksi langsung ke Internet global.

Menggunakan Small Language Model (SLM)

Alih-alih menggunakan *Large Language Model* (LLM) yang membutuhkan server besar, pendekatan **Small Language Model (SLM)** lebih realistis. Model berukuran **1–7 miliar parameter** (contoh: *LLaMA 2 7B*, *Mistral 7B*, *GPT4All-J*) dapat berjalan di **komputer biasa berbasis CPU** dengan RAM 8–16 GB. Walau kemampuan lebih terbatas dibanding LLM besar, model ini cukup untuk menjawab pertanyaan sehari-hari, terutama bila dikombinasikan dengan basis data lokal (*retrieval*).

Menggunakan Komputer tanpa GPU (CPU Only)

Banyak sekolah atau desa tidak memiliki komputer dengan GPU khusus. Untungnya, model SLM dapat dijalankan dengan **optimisasi kuantisasi** (contoh: *GGML*, *GPTQ*). Dengan cara ini, konsumsi RAM dan prosesor ditekan sehingga model bisa berjalan cukup lancar hanya dengan CPU.

Contoh perintah instalasi menggunakan *llama.cpp* di Linux:

```
# Clone repo llama.cpp
git clone https://github.com/ggerganov/llama.cpp
cd llama.cpp

# Kompilasi
make

# Menjalankan model kuantisasi (misal 7B Q4)
./main -m ./models/llama-7b-q4.bin -p "Halo, jelaskan tentang pertanian berkelanjutan."
```

Dengan skema ini, *edge server desa* dapat menampung model AI yang bisa diakses seluruh pengguna melalui jaringan lokal.

Menggunakan RAG (Retrieval-Augmented Generation) Sederhana

Untuk meningkatkan relevansi jawaban, **RAG (Retrieval-Augmented Generation)** dapat digunakan. Prinsipnya, model AI tidak hanya mengandalkan pengetahuannya, tetapi juga **menarik dokumen dari server lokal** (misalnya materi kurikulum, modul kesehatan desa, SOP administrasi).

Contoh pipeline sederhana dengan Python (*langchain* + *Chroma*):

```

from langchain.vectorstores import Chroma
from langchain.embeddings import HuggingFaceEmbeddings
from langchain.llms import GPT4All
from langchain.chains import RetrievalQA

# Load embeddings dan database lokal
embeddings = HuggingFaceEmbeddings()
db = Chroma(persist_directory="./db", embedding_function=embeddings)

# Load model offline
llm = GPT4All(model="./models/ggml-gpt4all-j-v1.3-groovy.bin")

# Buat chain RAG
qa = RetrievalQA.from_chain_type(llm=llm, retriever=db.as_retriever())
print(qa.run("Apa saja teknik bertani organik yang cocok di lahan kering?"))

```

Dengan pendekatan ini, jawaban AI selalu mengacu pada **konten lokal desa/sekolah**, bukan hanya memori model.

Menggunakan Wi-Fi Lokal

Agar bermanfaat bagi seluruh komunitas, **AI Offline perlu dibagikan melalui jaringan Wi-Fi lokal**. Cukup dengan *router murah* atau *access point* yang menghubungkan komputer server ke masyarakat sekitar. Guru, siswa, atau warga dapat mengakses chatbot lewat **browser di smartphone** tanpa harus terhubung Internet.

Contoh sederhana dengan *Flask server*:

```

from flask import Flask, request, jsonify
app = Flask(__name__)

@app.route("/chat", methods=["POST"])
def chat():
    user_input = request.json["message"]
    response = llm(user_input) # Panggil model lokal
    return jsonify({"reply": response})

app.run(host="0.0.0.0", port=5000)

```

Dengan ini, warga cukup membuka **http://server_desa:5000** di Wi-Fi desa untuk mengakses ChatGPT Offline.

Penutup

Pendekatan **AI ChatGPT Offline berbasis SLM** memungkinkan pemanfaatan AI di desa tanpa perlu infrastruktur mahal. Kombinasi **CPU-only computing, RAG sederhana, dan distribusi via Wi-Fi lokal** menjadikan teknologi ini relevan bagi **akademisi, praktisi pendidikan, tenaga kesehatan, hingga komunitas desa**. Selain mengurangi biaya, model

ini juga memperkuat **kedaulatan digital lokal**, karena data dan pengetahuan tersimpan di komunitas itu sendiri.

Teknologi Perangkat Pendukung untuk Internet Desa

Dalam strategi **cost-based deployment** di wilayah rural, perangkat pendukung memegang peranan penting. Infrastruktur utama seperti fiber atau satelit membutuhkan lapisan *supporting devices* agar layanan benar-benar bisa diakses masyarakat. Oleh karena itu, fokus pada perangkat murah, hemat energi, dan interoperable menjadi kunci sukses implementasi di lapangan.

Raspberry Pi / Microserver Offline Box

Raspberry Pi sering digunakan sebagai *offline box* atau *microserver* karena ukurannya kecil, konsumsi daya rendah, dan ekosistem perangkat lunaknya luas. Namun, tren saat ini menunjukkan bahwa **harga PC bekas semakin murah**, bahkan sering kali **lebih rendah daripada Raspberry Pi** dengan spesifikasi serupa.

- **Kelebihan Raspberry Pi:** portabilitas, konsumsi daya rendah (5–10 watt), dukungan komunitas luas.
- **Kelebihan PC bekas:** performa lebih tinggi (CPU lebih kuat, RAM lebih besar), biaya lebih rendah, mudah didapatkan di pasar lokal.
- **Implikasi cost-based:** PC bekas lebih *preferred* untuk deployment skala desa karena rasio **harga/performansi** lebih baik, meskipun konsumsi dayanya sedikit lebih tinggi.

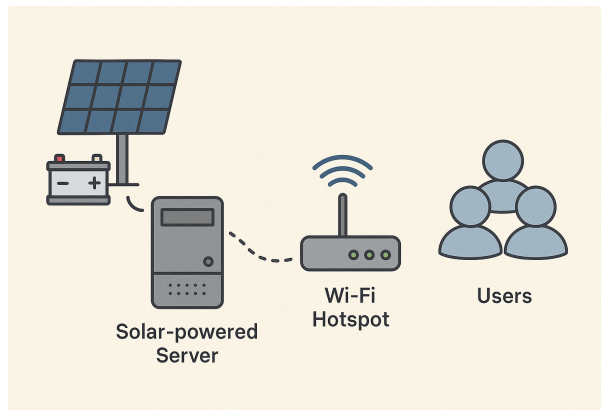
Tabel perbandingan sederhana:

Perangkat	Harga rata-rata	Konsumsi Daya	Performa CPU/RAM	Cocok untuk
Raspberry Pi 4	Rp1,2–1,5 juta	5–10 W	4 core / 4GB RAM	Server ringan (cache, edukasi)
PC bekas (Core i5 gen-4)	Rp700 ribu–1 juta	40–60 W	4 core / 8GB RAM	Server offline, AI SLM, caching besar

Solar-powered Server & Wi-Fi Hotspot

Wilayah rural sering menghadapi masalah **listrik terbatas**. Solusi yang kini banyak diadopsi adalah **server bertenaga surya** yang digabung dengan **Wi-Fi hotspot lokal**. Dengan sistem ini:

- Server (PC bekas atau Raspberry Pi) ditempatkan di sekolah/desa.
- Panel surya + baterai menyediakan suplai daya sepanjang hari.
- Router Wi-Fi murah digunakan untuk menyebarkan layanan ke pengguna (guru, siswa, warga).



Dengan konfigurasi ini, Wi-Fi lokal desa bisa langsung berfungsi sebagai pintu masuk ke **server offline**.

Protokol Interoperabilitas

Agar sistem **tidak terkunci vendor tertentu**, perangkat pendukung sebaiknya mendukung **protokol interoperabilitas**. Beberapa prinsip penting:

- **HTTP/HTTPS standar** → agar aplikasi web offline bisa diakses dari semua perangkat (HP, laptop, tablet).
- **SMB/NFS** → untuk *file sharing* antar perangkat.
- **RADIUS / WPA2-Enterprise** → untuk otentikasi skala lebih besar.
- **MQTT / REST API** → untuk integrasi IoT desa (sensor pertanian, kesehatan).

