IMPLEMENTASI SISTEM MESH *NETWORKING* DENGAN METODE PERUTEAN UNTUK OPTIMASI *HEALTHCARE* IOT

Hanif Prasetyo Herlambang [1], Ida Wahidah [2], Bambang Setia Nugroho [3]
[1,2,3] Universitas Telkom
hanifurbae@student.telkomuniversity.ac.id [1],wahidah@telkomuniversity.ac.id [2], bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id [3]

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem Mesh *Networking* untuk meningkatkan efisiensi aplikasi *Internet of Things* (IoT) di bidang kesehatan, khususnya dalam pengelolaan data citra endoskopi. Permasalahan utama yang diangkat adalah kebutuhan akan mekanisme pengiriman data yang efisien dan cara menghindari tabrakan data dalam jaringan. Sistem yang dirancang menggunakan pendekatan *compressive sensing* untuk kompresi data, di mana setiap *node* dijadwalkan untuk mengirimkan data secara teratur tanpa terjadi tabrakan. Data citra dari kamera endoskop diteruskan ke *Raspberry Pi Gateway* sebelum dikirim ke *Data Streaming* agar dapat diakses secara waktu nyata (*real-time*). Metodologi penelitian mencakup studi literatur, pengumpulan dan perutean data, hingga implementasi serta pengujian sistem di fasilitas kesehatan. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengurangi beban jaringan, meningkatkan kecepatan akses data, dan membantu tenaga medis mengidentifikasi kelainan pada citra tenggorokan secara efisien. Keberhasilan sistem diukur berdasarkan dua parameter: berkurangnya tabrakan data antar *node* dan ketepatan data yang dikirim ke *Data Streaming*. Dengan demikian, sistem ini memiliki potensi besar menjadi solusi praktis yang mempercepat proses diagnosis dan pemantauan kesehatan secara *real-time*

***Kata kunci:* IoT, Mesh Networking, Perutean, Endoskop, Data streaming.**

I. PENDAHULUAN

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) di bidang kesehatan di Indonesia memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas layanan, memungkinkan pemantauan pasien secara *real-time* untuk deteksi dini dan intervensi cepat [1]. Meskipun demikian, tantangan seperti keterbatasan infrastruktur, keamanan data, dan biaya masih menjadi hambatan utama [2]. Endoskop, sebagai alat penting untuk diagnosis dan prosedur invasif minimal, umumnya terbatas digunakan di fasilitas medis karena ukuran perangkat tambahannya yang besar [3], [4].Topologi Mesh Networking, dengan sifat koneksi antar node yang fleksibel dan tahan banting, menawarkan solusi yang ideal untuk pengumpulan data endoskop secara terdistribusi [5]. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem *Mesh Networking* berbasis compressive sensing untuk transmisi data citra endoskop dalam aplikasi healthcare IoT. Sistem ini diharapkan mampu mengurangi beban jaringan, meningkatkan kecepatan akses data, serta mendukung efisiensi dan efektivitas proses diagnosis dan pengobatan.Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang mekanisme pengiriman data yang efisien pada jaringan dengan tiga hingga empat node, sehingga setiap node dapat berkomunikasi secara optimal tanpa mengalami keterlambatan atau kehilangan data. Sistem ini diharapkan mampu mengatur alur transmisi data secara terjadwal dan terstruktur, sehingga dapat meminimalkan kemungkinan terjadinya kemacetan lalu lintas data (data traffic) dalam jaringan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengimplementasikan metode perutean pada setiap node, agar setiap pengiriman data dapat diarahkan melalui jalur yang paling tepat dan efektif. Dengan penerapan metode perutean ini, diharapkan setiap node mampu menghindari tabrakan data dan menjaga stabilitas jaringan secara keseluruhan, sehingga mendukung performa aplikasi *Internet of Things* (IoT) yang memerlukan koneksi cepat, andal, serta responsif.

