

IMPLEMENTASI DTN SEBAGAI SOLUSI KOMUNIKASI DI DESA TERPENCIL

1st Redaffa Ath Thaariq Poerwantoro
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
redaffa@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Dr. Leanna Vidya Yovita, S.T., M.T.
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
leanna@telkomuniversity.ac.id

3rd Dr. Tody Ariefianto Wibowo, S.T., M.T.
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
ariefianto@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Daerah dengan infrastruktur telekomunikasi yang terbatas sering mengalami kesulitan dalam mengakses layanan komunikasi yang andal dan efisien. Penelitian ini membahas pengembangan solusi komunikasi berbasis teknologi alternatif untuk mengatasi tantangan tersebut. Secara khusus, penelitian ini mengeksplorasi penerapan teknologi *Delay Tolerant Network* (DTN) sebagai metode penyediaan konektivitas di wilayah dengan infrastruktur terbatas. Metodologi yang digunakan mencakup perancangan sistem komunikasi berbasis DTN serta pengujian performa sistem dalam simulasi lingkungan dengan infrastruktur rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa solusi yang dikembangkan mampu meningkatkan aksesibilitas komunikasi secara signifikan dengan biaya yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam mendukung pengembangan infrastruktur telekomunikasi di daerah terpencil serta menjadi dasar bagi inovasi teknologi lebih lanjut di masa depan.

Kata kunci — Konektivitas, Infrastruktur Telekomunikasi, *Delay Tolerant Network* (DTN), Daerah Terpencil, Teknologi Alternatif

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan wilayah yang luas dan beragam, termasuk daerah perbatasan dan pedesaan yang sulit dijangkau. Ketimpangan dalam distribusi penduduk dan kondisi ekonomi menyebabkan pembangunan infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) di Indonesia belum merata. Penyedia layanan telekomunikasi dan internet masih menghadapi berbagai tantangan dalam memenuhi kebutuhan infrastruktur di daerah terpencil, sehingga akses komunikasi yang andal dan terjangkau belum tersedia secara luas.

Pemerintah terus berupaya meningkatkan kualitas hidup masyarakat melalui berbagai program pembangunan TIK yang mencakup wilayah pedesaan. Inisiatif ini tidak hanya bertujuan untuk menyediakan akses komunikasi yang lebih terjangkau, tetapi juga untuk mendorong transformasi digital dan pertumbuhan ekonomi di daerah terpencil. Namun, kesenjangan digital (*digital divide*) masih menjadi permasalahan yang signifikan. Infrastruktur komputer, jaringan internet, serta layanan telepon yang cepat dan murah cenderung hanya tersedia di wilayah perkotaan, sementara masyarakat pedesaan masih mengalami keterbatasan dalam mengakses teknologi tersebut.

Kondisi geografis yang sulit, dengan banyaknya daerah terpencil yang jauh dari pusat kota, menjadi salah satu faktor utama yang menghambat pembangunan infrastruktur telekomunikasi. Alternatif seperti koneksi satelit memang dapat digunakan untuk menyediakan jaringan komunikasi di daerah tersebut, tetapi biaya berlangganan yang tinggi menjadi kendala utama. Demikian pula, layanan berbasis *Short Message Service* (SMS) sering kali tidak dapat diandalkan jika jaringan komunikasi di wilayah tersebut tidak stabil atau tidak tersedia.

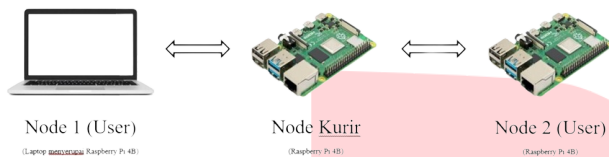
Kesenjangan digital ini juga berdampak pada ketimpangan sosial-ekonomi. Laporan *Beyond Unicorn* yang diterbitkan oleh Bank Dunia menunjukkan bahwa generasi muda sepuluh kali lebih mungkin memiliki akses internet seluler dibandingkan dengan lansia. Selain itu, individu dengan pendidikan tinggi lima kali lebih mungkin untuk terkoneksi dengan internet dibandingkan mereka yang memiliki pendidikan terbatas pada tingkat sekolah menengah pertama atau lebih rendah. Faktor ekonomi juga berperan, di mana individu dari keluarga berpenghasilan rendah memiliki kemungkinan tiga kali lebih kecil untuk mendapatkan akses internet dibandingkan mereka yang berasal dari keluarga dengan tingkat kesejahteraan lebih tinggi.[1]