Dengan adopsi protokol terbuka, komunitas desa tidak terikat vendor dan dapat mengembangkan jaringan sesuai kebutuhan lokal.

Penutup

Pemilihan **PC bekas sebagai server**, integrasi dengan **panel surya & hotspot Wi-Fi**, serta dukungan **protokol terbuka** menjadikan teknologi perangkat pendukung ini **murah, tangguh, dan berkelanjutan**. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *cost-based deployment*, yaitu memaksimalkan sumber daya lokal untuk menghadirkan internet desa yang **inklusif, mandiri, dan hemat biaya**.

BAB 4: Implementasi & Arsitektur

Desain Jaringan Internet Desa

Membangun **jaringan internet desa** memerlukan pendekatan yang murah, tangguh, dan mudah dipelihara oleh komunitas lokal. Salah satu model yang banyak digunakan adalah **topologi mesh** yang dipadukan dengan **relay point** untuk memperluas jangkauan. Dengan *mesh network*, setiap node tidak hanya menjadi penerima, tetapi juga bertindak sebagai penerus (*relay*) bagi node lain. Hal ini membuat jaringan dapat tumbuh organik seiring bertambahnya pengguna tanpa membutuhkan infrastruktur mahal.

Topologi Mesh & Relay Point

Pada **topologi mesh**, perangkat router atau *access point* saling terhubung dan membentuk jalur alternatif. Jika satu node mati, data dapat dialihkan melalui jalur lain, sehingga **jaringan lebih resilien**. Untuk desa yang memiliki hambatan geografis seperti perbukitan atau hutan, **relay point** dapat ditempatkan di menara, gedung sekolah, atau balai desa untuk memperkuat sinyal dan memperluas jangkauan.

Elemen	Fungsi
Node Mesh	Router komunitas yang terhubung antar rumah/gedung
Relay Point	Titik penguat sinyal di lokasi strategis (tower, sekolah, balai desa)
Gateway	Koneksi utama ke Internet (via fiber, satelit, atau microwave)

Wi-Fi Komunitas Berbasis OpenWRT

Untuk menekan biaya dan memastikan keterbukaan teknologi, banyak jaringan desa menggunakan **Wi-Fi komunitas berbasis OpenWRT**. *OpenWRT* adalah sistem operasi open-source untuk router yang mendukung **fitur lanjutan** seperti *mesh routing* (*B.A.T.M.A.N.*, *OLSR*), manajemen bandwidth, hingga captive portal untuk autentikasi pengguna.

Contoh instalasi paket mesh di OpenWRT (menggunakan protokol B.A.T.M.A.N.):

```
# Update dan install paket mesh routing
opkg update
opkg install kmod-batman-adv batctl

# Tambahkan interface mesh
uci set network.mesh0=interface
uci set network.mesh0.proto='batadv'
uci set network.mesh0.mesh='bat0'
uci set network.mesh0.ifname='wlan0'
```

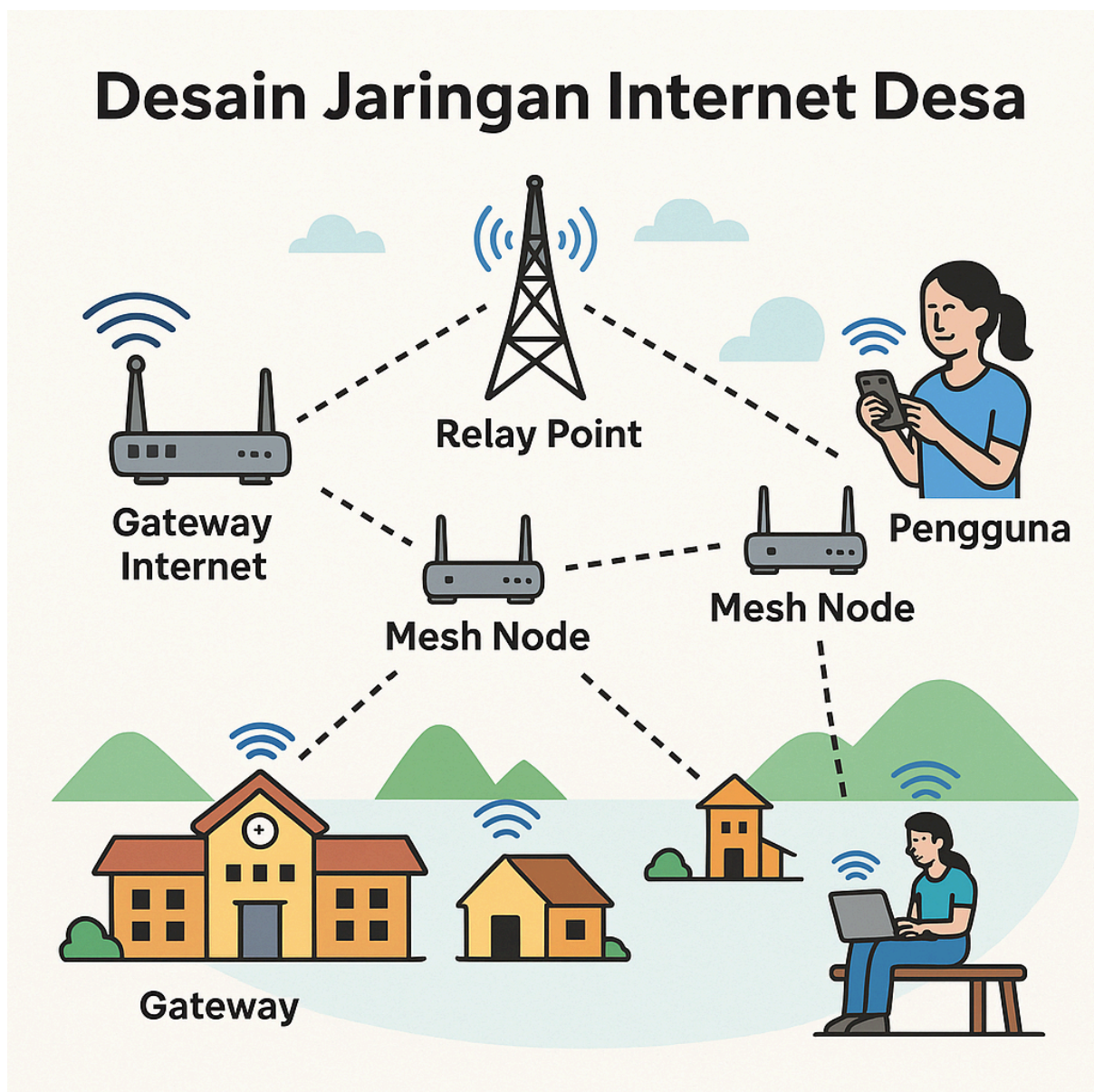
```
uci commit network
/etc/init.d/network restart
```

Dengan konfigurasi ini, router-router desa akan otomatis bergabung dalam **mesh network**, sehingga menciptakan jaringan kolaboratif antar rumah, sekolah, dan fasilitas publik.

Infografis: Skema Jaringan Internet Desa

Mari bayangkan desain jaringan desa sebagai ilustrasi sederhana:

- **Gateway Internet** (via fiber/satelit/microwave) →
- **Relay Point** di lokasi strategis →
- **Mesh Node** di rumah/sekolah →
- **Pengguna** terhubung melalui Wi-Fi komunitas.



Energi Terbarukan untuk Infrastruktur Internet Desa

Salah satu tantangan utama dalam **deployment infrastruktur internet di wilayah rural** adalah **ketersediaan listrik**. Banyak desa terpencil atau daerah 3T (*terdepan, terpencil, tertinggal*) tidak terhubung ke jaringan PLN atau mengalami suplai listrik yang tidak stabil. Dalam konteks ini, pemanfaatan **energi terbarukan** menjadi solusi strategis, baik untuk menekan **OPEX** (biaya operasional) maupun untuk menjamin keberlanjutan layanan.