II. KAJIAN TEORI

A. Kamera Endoskop

Berdasarkan kajian literatur, pemeriksaan kesehatan tenggorokan secara konvensional umumnya dilakukan melalui konsultasi dengan dokter spesialis Telinga, Hidung, dan Tenggorokan (THT) serta observasi visual langsung untuk mendeteksi adanya peradangan atau kelainan lainnya. Meskipun metode ini dinilai efektif, prosesnya sering memerlukan waktu yang cukup lama dan mengandalkan interpretasi subjektif dari tenaga medis, sehingga potensi ketidaktepatan diagnosis dapat meningkat. Seiring dengan perkembangan teknologi medis, kamera endoskopi hadir sebagai solusi inovatif yang mampu meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pemeriksaan klinis. Kamera endoskopi merupakan instrumen medis yang dirancang khusus untuk memberikan visualisasi internal tubuh secara langsung dan detail. Alat ini dilengkapi dengan tabung fleksibel, sumber cahaya, serta kamera beresolusi tinggi, sehingga memungkinkan tenaga medis untuk mengamati kondisi organ dalam, termasuk tenggorokan, secara real-time. Kehadiran teknologi ini tidak hanya mempercepat proses diagnosis, tetapi juga meminimalkan subjektivitas, sehingga hasil pemeriksaan menjadi lebih akurat dan objektif. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan kamera endoskopi memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas layanan kesehatan, khususnya pada bidang otorhinolaringologi. Diharapkan, penggunaan teknologi ini dapat mendukung deteksi dini, mempercepat penentuan diagnosis, serta membantu dalam perencanaan tindakan medis yang lebih tepat sasaran terhadap berbagai gangguan pada saluran pernapasan atas. Secara umum, endoskopi tradisional terdiri dari beberapa komponen utama, seperti sumber cahaya,

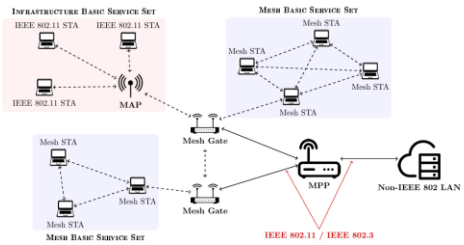
kamera, pengendali gambar, layar tampilan, serta badan endoskopi yang didesain dalam berbagai bentuk sesuai dengan kebutuhan klinis. Selain itu, teknologi endoskopi menerapkan metode transmisi sinyal yang berbeda, baik analog maupun digital, serta dilengkapi dengan struktur mekanik yang fleksibel atau kaku, dan sensor optik dengan variasi resolusi dan spektrum. Beberapa teknologi endoskopi optik modern bahkan telah mampu menghasilkan informasi visual yang lebih kaya, seperti endoskopi stereoskopis teropong yang menggunakan dua lensa endoskopi terkalibrasi untuk memperoleh data citra stereo, sehingga menghasilkan tampilan tiga dimensi yang lebih mendetail [6].

$$P_1=KP,\ P_2=K(RP+t) \quad (1)$$

Rumus ini digunakan dalam rekonstruksi 3D, penghitungan pose kamera, kalibrasi kamera, dan proses pencocokan gambar dalam aplikasi seperti augmented reality, robotika, dan navigasi otonom.

B. Sistem Mesh Network

Sistem Mesh Networking merupakan salah satu struktur jaringan yang memungkinkan setiap perangkat atau node untuk saling terhubung secara langsung, sehingga menciptakan konektivitas yang andal, fleksibel, dan adaptif.



GAMBAR 1.
ILUSTRASI CARA KERJA MESH NETWORK.