Ketimpangan dalam akses terhadap teknologi ini berpotensi menghambat pertumbuhan ekonomi dan memperlebar kesenjangan sosial. Kesempatan lebih banyak diakses oleh individu yang memiliki konektivitas internet, sementara mereka yang lebih membutuhkan justru mengalami keterbatasan dalam memperoleh manfaat ekonomi digital. Selain itu, faktor eksternal seperti lokasi tempat tinggal dan kondisi ekonomi keluarga juga berkontribusi terhadap ketimpangan ini. Dampaknya tidak hanya terbatas pada aspek sosial, tetapi juga berimbas pada hilangnya modal manusia serta potensi ekonomi yang seharusnya dapat dikembangkan. Oleh karena itu, mengatasi hambatan dalam konektivitas internet di Indonesia menjadi langkah krusial untuk memastikan manfaat ekonomi digital dapat dirasakan oleh seluruh lapisan masyarakat.[2]

II. KAJIAN TEORI

Sistem kerja *Delay Tolerant Network* sebagai solusi komunikasi di desa terpencil dimulai dengan penentuan *node user* sebagai pengguna dan *node kurir* sebagai perantara yang akan digunakan dalam sistem kerja *Delay*

Tolerant Network. *Node user* berfungsi sebagai *node* yang saling berkomunikasi yang kemudian dijembatani oleh *node* kurir yang menjadi perantara untuk pengiriman pesan, kedua buah *node user* memiliki fungsi untuk mengirim maupun menerima pesan. *Node* kurir akan bergerak menuju *node user* (pengirim) untuk mengambil dan menyimpan *bundle* yang akan dikirimkan. Kemudian *node* kurir akan berjalan menuju *node user* (penerima) untuk mengirimkan *bundle* yang telah disimpan sebelumnya. Pada sistem ini, *node* kurir dapat menempuh perjalanan ke setiap *node user* menggunakan alat transportasi seperti sepeda motor, mobil maupun sepeda.[2]



GAMBAR 1
(Skema Arsitektur DTN)

A. Perangkat yang Digunakan

Komponen/perangkat yang dibutuhkan untuk merancang sistem *Delay Tolerant Network* sebagai solusi komunikasi di desa terpencil. Berdasarkan sistem kerja dan skema arsitektur, berikut ini merupakan rincian komponen yang digunakan.

TABEL 1
(PERANGKAT YANG DIGUNAKAN)

No.	Jenis Komponen	Komponen yang terpilih
1.	<i>Node</i> DTN	Dua buah Raspberry Pi 4B dengan Debian " <i>Bookworm</i> " OS yang salah satunya berperan sebagai <i>node</i> kurir dan laptop yang sudah terinstal <i>Ubuntu 20.04</i> sebagai <i>node user</i>
2.	Catu Daya	Power Adapter 5V 3A
3.	<i>Software</i>	Debian " <i>Bookworm</i> " OS terinstal di kedua Raspberry Pi 4B, <i>Ubuntu 20.04</i> terinstal di laptop dan divirtualisasi melalui <i>Oracle VM Virtualbox</i> , <i>Visual Studio Code</i> (VSCode) terinstal di laptop, <i>Wireshark</i> terinstal di masing-masing <i>node</i> , dan <i>DTN7-RS</i> yang terinstal di setiap <i>node</i>
4.	<i>Wifi Module</i>	<i>Built-in Raspberry Pi 4B</i>
5.	Mikroprosesor sebagai <i>node</i>	<i>Raspberry Pi 4B</i>

III. METODE

Implementasi ini terdiri dari dua sub sistem utama: *node user* dan *node* kurir. Deskripsi implementasi setiap sub sistem dijelaskan sebagai berikut;