Solar Panel, Micro-Hydro, dan Hybrid Energy

- **Solar Panel (Energi Surya):** menjadi solusi paling populer karena mudah dipasang, relatif murah, dan cocok untuk daerah tropis seperti Indonesia dengan intensitas matahari tinggi sepanjang tahun. Panel surya dapat dikombinasikan dengan baterai untuk menyediakan suplai daya malam hari.
- **Micro-Hydro (Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Kecil):** cocok di wilayah pegunungan atau desa yang memiliki aliran sungai konstan. Sistem ini dapat memberikan daya stabil 24 jam tanpa memerlukan baterai besar.
- **Hybrid Energy:** kombinasi **solar + micro-hydro + baterai** memungkinkan optimasi biaya dan reliabilitas. Jika musim hujan intensitas matahari rendah, micro-hydro bisa menjadi sumber utama, sedangkan pada musim kemarau energi surya mendominasi.

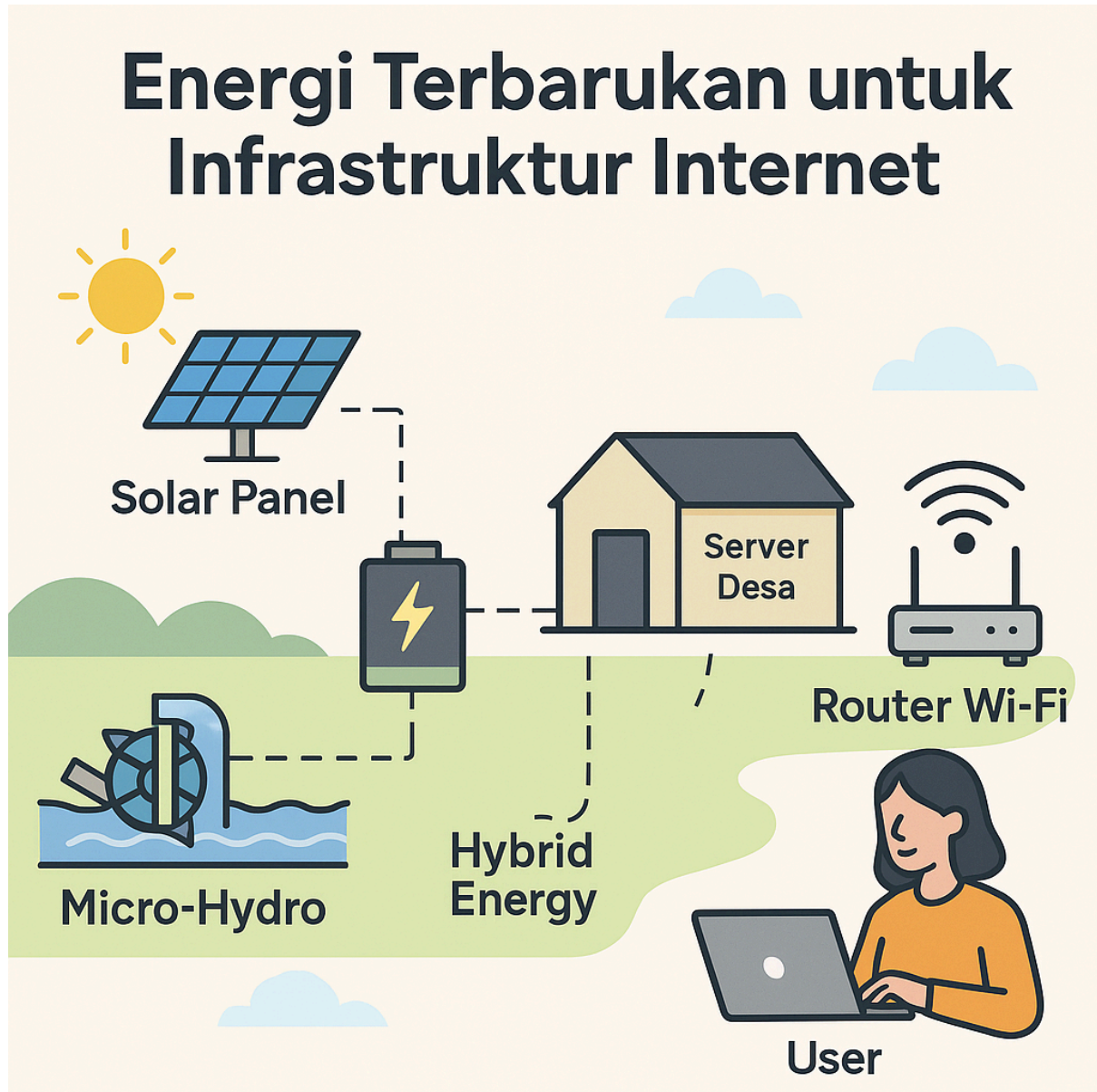
Sumber Energi	Kelebihan	Keterbatasan	Cocok untuk
Solar Panel	Instalasi mudah, modular, harga makin murah	Butuh baterai besar untuk malam hari	Pulau kecil, pedesaan dengan radiasi matahari tinggi
Micro-Hydro	Stabil 24 jam, biaya operasional rendah	Perlu sungai/air mengalir konstan	Daerah pegunungan, desa aliran sungai
Hybrid	Redundansi tinggi, hemat biaya jangka panjang	Investasi awal lebih besar	Desa dengan variasi musim dan geografi beragam

Optimasi Konsumsi Daya Perangkat Jaringan

Selain ketersediaan energi, **optimasi konsumsi daya** perangkat jaringan menjadi faktor penting. Beberapa strategi antara lain:

1. **Menggunakan router dan access point hemat energi** (5–10 W), terutama berbasis *OpenWRT* atau perangkat komunitas.
2. **PC bekas hemat daya** (40–60 W) untuk server lokal lebih efisien dibanding server skala besar.

3. **Mode hemat energi** pada perangkat Wi-Fi (sleep mode, duty cycling) untuk mengurangi konsumsi saat tidak digunakan.
4. **Arsitektur edge caching**, sehingga trafik lokal tidak perlu keluar ke internet global, menurunkan kebutuhan daya untuk backhaul.



Penutup

Dengan memanfaatkan **energi terbarukan** seperti solar panel, micro-hydro, dan hybrid system, desa dapat membangun infrastruktur internet yang **mandiri, murah, dan berkelanjutan**. Dikombinasikan dengan **optimasi konsumsi daya perangkat jaringan**, strategi ini menjadikan internet desa lebih **andal dan hemat biaya**, sekaligus mendukung agenda keberlanjutan (*sustainable development*).

Sistem Monitoring & Maintenance Jarak Jauh

Dalam konteks *cost-based deployment* internet di wilayah rural, keberadaan **sistem monitoring dan maintenance jarak jauh** menjadi krusial. Keterbatasan teknisi di lapangan, akses geografis yang sulit, serta biaya operasional tinggi menjadikan **solusi berbasis cloud** dan **akses satelit** sebagai strategi utama. Sistem ini memungkinkan operator untuk tetap menjaga **kualitas layanan** meski lokasi penyediaan infrastruktur sangat terpencil.

Sebuah **network monitoring system berbasis cloud** mampu mengumpulkan data secara real-time dari perangkat jaringan (router, access point, VSAT, base station) tanpa harus menunggu teknisi onsite. Informasi yang dikumpulkan mencakup performa bandwidth, status perangkat, penggunaan energi, hingga anomali trafik. Data ini tersimpan terpusat di *cloud platform*, sehingga bisa diakses oleh operator kapan pun dan di mana pun.

Remote Troubleshooting via Satelit

Salah satu tantangan utama di wilayah rural adalah **keterlambatan perbaikan (troubleshooting delay)** karena jarak dan medan yang sulit. Dengan memanfaatkan **satelit (LEO/MEO/GEO)**, operator dapat melakukan *remote troubleshooting* bahkan saat **backhaul terrestrial** (fiber atau microwave) tidak tersedia.