Setiap node dalam jaringan mesh tidak hanya berfungsi sebagai penerima dan pengirim data, tetapi juga berperan sebagai perantara yang memperkuat serta meneruskan sinyal dari node lain di sekitarnya. Hal ini menjadikan jaringan mesh sangat sesuai untuk diterapkan pada aplikasi Internet of Things (IoT), di mana banyak perangkat harus berkomunikasi secara simultan tanpa ketergantungan pada satu titik akses pusat. Cara kerja Mesh Networking didasarkan pada koneksi langsung antarnode, membentuk jaringan yang saling terkait dan saling mendukung. Selain itu, jaringan ini mengimplementasikan konsep rute dinamis, di mana sistem secara otomatis memilih jalur alternatif jika satu jalur mengalami gangguan, sehingga data tetap dapat dialirkan melalui jalur lain dengan lancar. Dengan fungsi setiap node yang memperkuat sinyal dari node lain, jangkauan jaringan menjadi lebih luas dan keandalannya meningkat secara signifikan. Keunggulan ini memungkinkan jaringan mesh untuk mempertahankan konektivitas yang stabil meskipun terjadi kerusakan atau kegagalan pada beberapa node, sehingga mendukung kelancaran aliran data dalam berbagai kondisi. Hal tersebut juga membantu mengurangi kemungkinan terjadinya kehilangan sinyal, menjadikan Mesh Networking sebagai solusi ideal untuk aplikasi yang memerlukan tingkat keandalan tinggi dan performa komunikasi yang konsisten. Dibandingkan dengan sistem Radio Frequency (RF) dan peer-to-peer (P2P), Mesh Networking menawarkan keunggulan dalam aspek keandalan, fleksibilitas, serta efisiensi komunikasi. Dengan kemampuan adaptasi rute yang dinamis dan struktur node yang saling mendukung, Mesh Networking mampu mengoptimalkan transmisi data dan mengurangi risiko kegagalan jaringan, sehingga sangat tepat digunakan dalam berbagai skenario IoT yang kompleks dan membutuhkan konektivitas berkelanjutan.

A. Metode Perutean pada Sistem Mesh Network

Metode perutean (routing method) pada sistem mesh network merupakan mekanisme yang dirancang untuk menentukan jalur terbaik bagi data agar dapat berpindah dari satu node ke node lainnya dalam jaringan yang terdiri atas banyak node yang saling terhubung secara dinamis. Dalam jaringan mesh, setiap node tidak hanya berfungsi sebagai titik akhir (end device), tetapi juga berperan sebagai router yang mampu meneruskan data ke node lain, sehingga membentuk jaringan yang fleksibel, adaptif, dan tahan terhadap kegagalan pada sebagian node. Berbeda dengan jaringan tradisional yang umumnya mengandalkan satu atau beberapa router pusat, proses perutean pada jaringan mesh dilaksanakan secara terdistribusi dan kolaboratif oleh seluruh node yang terlibat. Setiap node secara berkala mengumpulkan informasi mengenai node tetangganya, baik melalui pesan broadcast maupun melalui mekanisme pertukaran tabel perutean, kemudian menggunakan algoritma tertentu untuk menentukan jalur yang paling efisien, andal, atau cepat menuju tujuan akhir. Proses ini dapat dijalankan dengan berbagai pendekatan, seperti algoritma proaktif — misalnya Optimized Link State Routing (OLSR) dan Better Approach To Mobile Adhoc Networking (B.A.T.M.A.N.) — yang selalu memperbarui tabel perutean secara periodik, maupun algoritma reaktif — seperti Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) — yang hanya mencari jalur saat ada permintaan pengiriman data. Keunggulan utama metode perutean pada jaringan mesh terletak pada kemampuannya untuk beradaptasi secara otomatis terhadap perubahan topologi jaringan, baik ketika terjadi penambahan maupun pengurangan node, serta ketahanan terhadap kegagalan jalur. Setiap node memiliki kemampuan untuk memilih jalur alternatif apabila jalur utama mengalami gangguan, sehingga proses pengiriman data tetap dapat berjalan lancar tanpa memerlukan intervensi manual. Dengan demikian, metode perutean pada mesh network memungkinkan terbentuknya jaringan yang sangat dinamis, skalabel, dan andal, yang sangat sesuai digunakan pada lingkungan dengan infrastruktur terbatas atau sering mengalami perubahan, seperti pada jaringan komunitas, wilayah bencana, serta sistem komunikasi militer dan darurat.