A. Sub sistem 1 (*Node* Komunikasi)

Sub sistem 1 dalam implementasi ini adalah *node user* yang terdiri dari satu buah Raspberry Pi 4B, dan satu buah laptop yang telah diinstal *VirtualBox* untuk menyerupai perangkat Raspberry Pi 4B (disebut sebagai *Node 1* dan *Node 2*). Sub sistem ini bertanggung jawab untuk melakukan pengiriman dan penerimaan pesan secara dua arah menggunakan protokol DTN. Pada subsistem ini, langkah-langkah implementasi meliputi instalasi *software* DTN7-RS, konfigurasi *node* yang mencakup pengaturan *endpoint*, penyesuaian pengaturan jaringan, penyesuaian alamat IP, dan pengujian konektivitas antar-*node*. Selanjutnya, sub sistem ini dilengkapi dengan antarmuka pengguna (*User Interface*) untuk memudahkan pengguna dalam mengirim dan menerima pesan pada masing-masing *node user*.

B. Sub sistem 2 (*Node* Kurir)

Subsistem 2 adalah *node* kurir yang berfungsi sebagai kurir pesan untuk menjembatani komunikasi antara *Node 1* dan *Node 2* yang berada pada lokasi yang tidak memiliki konektivitas internet. Pada implementasi ini, *node* perantara menggunakan sebuah Raspberry Pi 4B dengan konfigurasi yang berbeda dengan sub sistem sebelumnya. Langkah implementasi sub sistem ini meliputi instalasi *software* DTN7-RS, dan memprogram *node* kurir untuk mendukung proses *storing* (penyimpanan sementara) dan *forwarding* (penerusan pesan) secara otomatis.

C. Instalasi dan Konfigurasi

Implementasi yang dilakukan adalah penggabungan antara *hardware* (Laptop, Raspberry Pi 4b, Catu daya 5V 3A) dan *software* (Debian "*Bookworm*", Ubuntu 20.04, Oracle VM *VirtualBox*, Wireshark, DTN7-RS) yang digunakan untuk melakukan komunikasi di desa terpencil.

- Debian "*Bookworm*"

Debian merupakan sebuah sistem operasi berbasis Linux yang gratis digunakan dan bersifat *open source*. Debian OS menyediakan sistem manajemen yang disebut APT (*Advanced Packaging Tool*) yang memungkinkan kemudahan menginstal, menghapus dan memperbaiki perangkat lunak. Selain itu, Debian OS juga menyediakan keamanan sistem operasi yang stabil, penyimpanan serta proses data yang optimal, dan mudah untuk digunakan. Dalam desain ini, Debian OS ini digunakan sebagai sistem operasi dari Raspberry Pi 4b dengan versi "*bookworm*" untuk mencari kestabilan dan kenyamanan dalam melakukan pengoperasian.[3]

- Ubuntu 20.04

Ubuntu 20.04 adalah sistem operasi berbasis Linux yang bersifat gratis dan *open source* yang didesain khusus mempunyai fitur - fitur untuk difungsikan sebagai *firewall*, sehingga Ubuntu Linux ini dilengkapi dengan aplikasi-aplikasi *firewall* seperti *web filtering* untuk mencegah akses ke situs web yang tidak diinginkan. Ada pula *spyware blocker* untuk melindungi komputer pengguna dari *malware* yang menginstal program sendiri tanpa izin dan kehendak user, dan *Ad Blocker* yang dapat membantu mengurangi tampilnya iklan-iklan online yang biasa terlihat di halaman suatu *website*. Di samping itu, pada implementasi ini Ubuntu Linux yang digunakan adalah Ubuntu 20.04 yang diperoleh image-nya dari *OSBoxes*

sebagai *Operating System* yang digunakan di laptop dan di virtualisasikan melalui Oracle VM *VirtualBox*. [4]