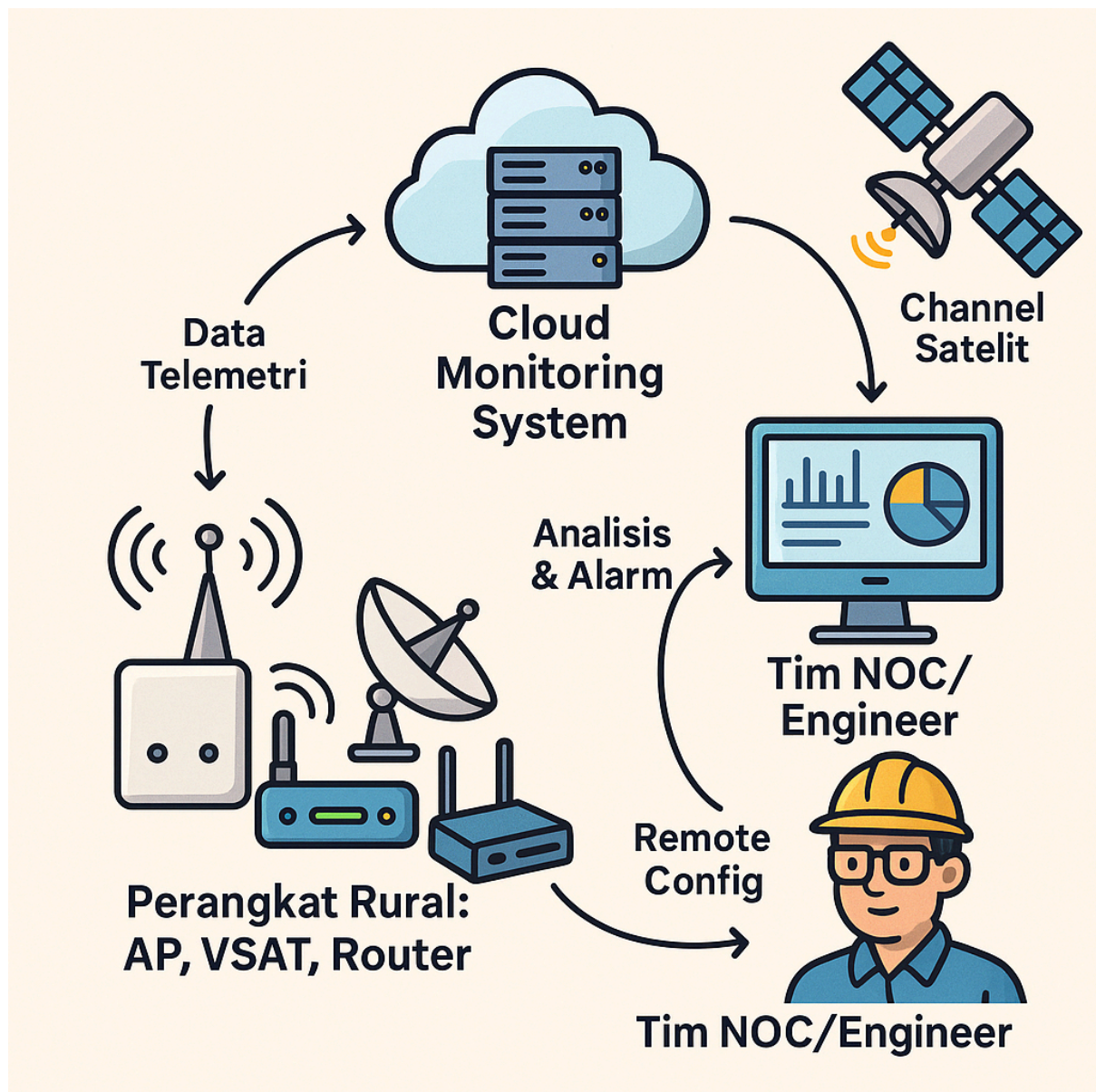
Contoh implementasi:

- **Konfigurasi ulang perangkat** (firmware update, reset parameter QoS) dilakukan secara jarak jauh.
 - **Isolasi masalah** melalui analisis log perangkat sebelum teknisi dikirim ke lapangan, sehingga biaya kunjungan fisik berkurang.
- Failover system** yang otomatis mengalihkan jalur komunikasi ke satelit jika jaringan utama terganggu.

Manfaat Utama

Aspek	Manfaat Monitoring Cloud & Remote Satelit
Efisiensi Biaya	Mengurangi kunjungan teknisi lapangan
Reliabilitas	Akses real-time ke status perangkat
Scalability	Mudah diperluas ke ratusan/ribuan AP
Keberlanjutan	Dukungan energi terbarukan + pemantauan

Infografis (Konsep Visual)



Penjelasan Infografis:

- Semua perangkat di rural area mengirim data ke **cloud monitoring system**.
- Operator mengakses **dashboard** untuk analisis performa.
- Jika ada gangguan, teknisi NOC dapat melakukan **remote config** melalui satelit.
- Dengan ini, proses *maintenance* tetap berlanjut tanpa menunggu kunjungan fisik.

Kesimpulan

Penerapan **sistem monitoring & maintenance jarak jauh** dengan pendekatan *cloud-based monitoring* dan *remote troubleshooting via satelit* adalah strategi yang **efektif, efisien, dan berkelanjutan** untuk deployment internet di wilayah rural. Selain menekan biaya, pendekatan ini meningkatkan keandalan jaringan serta mendukung inklusi digital di daerah dengan keterbatasan infrastruktur.

BAB 5: Studi Kasus & Uji Coba

Internet Desa / RT/RW-net berbasis komunitas

Model **Internet Desa atau RT/RW-net berbasis komunitas** merupakan salah satu contoh nyata penerapan prinsip *cost-based deployment* dalam menyediakan akses internet murah dan inklusif. Konsep ini lahir dari semangat gotong royong: masyarakat bersama-sama membangun dan mengelola jaringan internet secara mandiri dengan biaya yang jauh lebih rendah dibanding layanan komersial.

Dalam praktiknya, RT/RW-net dibangun menggunakan **perangkat murah** seperti router berbasis *OpenWRT*, PC bekas sebagai server lokal, serta link nirkabel *point-to-point* untuk menghubungkan rumah, sekolah, atau kantor desa. Model ini juga fleksibel: bisa terhubung ke Internet melalui **backhaul fiber, VSAT, atau bahkan berbagi koneksi seluler 4G/5G**.

Prinsip Utama RT/RW-net Komunitas

1. **Kepemilikan bersama** → dikelola koperasi/kelompok masyarakat.
2. **Biaya gotong royong** → setiap anggota iuran sesuai kapasitas.
3. **Teknologi terbuka** → router OpenWRT, server caching, dan perangkat second-hand.
4. **Manfaat sosial** → mendukung sekolah, UMKM desa, dan layanan publik.

Komponen	Fungsi Utama
Backhaul Internet	Jalur utama (fiber, satelit, seluler)
Router / AP OpenWRT	Distribusi Wi-Fi ke rumah/RT
Relay Point	Perluasan jangkauan antar RT
Server Lokal (PC bekas)	Content caching, offline apps, e-learning
Manajemen komunitas	Pengelolaan iuran, operasional, troubleshooting

Kelebihan Internet Desa Komunitas

- **Murah & inklusif**: biaya akses ditekan, lebih terjangkau bagi masyarakat rural.
- **Mandiri & partisipatif**: masyarakat terlibat dalam operasional.
- **Berorientasi sosial**: akses internet diarahkan untuk pendidikan, kesehatan, dan ekonomi.
- **Adaptif**: bisa berkembang dari skala RT ke RW hingga seluruh desa.

Narasi Visual

Bayangkan sebuah desa kecil:

- Dari **backhaul** (fiber/satelit/4G), sinyal masuk ke **server desa**.
- Dari server, **relay point** di balai desa dan sekolah memancarkan Wi-Fi.
- Rumah-rumah warga menggunakan **router OpenWRT** yang membentuk **mesh network**.
- Masyarakat mengakses Internet, e-learning, hingga layanan desa melalui **Wi-Fi komunitas murah**.

Studi Kasus Internasional

Untuk memahami bagaimana **strategi cost-based deployment** dapat diterapkan di berbagai konteks, menarik untuk melihat **studi kasus internasional**. Beberapa negara berkembang menghadapi tantangan serupa dengan Indonesia dalam mengatasi *digital divide* di wilayah rural. Melalui pendekatan komunitas, teknologi murah, dan kolaborasi publik-swasta, mereka berhasil menciptakan model yang relevan dan berkelanjutan.

India: Community Wi-Fi & Jio BharatNet

India melalui program **BharatNet** menargetkan penghubungan **250.000 desa** dengan internet berkecepatan tinggi. Salah satu strategi adalah **Community Wi-Fi**, di mana titik akses Wi-Fi ditempatkan di desa, dikelola oleh *village-level entrepreneur (VLE)*. Model ini memungkinkan warga membeli akses dengan biaya sangat rendah, atau bahkan mendapatkan akses gratis untuk layanan publik.

Perusahaan swasta seperti **Jio** turut mendukung dengan menyediakan perangkat murah dan paket data komunitas. Kombinasi **subsidi pemerintah + partisipasi swasta + pengelolaan lokal** menjadikan BharatNet salah satu program konektivitas rural terbesar di dunia.

Kenya: Internet Offline untuk Pendidikan

Di Kenya, banyak sekolah di pedesaan tidak memiliki akses internet stabil. Solusinya adalah **internet offline untuk pendidikan**, yaitu dengan menghadirkan **server lokal berisi konten edukasi** seperti *offline Wikipedia, Khan Academy Lite, dan materi kurikulum nasional*. Siswa dapat mengakses materi ini melalui jaringan Wi-Fi lokal tanpa membutuhkan koneksi ke internet global.

Pendekatan ini menurunkan biaya operasional secara signifikan dan tetap mendukung agenda **literasi digital**. Model ini juga membuktikan bahwa **akses informasi tidak selalu identik dengan akses internet penuh**, sebuah pelajaran penting untuk deployment di wilayah 3T.

Brasil: Mesh Network di Amazon

Wilayah Amazon di Brasil memiliki tantangan geografis yang mirip dengan Indonesia: hutan lebat, sungai besar, dan desa terpencil. Untuk menjawab kebutuhan komunikasi, komunitas setempat mengembangkan **mesh network** berbasis Wi-Fi dengan router murah dan perangkat open-source.

Setiap desa membangun node mesh yang saling terhubung melalui relay point, menciptakan **jaringan kolaboratif** yang mampu menjangkau ratusan kilometer. Model ini memperlihatkan bagaimana **teknologi murah dan gotong royong komunitas** bisa mengatasi keterbatasan infrastruktur tradisional.

Ringkasan Perbandingan

Negara	Model Utama	Keunggulan	Pelajaran bagi Indonesia
India	BharatNet + Community Wi-Fi	Subsidi + swasta + komunitas	Skema hibrida mempercepat adopsi
Kenya	Internet offline untuk sekolah	Murah, hemat bandwidth	Pendidikan bisa jalan tanpa internet penuh
Brasil	Mesh network Amazon	Jaringan kolaboratif komunitas	Mesh cocok untuk geografi terpencil

Penutup

Dari ketiga kasus di atas, terlihat pola yang sama: **kolaborasi antara pemerintah, swasta, dan komunitas** menjadi kunci sukses. Selain itu, pemanfaatan **teknologi murah dan terbuka** memungkinkan keberlanjutan tanpa beban biaya tinggi. Bagi Indonesia, mengadopsi pendekatan serupa dapat mempercepat pemerataan internet di wilayah rural dengan cara yang **efisien, mandiri, dan inklusif**.

BAB 6: Tantangan & Prospek Teknologi

Isu Regulasi, Spektrum, dan Lisensi

Dalam implementasi **internet berbasis biaya di wilayah rural**, isu **regulasi, spektrum, dan lisensi** menjadi faktor yang sangat menentukan. Akses internet bukan hanya persoalan teknis dan biaya, tetapi juga terkait kerangka hukum serta kebijakan negara. Tanpa regulasi yang adaptif, inisiatif inovatif berbasis komunitas akan sulit berkembang.

Regulasi: Antara Perlindungan dan Inovasi

Pemerintah biasanya memiliki peran ganda: di satu sisi menjaga **keamanan dan kualitas layanan**, di sisi lain membuka ruang bagi **inovasi lokal**. Namun, terlalu ketatnya regulasi dapat menghambat komunitas desa yang ingin membangun jaringan berbasis swadaya. Contoh nyata adalah **perizinan pembangunan menara** yang sering memakan waktu panjang atau biaya tinggi, sehingga tidak sejalan dengan prinsip *cost-based deployment*.

Spektrum: Berlisensi vs Tidak Berlisensi

Spektrum frekuensi merupakan sumber daya terbatas dan sangat berharga. Secara umum, terbagi menjadi:

Jenis Spektrum	Karakteristik	Kelebihan	Keterbatasan
Berlisensi (4G/5G, Satelit GEO/LEO)	Dialokasikan khusus operator	Kualitas terjamin, proteksi interferensi	Biaya lisensi tinggi, dominasi operator besar
Tidak Berlisensi (Wi-Fi 2.4/5 GHz, TV White Space)	Terbuka untuk publik	Gratis, cocok untuk komunitas & inovasi lokal	Potensi interferensi lebih tinggi

Untuk konteks desa, **spektrum tidak berlisensi** seperti Wi-Fi dan **TV White Space** terbukti efektif dalam menekan biaya dan mendorong model jaringan komunitas.

Lisensi: Hambatan atau Fasilitator?

Lisensi penyelenggaraan telekomunikasi sering kali hanya dapat diakses oleh operator besar. Padahal, **komunitas kecil** yang ingin mengelola **RT/RW-net atau jaringan desa** juga membutuhkan legitimasi hukum agar bisa beroperasi secara berkelanjutan. Salah satu solusi adalah membuat **kategori lisensi mikro atau komunitas**, seperti yang sudah diterapkan di beberapa negara (contoh: *community network license* di Meksiko).

Penutup

Menghadapi isu regulasi, spektrum, dan lisensi, diperlukan **pendekatan seimbang**: pemerintah tetap menjaga ketertiban dan kualitas layanan, tetapi juga **memberi ruang bagi komunitas** untuk berinovasi dengan biaya rendah. Dengan begitu, strategi cost-based deployment di wilayah rural dapat berjalan tanpa terbebani hambatan birokrasi.

Keberlanjutan Finansial & Model Bisnis

Membangun **infrastruktur internet di wilayah rural** tidak cukup hanya pada tahap deployment awal; keberhasilan justru ditentukan oleh **keberlanjutan finansial**. Tanpa model bisnis yang solid, banyak proyek internet desa berakhir hanya sebagai pilot project yang tidak bertahan lama. Prinsip utama yang harus dipegang adalah bahwa setiap investasi—baik dari pemerintah, swasta, maupun komunitas—harus memiliki mekanisme pendanaan jangka panjang yang **berbasis biaya operasional realistis** dan **skema pendapatan berkelanjutan**.

Beberapa model bisnis yang umum digunakan dalam konteks *cost-based deployment*:

1. **Model Berbasis Iuran Komunitas** → setiap pengguna desa membayar kontribusi bulanan yang murah.
2. **Model Subsidi Silang** → usaha komersial (warung internet, UMKM desa) membayar lebih tinggi untuk mendukung akses gratis bagi sekolah atau fasilitas kesehatan.
3. **Model Publik-Privat (PPP)** → pemerintah menyediakan *backhaul* dan subsidi awal, sementara operator/komunitas mengelola distribusi terakhir (*last-mile*).
4. **Model Mikrofinansial** → cicilan perangkat (router, modem) melalui koperasi desa agar lebih terjangkau.

Tabel perbandingan sederhana:

Model	Keunggulan	Tantangan
Iuran Komunitas	Murah, partisipatif	Bergantung pada kesadaran kolektif
Subsidi Silang	Adil secara sosial	Perlu kontrol tarif & transparansi
Publik-Privat (PPP)	Berbasis infrastruktur kuat	Negosiasi regulasi & lisensi
Mikrofinansial (koperasi)	Akses perangkat merata	Risiko gagal bayar jika manajemen lemah

Isu Regulasi, Spektrum, dan Lisensi

Keberlanjutan finansial juga tidak bisa dilepaskan dari **isu regulasi dan spektrum**. Tanpa dukungan kebijakan yang memadai, komunitas lokal akan kesulitan mengoperasikan jaringan secara legal.