- Wireshark

Wireshark adalah aplikasi analisis jaringan yang memungkinkan pengguna untuk merekam dan menganalisis lalu lintas jaringan secara *real-time*. *Wireshark* dapat digunakan untuk memecahkan masalah jaringan, mengidentifikasi gangguan, mengoptimalkan kinerja jaringan, dan bahkan memecahkan masalah keamanan. Pada implementasi ini, *Wireshark* digunakan sebagai alat untuk menganalisis dan *monitoring* lalu lintas jaringan sehingga *bundle* yang dikirimkan melalui setiap *node* terlihat secara *real-time*. Selain itu, pada implementasi ini, *Wireshark* digunakan juga untuk pengukuran *Quality of Service* (QOS). [5]

- DTN7-RS

DTN7-RS adalah salah satu implementasi dari protokol *Bundle Protocol Version 7 (BPv7)* yang dirancang untuk komunikasi dalam jaringan yang bersifat *delay-tolerant* atau *disruption-tolerant networking* (DTN). DTN digunakan untuk memungkinkan pengiriman data meskipun terjadi keterlambatan, gangguan, atau konektivitas yang tidak beraturan. Misalnya dalam aplikasi *drone*, satelit, atau konektivitas di daerah terpencil. [6]

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

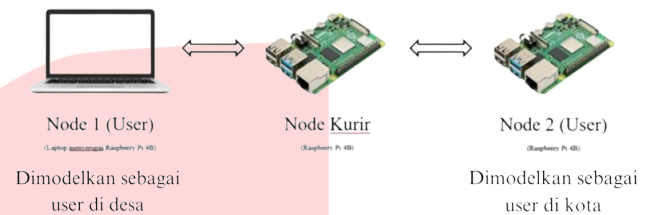
Pengujian dari implementasi yang telah dipersiapkan dari implementasi DTN (*Delay Tolerant Network*) sebagai solusi komunikasi di desa terpencil ini dilakukan demi memastikan kinerja dan keselarasan dari setiap *device* dan setiap *node* yang digunakan. Tantangan komunikasi dalam kondisi jaringan *intermittent* sering mengalami putus koneksi secara berkala dikarenakan letak geografis yang kurang mendukung dan terpencil. Dikarenakan kondisi daerah pedesaan yang terpencil menghadapi hambatan dalam mendapatkan akses ke sarana telekomunikasi, baik melalui kabel maupun nirkabel. Oleh karena itu, tujuan utama dari implementasi DTN (*Delay Tolerant Network*) sebagai solusi komunikasi di desa terpencil ini adalah untuk membuktikan kemungkinan implementasi DTN di dunia nyata yang dapat digunakan di wilayah terpencil dan lokasi yang tidak memiliki infrastruktur permanen.

Skenario dari pengujian dibagi menjadi 2 skenario, skenario pertama adalah pengujian dengan variasi jarak dan skenario kedua adalah pengujian dengan variasi ukuran *file*. Skenario dengan variasi jarak memiliki jarak tempuh yang berbeda-beda dan waktu tempuh yang bervariasi di setiap percobaan. Kemudian, skenario dengan variasi ukuran file memiliki ukuran file yang bervariasi dari 100kb hingga 500kb (dengan penambahan 100kb setiap percobaan). Selebihnya, untuk waktu pengujian dilakukan pada waktu siang hari agar pengujian lebih mudah dilakukan dan menghindari hujan akibat cuaca yang kurang baik selama masa pengujian.

A. Skenario 1 (Pengujian dengan variasi jarak)

Pada bagian rincian pengujian ini, terdapat beberapa aspek yang diuji. perlu diingat bahwa hasil pengujian dari setiap percobaan memiliki hasil yang relatif tergantung dari variabel-variabel yang ada maupun variabel tidak terduga. Aspek-aspek yang diuji berfokus pada performansi

masing-masing alat yaitu, letak penempatan *node* kurir di kendaraan bermotor, kondisi performa alat seperti suhu CPU, Pemakaian CPU, dan Voltase. dari setiap *node* user pada saat sebelum dan sesudah mengirim *bundle*, jarak tempuh *node* kurir di setiap percobaan, dan waktu tempuh *node* kurir di setiap percobaan. Pengujian dilakukan dengan mengambil data melalui percobaan pengiriman yang dilakukan dengan jarak tempuh paling jauh 21 km. Kemudian dibagi menjadi 4 buah percobaan pengiriman dengan jarak tempuh percobaan pertama sejauh 4.9km, jarak tempuh percobaan kedua sejauh 11 km, jarak tempuh percobaan ketiga sejauh 16km, dan percobaan keempat sejauh 21 km.