- **Spektrum berlisensi** (4G/5G, satelit) umumnya mahal, hanya dikuasai operator besar.
- **Spektrum tidak berlisensi** (Wi-Fi 2.4/5 GHz, TV White Space) lebih ramah bagi komunitas dan inovasi lokal.

- **Lisensi komunitas** seharusnya dikembangkan oleh pemerintah untuk memberi legitimasi pada RT/RW-net atau jaringan desa, agar bisa mengakses program subsidi maupun dana USO (*Universal Service Obligation*).

Dengan kata lain, keberlanjutan finansial hanya bisa tercapai jika aspek **teknis-ekonomi** didukung oleh aspek **regulasi-hukum**.

Penutup

Maka, kunci keberhasilan **internet desa berbasis biaya** adalah:

- **Skema finansial sederhana tetapi berkelanjutan** (iuran, koperasi, PPP).
Pemanfaatan spektrum tidak berlisensi untuk menekan biaya.
- **Kerangka regulasi yang inklusif** agar komunitas bisa beroperasi secara legal.

Jika ketiga elemen ini berjalan bersama, internet desa tidak hanya hadir sebagai proyek jangka pendek, tetapi menjadi **layanan publik yang berkelanjutan, inklusif, dan mandiri**.

Arah Masa Depan: 6G, Edge AI, dan Quantum Internet

Transformasi digital global sedang menuju fase baru dengan hadirnya **6G**, **Edge AI**, dan **Quantum Internet**. Ketiga konsep ini diyakini akan menjadi tulang punggung **masyarakat hiper-terhubung** (hyper-connected society), di mana kecepatan, latensi rendah, dan *intelligence on the edge* menjadi standar layanan.

6G: Lebih dari Sekadar Kecepatan

Jika 5G fokus pada *ultra-low latency* dan *massive IoT connectivity*, maka **6G** membawa konsep **holographic communications**, **tactile internet**, dan **terahertz spectrum**.

Kecepatan diproyeksikan mencapai **1 Tbps**, memungkinkan aplikasi seperti:

- Telemedicine berbasis hologram.
- Kendaraan otonom di desa terpencil.
- Sistem pertanian presisi dengan sensor real-time.

Namun, tantangan utamanya adalah **CAPEX yang tinggi** dan kebutuhan infrastruktur yang lebih padat. Oleh karena itu, integrasi **hybrid fiber-satelit-wireless** masih akan relevan di wilayah rural.

Edge AI: Kecerdasan di Ujung Jaringan

Konsep **Edge AI** menempatkan *artificial intelligence* langsung di perangkat lokal (edge server, router, bahkan sensor). Alih-alih semua data dikirim ke *cloud*, sebagian besar pemrosesan dilakukan di dekat sumber data.

Keunggulan:

1. **Mengurangi latensi** → penting untuk *real-time monitoring* di sektor pertanian & kesehatan.
Hemat bandwidth → data besar tidak perlu dikirim seluruhnya ke pusat.
2. **Privasi lebih baik** → data sensitif tetap di lokal.

Untuk konteks desa, Edge AI bisa diterapkan dalam **sistem prediksi cuaca lokal**, **analisis kesehatan komunitas**, atau **smart irrigation**.

Quantum Internet: Masa Depan Keamanan Digital

Sementara masih dalam tahap riset, **Quantum Internet** menawarkan **keamanan komunikasi absolut** dengan prinsip *quantum key distribution (QKD)*. Artinya, intersepsi data hampir mustahil dilakukan.

Potensi aplikasi:

- **E-Government desa** dengan enkripsi tahan retas.
- **Transaksi finansial mikro** (koperasi desa, mikro kredit).
- **Kolaborasi riset & pendidikan** di daerah terpencil.

Keterbatasannya adalah **biaya sangat tinggi** dan **skala riset** masih terbatas pada pusat-pusat penelitian global. Namun, dalam jangka panjang, teknologi ini akan menjadi bagian dari tulang punggung infrastruktur global.

Ringkasan Arah Masa Depan

Teknologi	Karakteristik Utama	Potensi Aplikasi di Desa
6G	Terahertz spectrum, 1 Tbps, holographic comm	Telemedicine, kendaraan otonom, pertanian presisi
Edge AI	Pemrosesan lokal, hemat bandwidth, privasi	Smart farming, kesehatan komunitas, prediksi cuaca
Quantum Internet	Quantum encryption, keamanan absolut	E-Gov, mikrofinansial, pendidikan jarak jauh

Penutup

Arah masa depan internet bukan hanya soal **kecepatan**, tetapi juga tentang **kecerdasan** (Edge AI) dan **keamanan** (Quantum Internet). Untuk wilayah rural, adaptasi teknologi ini harus tetap berpijak pada prinsip **cost-based deployment**, agar kesenjangan digital tidak semakin lebar.

Penutup

Buku ini menegaskan bahwa **pembangunan akses digital di wilayah terpencil** tidak dapat dipandang semata-mata sebagai proyek *infrastruktur* fisik. Tantangan yang ada jauh lebih kompleks, karena mencakup aspek **model bisnis, keberlanjutan operasional, serta kebutuhan akan inovasi teknologi**. Keberhasilan inisiatif digitalisasi di daerah 3T hanya akan tercapai apabila ada **integrasi multi-teknologi**—mulai dari *fiber optic*, *satelit LEO*, jaringan seluler, hingga *mesh network* berbasis komunitas—yang didukung oleh **partisipasi aktif masyarakat lokal**. Dengan kata lain, teknologi harus berjalan beriringan dengan pemberdayaan sosial-ekonomi agar manfaatnya benar-benar inklusif.

Kesimpulan Teknis

1. **Tidak ada solusi tunggal yang dapat mengatasi kesenjangan digital.** Setiap wilayah memiliki kondisi geografis, demografis, dan ekonomi yang berbeda, sehingga **kombinasi teknologi** seperti *fiber optic*, *satelit*, *seluler*, *mesh network*, dan *internet offline* perlu diterapkan secara adaptif.
2. **Energi terbarukan menjadi kunci utama** dalam menekan biaya operasional sekaligus menjamin keberlanjutan infrastruktur digital. Panel surya, mikrohidro, atau skema *hybrid energy* terbukti mampu menopang jaringan di daerah tanpa pasokan listrik stabil.
3. **Model berbasis komunitas (RT/RW-net)** telah menunjukkan efektivitas dalam menjembatani kesenjangan akses, terutama di desa dengan tingkat partisipasi sosial tinggi. Model ini memungkinkan masyarakat bukan hanya menjadi pengguna, tetapi juga **pengelola infrastruktur digital**.

Rekomendasi Implementasi Praktis

- **Regulasi spektrum terbuka** perlu diperkuat oleh pemerintah, sehingga komunitas lokal dan inovator teknologi dapat membangun solusi tanpa terkendala monopoli lisensi frekuensi.
- **Kolaborasi antara pemerintah, penyedia layanan telekomunikasi, perusahaan satelit, dan startup** mutlak dilakukan untuk mempercepat pemerataan. Bentuk kolaborasi ini dapat berupa *public-private partnership* (PPP) yang lebih fleksibel.
- **Desa-desa dapat memulai dengan solusi sederhana** seperti *Wi-Fi komunitas* yang dipadukan dengan *caching server* lokal. Skema ini memberikan akses dasar yang cukup sebelum melakukan investasi lebih besar pada jaringan fiber atau satelit.
- **Skema *hybrid network***—yakni kombinasi akses online (real-time) dengan sistem offline berbasis caching—adalah pendekatan paling realistis dalam **5–10 tahun ke depan**, terutama di wilayah yang secara geografis sulit dijangkau oleh infrastruktur tradisional.

👉 Dengan kerangka pikir ini, pembangunan akses digital di wilayah terpencil tidak hanya menjawab persoalan teknis, tetapi juga membuka peluang untuk **transformasi sosial-ekonomi yang lebih inklusif dan berkelanjutan**.

Kesimpulan dan Rekomendasi Akses Digital di Wilayah Terpencil

Kesimpulan Teknis	Rekomendasi Praktis
Tidak ada solusi tunggal Kombinasi fiber, satelit, aeluler, mesh network dermiikan	 Dukung regulasi spektrum terbuka Permendorong inowasi denuk inowasi
Energi terbarukan mutlak digunakan Pernungkan fifisiensi data dan biutah 	 Kolaborasi dengan swasta Kolaborasi dengan swasta (telco, penyedia satulit, stertup) penting
Model komunitas (RT/RW-net) terbukti efektif Estrepah vulil kebasar kan partisipasi llokti tinggi 	 Wi-Fi komunitas + caching server Desa dapat mulai wih Wi-Fi comunitas + caching server before beralih ke fiber
	 Skema hybrid (online + offline) Paling realistik pada 5–10 tah unam

Referensi

Alliance for Affordable Internet. (2022). *Meaningful connectivity: A new standard to measure internet access*. <https://a4ai.org/research/meaningful-connectivity/>

GSMA. (2021). *The mobile economy 2021*. GSMA Intelligence. https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

Ibnu Mas'ud, Tb. Asep Nurdin, Onno W. Purbo, Jimmy Alberto, Tubagus Toifur, Aolia Ikhwanudin, Muhammad Yusuf, Agianto Syamhalim, Fata Falih Hilmi, Muhammad Misbahudin. *Panduan Lengkap Migrasi Jaringan IPv4 ke IPv6: untuk Keberlanjutan Internet Indonesia*. (2024). (n.p.): Penerbit Andi.

International Telecommunication Union. (2021). *Measuring digital development: Facts and figures 2021*. ITU Publications. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2021.pdf>

Magma Core. (2022). *Magma: Open source mobile core network*. The Linux Foundation. <https://www.magmacore.org/>

Open5GS. (2023). *Open5GS: Open source 5G core network*. <https://open5gs.org/>

OpenAirInterface. (2023). *OpenAirInterface software alliance*. <https://www.openairinterface.org/>

O-RAN Software Community. (2023). *O-RAN software community (OSC)*. O-RAN Alliance. <https://www.o-ran.org/software>

Purbo, O. W. (2018). *Internet - TCP/IP : Konsep & Implementasi*. (2018). Indonesia: Penerbit Andi.

Purbo, O. W. (2019). *Ipv6 Untuk Mendukung Operasi Jaringan Dan Domain Name System*. (2019). Ukraine: Andi Offset.

Purbo, O. W. (2019b). *Sistem operasi, konsep, dan membuat Linux OpenWRT dan ROM Android*. Andi Publisher.

Giri Kuncoro, Aris C. Risdianto, Onno W. Purbo. (2024a). *KUBERNETES UNTUK PEMULA*. (2023). (n.p.): Penerbit Andi.

Yopi Sopiya, Fata Falih Hilmi, Ibnu Mas'ud, Tubagus Asep Nurdin, Syaiful Bachri, Jimmy Alberto, Onno W. Purbo. (2024b). *Membuat Operator Seluler 5G Sendiri*. (2024). (n.p.): Penerbit Andi.

Starlink. (2023). *Starlink: Satellite internet constellation*. SpaceX. <https://www.starlink.com/>

Lampiran Teknis

Spesifikasi Perangkat VSAT dan Wi-Fi Mesh

Dalam konteks wilayah terpencil, **VSAT (Very Small Aperture Terminal)** menjadi salah satu solusi penting untuk menghubungkan daerah *blank spot* ke jaringan global. VSAT dapat digunakan untuk sekolah, kantor desa, hingga pusat kesehatan, karena mampu beroperasi dengan antena berdiameter relatif kecil (1–2,4 meter).

Di sisi lain, **Wi-Fi Mesh** digunakan untuk mendistribusikan sinyal internet di dalam desa. Dengan topologi *mesh*, setiap node berfungsi sekaligus sebagai pemancar dan penerima. Hal ini memungkinkan jaringan tetap berjalan meskipun salah satu node gagal.

Teknologi	Spesifikasi Teknis	Kelebihan	Kekurangan
VSAT	Antena 1–2,4 m, Bandwidth hingga 20–50 Mbps, Latensi 600–800 ms	Cocok untuk daerah tanpa fiber, cakupan luas	Biaya layanan tinggi, latensi cukup besar
Wi-Fi Mesh	Node berbasis OpenWRT, Jarak antar-node 100–500 m, Bandwidth hingga 200 Mbps	Murah, mudah dipasang komunitas, self-healing network	Skala terbatas, perlu line-of-sight di area tertentu

Standar Teknis Open RAN

Open RAN (Open Radio Access Network) merupakan inovasi yang memungkinkan operator menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak dari vendor yang berbeda. Hal ini menurunkan ketergantungan pada vendor tunggal (*vendor lock-in*) sekaligus menurunkan biaya investasi.

Beberapa standar teknis utama dalam *Open RAN*:

- **O-RU (Open Radio Unit)** → perangkat radio yang mendukung spektrum low-band hingga mid-band.
- **O-DU (Open Distributed Unit)** → unit distribusi yang dapat berjalan pada server standar (*COTS hardware*).
- **O-CU (Open Centralized Unit)** → pengendali inti dengan protokol terbuka.

Daftar Software Open Source untuk Open RAN

1. O-RU (Open Radio Unit)

- **srsRAN (dulu srsLTE)**
 - *Framework open source* untuk LTE/5G yang dapat dipakai sebagai radio stack.

- Mendukung mode *eNodeB*, *gNodeB*, dan *UE*.
- Cocok untuk riset akademis, lab uji, dan komunitas kecil.
- **OAI (OpenAirInterface)**
 - Dikembangkan oleh *EURECOM* dan komunitas OAI.
 - Mendukung radio LTE/5G dengan spesifikasi *3GPP Release 15*.
 - Bisa diintegrasikan dengan perangkat radio SDR (Software Defined Radio).

2. O-DU (Open Distributed Unit)

- **OAI DU** (bagian dari OpenAirInterface)
 - Implementasi *RAN split* (7.2x dan 8) untuk menghubungkan O-RU dengan O-CU.
 - Mendukung integrasi di server standar (*COTS hardware*).
- **srsRAN 5G DU**
 - Mendukung arsitektur *disaggregated RAN*.
 - Cocok untuk pengembangan skala komunitas atau proyek percontohan.

3. O-CU (Open Centralized Unit)

- **OAI CU**
 - Modul inti untuk mengelola kontrol jaringan (RRC, PDCP, SDAP).
 - Terhubung ke core 5G (*5G Core / 5GC*) dengan antarmuka NG.
- **ONF SD-RAN (Software-Defined RAN)**
 - Dikembangkan oleh *Open Networking Foundation*. Menyediakan CU dengan arsitektur *RIC (RAN Intelligent Controller)*.
 - Fokus pada *programmability* dan *policy-based control*.

4. Platform Pendukung

- **OSC (O-RAN Software Community)**
 - Komunitas resmi dari aliansi O-RAN.
 - Menyediakan implementasi *RIC platform* dan modul pendukung lainnya.
- **Magmacore (The Linux Foundation)**
 - Bukan bagian langsung dari RAN, tetapi menyediakan *open source core network (EPC/5GC)* untuk integrasi dengan Open RAN.
- **Open5GS**
 - *Core network 4G/5G* open source yang ringan dan cocok untuk uji coba komunitas.