GAMBAR 2
(Skema Pengujian dengan Variasi Jarak)

Terkhusus untuk *node* kurir, *device* diletakkan dan dinyalakan di atas kendaraan bermotor. Oleh karena itu, *node* kurir memerlukan catu daya yang bersumber dari kendaraan bermotor itu sendiri. Pada implementasi ini, kendaraan bermotor yang digunakan untuk melakukan pengujian memiliki sebuah *adapter* dengan tegangan 5V 3A yang disambungkan ke *output* di kendaraan bermotor. Tegangan ini sangat cukup untuk memenuhi kebutuhan *device* agar komunikasi dapat berjalan dengan baik.



GAMBAR 3
(Letak Penempatan *Node* Kurir)

TABEL 2
(HASIL SEBELUM KIRIM DAN TERIMA SKENARIO PERTAMA)

Percobaan	Voltase	Pemakaian CPU	Suhu CPU
Percobaan 1 Node 2	0.88 V	-	37.9°C
Percobaan 1 Node 1	-	7% (1.28 GHz)	-
Percobaan 2 Node 1	-	15% (2.1 GHz)	-
Percobaan 2 Node 2	0.88 V	-	37.4°C

Percobaan 3 Node 2	0.88 V	-	38.4°C
Percobaan 3 Node 1	-	3% (0.8 GHz)	-
Percobaan 4 Node 1	-	16% (1.61 GHz)	-
Percobaan 4 Node 2	0.88 V	16% (1.61 GHz)	36°C
Rata-rata	0.88 V	10.25% (1.44 GHz)	37.43°C

TABEL 3

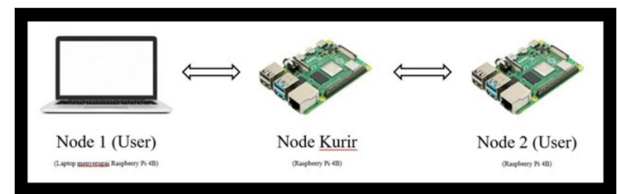
(HASIL SETELAH KIRIM DAN TERIMA SKENARIO PERTAMA)

Percobaan	Voltase	Pemakaian CPU	Suhu CPU
Percobaan 1 Node 2	0.88 V	-	38.9°C
Percobaan 1 Node 1	-	29% (2.48 GHz)	-
Percobaan 2 Node 1	-	15% (2.22 GHz)	-
Percobaan 2 Node 2	0.94 V	-	38.4°C
Percobaan 3 Node 2	0.88 V	-	39.4°C
Percobaan 3 Node 1	-	16% (1.12 GHz)	-
Percobaan 4 Node 1	-	8% (0.59 GHz)	-
Percobaan 4 Node 2	0.88 V	-	37.9°C
Rata-rata	0.892 V	17% (1.60 GHz)	38.65°C

Pengujian kirim dan terima menggunakan DTN dengan tiga *node* menunjukkan peningkatan konsumsi daya dan pemakaian CPU. Voltase rata-rata naik dari 0.88V ke 0.892V, pemakaian CPU dari 10.25% (1.44 GHz) ke 17% (1.60 GHz), dan suhu dari 37.43°C ke 38.65°C. Lonjakan tertinggi terjadi pada *Node 1* (29% CPU di 2.48 GHz) saat menerima dan memproses data. Hasil ini menunjukkan bahwa komunikasi DTN meningkatkan beban sistem, meskipun masih dalam batas normal.

B. Skenario 2 (Pengujian dengan variasi ukuran file menggunakan *Wireshark*)

Untuk mengukur parameter QoS menggunakan *wireshark* sebelumnya perlu dilakukan konfigurasi *capture filter* dan *display filter*. Di kelima skenario *wireshark* menggunakan *capture filter* yang sama yaitu "host 192.168.147.199 or host 192.168.147.250 or host 192.168.147.228". Sedangkan untuk *display filter* yang digunakan untuk skenario ini adalah "ip.src == 192.168.147.250 && ip.dst == 192.168.147.228".