Ringkasan

Layer Open RAN	Software Open Source	Catatan
O-RU	srsRAN, OpenAirInterface	Fokus radio access (PHY, MAC)
O-DU	OAI DU, srsRAN 5G DU	Dijalankan di server COTS
O-CU	OAI CU, ONF SD-RAN	Pengendali inti, mendukung RIC
Core (opsional)	Magma, Open5GS	Mendukung EPC/5GC open source
Ekosistem	OSC (O-RAN Software Community)	Pengembangan standar O-RAN global

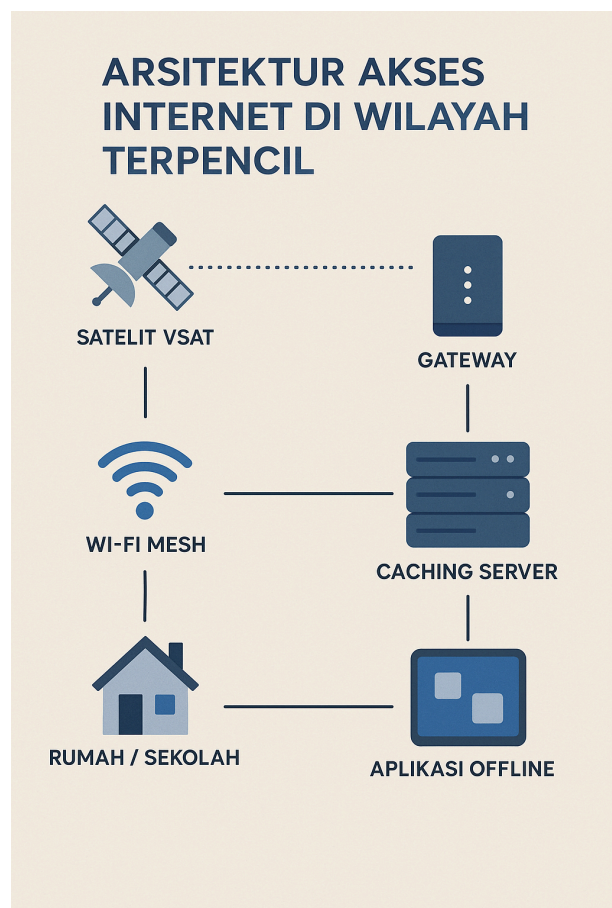
Dengan memanfaatkan **software open source**, komunitas atau desa dapat membangun *Open RAN skala kecil* untuk kebutuhan lokal tanpa investasi besar pada vendor komersial. Hal ini sejalan dengan prinsip **kemandirian digital** dan mendukung inisiatif jaringan komunitas (*community networks*).

Skema Arsitektur Internet Offline

Untuk wilayah dengan akses internet yang tidak stabil, diperlukan **arsitektur internet offline**. Konsep ini memadukan *content caching* dan *delay tolerant network (DTN)* sehingga masyarakat tetap bisa mengakses informasi meskipun koneksi ke internet global terputus.

Skema kerja:

1. **Caching server lokal** ditempatkan di sekolah/desa dengan kapasitas penyimpanan 1–2 TB.
2. **Pembaruan konten berkala** dilakukan via satelit, microwave link, atau bahkan USB drive.
3. Pengguna di desa terhubung melalui **Wi-Fi lokal** dengan perangkat murah seperti *Raspberry Pi* atau *microserver*.
4. Aplikasi penting seperti *e-learning*, *telehealth*, dan *chatbot offline* tetap tersedia tanpa koneksi langsung.



Penutup

Lampiran teknis ini menunjukkan bahwa **kombinasi antara VSAT, Wi-Fi Mesh, Open RAN, dan internet offline** mampu memberikan solusi praktis untuk wilayah terpencil. Dengan spesifikasi perangkat yang relatif terjangkau, serta desain arsitektur yang mendukung kemandirian komunitas, desa-desa di wilayah 3T dapat **memperoleh akses digital yang inklusif, berkelanjutan, dan adaptif terhadap kondisi lokal**.

Glosarium

- **Backbone:** Infrastruktur utama dalam jaringan telekomunikasi yang menghubungkan pusat-pusat data dengan kapasitas besar.
- **Blank Spot:** Area yang tidak memiliki sinyal seluler atau akses internet sama sekali.
- **BTS (Base Transceiver Station):** Menara pemancar yang menghubungkan perangkat pengguna ke jaringan seluler.
- **Caching:** Penyimpanan sementara data atau konten di server lokal agar bisa diakses tanpa perlu koneksi ke server pusat.
- **DTN (Delay Tolerant Network):** Teknologi jaringan yang memungkinkan pengiriman data meskipun koneksi internet tidak stabil atau sering terputus.
- **DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing):** Teknologi yang memungkinkan transmisi data besar melalui fiber optik dengan menggunakan banyak panjang gelombang cahaya.
- **Edge Computing:** Pemrosesan data yang dilakukan di dekat lokasi pengguna (ujung jaringan) untuk mengurangi latensi.
- **FTTH (Fiber To The Home):** Teknologi akses internet menggunakan kabel fiber optik langsung ke rumah pelanggan.
- **Hybrid Network:** Jaringan yang menggabungkan berbagai teknologi akses (fiber, satelit, seluler, mesh, dll.) agar lebih efisien.
- **IoT (Internet of Things):** Konsep konektivitas perangkat sehari-hari ke internet agar bisa saling berkomunikasi dan bertukar data.
- **LEO (Low Earth Orbit):** Konstelasi satelit di orbit rendah (500–2000 km) dengan latensi rendah dan kecepatan tinggi.
- **Mesh Network:** Jaringan nirkabel di mana setiap node saling terhubung, sehingga tetap berfungsi meskipun salah satu node gagal.
- **O-CU (Open Centralized Unit):** Komponen *Open RAN* yang mengatur kontrol inti jaringan dengan protokol terbuka.
- **O-DU (Open Distributed Unit):** Unit distribusi dalam *Open RAN* yang berjalan di server standar (COTS hardware).
- **O-RU (Open Radio Unit):** Unit radio terbuka dalam *Open RAN* yang mendukung spektrum low-band hingga mid-band.

- **Open RAN (Open Radio Access Network):** Arsitektur terbuka dalam jaringan seluler yang memungkinkan perangkat keras dan perangkat lunak dari berbagai vendor bekerja bersama.
- **PtP (Point-to-Point):** Teknologi komunikasi nirkabel yang menghubungkan dua lokasi secara langsung.
- **PtMP (Point-to-Multipoint):** Teknologi nirkabel yang menghubungkan satu titik pusat dengan banyak titik klien.
- **RAG (Retrieval-Augmented Generation):** Teknik dalam AI yang menggabungkan pencarian data dengan model bahasa.
- **RT/RW-net:** Jaringan komunitas berbasis gotong royong di tingkat desa atau lingkungan RT/RW untuk menyediakan akses internet murah.
- **SDR (Software Defined Radio):** Perangkat radio fleksibel berbasis perangkat lunak yang dapat diprogram untuk berbagai frekuensi.
- **Spektrum:** Rentang frekuensi radio yang digunakan untuk komunikasi nirkabel.
- **VSAT (Very Small Aperture Terminal):** Sistem komunikasi satelit dengan antena kecil, cocok untuk daerah terpencil.

Tentang Penulis



Onno W. Purbo, saat ini bertugas sebagai rektor di Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS). Onno memperoleh gelar Ph.D bidang Electrical Engineering dari University of Waterloo, Canada, adalah seorang copyleft, educator dan ICT evangelist. Dia sudah mempublikasikan 50++ buku, termasuk free ICT ebook untuk sekolah tahun 2008. Beberapa buku terakhirnya adalah "Internet-TCP/IP: Konsep Dan Implementasi", 2018; "Sistem Operasi, Konsep Dan Membuat Linux OpenWRT Dan ROM Android", 2019; "IPv6 Untuk Mendukung Operasi Jaringan Dan Domain Name System", 2019; "Kubernetes untuk Pemula", 2024 dan "Membuat Operator Seluler 5G Sendiri", 2024. Dia memimpin sambungan pertama Internet di Institut Teknologi Bandung, tahun 1993-2000, dan menggunakannya untuk membuat jaringan Internet pendidikan yang pertama di

Indonesia. Dia membebaskan frekuensi WiFi, memperkenalkan RT/RW-net, antenna Wajanbolic dan jaringan selular OpenBTS dan private 5G sendiri. Dia memimpin jaringan telepon pertama di atas Internet, VoIP Merdeka, yang kemudian hari dikenal sebagai VoIP Rakyat berbasis SIP dan menggunakan kode area +62520 dan +62521. Dia saat ini aktif memperkenalkan e-Learning, dan menjalankan server e-Learning di <http://lms.onnocenter.or.id/moodle/> 66,000++ siswa / mahasiswa dan <https://opencourse.itts.ac.id> 36.000+ mahasiswa secara gratis. Email: onno@indo.net.id