Berada dalam satu ruangan

GAMBAR 1

(Skema Pengujian dengan Variasi Ukuran File)

TABEL 4

(HASIL PENGUJIAN DENGAN VARIASI UKURAN FILE MENGGUNAKAN WIRESHARK)

Ukuran File(Kb)	Throughput(bps)	PacketLoss(%)	Rata-rata Delay(s)	Rata-rata Jitter(s)
100 Kb	6.780,5	0	0.427973	-0.000001489
200 Kb	9.183,3	0	0.26511	0.00084
300 Kb	11.154	0	0.243316	-0.0004
400 Kb	14.668,5	0	0.224113	-0.00057
500 Kb	21.005,3	0	0.179441	0.0023

Pengukuran dengan *Wireshark* menunjukkan *throughput* meningkat seiring ukuran *file*, dari 6.780,5 bps (100 KB) ke 21.005,3 bps (500 KB), sementara *packet loss* tetap 0%. *Delay* menurun seiring bertambahnya ukuran *file*, menunjukkan efisiensi transfer yang lebih baik. *Jitter* berfluktuasi dalam nilai kecil, menandakan stabilitas jaringan. Hasil ini menunjukkan pengiriman file berjalan efisien tanpa kehilangan data, dengan peningkatan *throughput* dan penurunan *delay*.

V. KESIMPULAN

A. Keberhasilan Solusi dan Jawaban terhadap Permasalahan

Solusi komunikasi berbasis DTN dengan BPv7 dan metode *store-carry-forward* berhasil diterapkan di daerah tanpa infrastruktur jaringan permanen. DTN7-RS mampu mengirim data tanpa *packet loss* (0%), menunjukkan keberhasilan mekanisme penyimpanan dan penerusan dalam memastikan komunikasi berjalan efektif.

B. Ringkasan Hasil Pengujian dan Keterbatasan Sistem

Semua *bundle* berhasil dikirim tanpa kehilangan paket (*packet loss* 0%), membuktikan mekanisme *store-carry-forward* berjalan optimal. Namun, performa sistem masih dipengaruhi oleh keterbatasan jaringan dan perangkat.

C. Hasil Kuantitatif Kinerja Sistem

- Skenario 1 (Node 2 → Node 1 via Node 0)

- Delay: 0.09796s

- Throughput: 2.55 Mbps

- Skenario 2 (Node 1 → Node 2 via Node 0)
- *Delay*: 0.06783s
- *Throughput*: 9.19 Mbps

Perbedaan nilai *delay* dan *throughput* dipengaruhi oleh kapasitas perangkat, kondisi *forwarding* di *Node* 0, dan latensi jaringan lokal. *Jitter* dapat dihitung, namun nilainya sangat kecil dan berfluktuasi, menunjukkan stabilitas jaringan selama pengiriman data.

D. Keterbatasan Sistem

Kinerja *throughput* dan *delay* masih bervariasi tergantung pada kondisi masing-masing *node* dan ukuran *file*.

REFERENSI

- [1] H. Subiakto, "Internet untuk pedesaan dan pemanfaatannya bagi masyarakat The usage of internet for the village and villagers."
- [2] S. Desy Siswanti, J. Raya Palembang -Prabumulih Km, and S. Selatan, "Pengembangan Sistem Aplikasi Pengiriman Data Daerah Terpencil Berbasis Delay Tolerant Network," 2013.
- [3] debian.org, "Debian "bookworm" Release Information" [Online]: <https://www.debian.org/releases/bookworm/>.
- [4] osboxes.org, "Download link for Osboxes Ubuntu 20.04.4," [Online]: <https://www.osboxes.org/ubuntu/#ubuntu-20-04-4-vbox>.
- [5] wireshark.org, "About Wireshark" [Online]: <https://www.wireshark.org/about.html>.
- [6] dtn7, "Disruption-Tolerant Networking Implementations of the Bundle Protocol 7" [Online]: <https://dtn7.github.io/>.