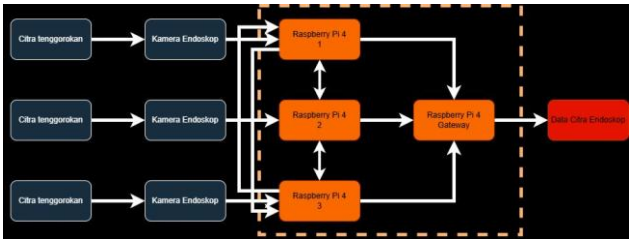
III. METODE

A. Desain Sistem

Sistem yang dirancang memiliki fungsi untuk Pengiriman untuk setiap *node* guna mengumpulkan data citra dari endoskop portabel dan Merancang setiap *node* agar dapat terkirim terute ke perangkat gateway. Pada bab perancangan sistem ini akan dibahas mengenai bagaimana cara sistem bekerja, desain perangkat keras, serta desain perangkat lunak.

B. Blok Diagram sistem

Pada Gambar 2, ditampilkan diagram blok sistem yang digunakan dalam penelitian ini, yang secara umum dapat dibagi menjadi beberapa bagian utama. Kamera endoskop terhubung langsung dengan Raspberry Pi 4 untuk melakukan pengambilan data citra tenggorokan secara detail dan real-time. Data citra yang dihasilkan kemudian didistribusikan ke setiap node Raspberry Pi 4, di mana setiap node berperan tidak hanya sebagai penyimpanan cadangan (backup), tetapi juga sebagai perantara dalam proses pengiriman data menuju gateway. Sebelum data mencapai Raspberry Pi 4 yang berfungsi sebagai gateway, node-node Raspberry Pi 4 (node satu hingga node tiga) akan menerapkan metode perutean untuk menghindari kemacetan lalu lintas data (data traffic) saat proses pengiriman berlangsung. Mekanisme perutean ini memungkinkan jalur transmisi yang lebih efisien dan menjaga kestabilan jaringan. Setelah data berhasil dikumpulkan di Raspberry Pi 4 gateway, seluruh data citra akan diteruskan dan ditampilkan melalui sistem data streaming, sehingga citra tenggorokan dapat diakses dan dipantau secara real-time. Dengan rancangan sistem ini, diharapkan proses pengiriman dan penayangan data citra dapat berjalan lebih cepat, efisien, dan mendukung kebutuhan klinis secara optimal.



GAMBAR 2.
BLOK DIAGRAM SISTEM

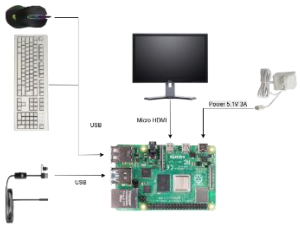
C. Alat dan komponen

Pada bagian ini, diperlihatkan untuk komponen-komponen yang digunakan, beserta fungsi dari masing-masing komponen yang digunakan:

1. **Kamera Endoskop**
   Fungsi dari Kamera Endoskop adalah menangkap citra pada Tenggorokan.
2. **Raspberry Pi 4 Model B**
   Fungsi dari Raspberry Pi 4 Model B dalam sistem ini memiliki peranan yang sangat penting dan terintegrasi secara menyeluruh. Perangkat ini berfungsi untuk menerima data citra yang telah ditangkap oleh kamera endoskop, kemudian mengimplementasikan algoritma kompresi menggunakan metode Compressive Sensing guna mengurangi ukuran data citra sehingga lebih efisien dalam transmisi. Selanjutnya, Raspberry Pi 4 Model B juga bertanggung jawab dalam pengolahan sistem Mesh Networking, khususnya dengan menerapkan metode perutean pada data citra di setiap node agar distribusi data tidak mengalami kepadatan dan tetap terkelola dengan baik. Setelah data citra dikompresi dan diproses melalui mekanisme perutean, Raspberry Pi 4 Model B akan mengirimkan data yang telah dikumpulkan ke Raspberry Pi 4 Model B yang berfungsi sebagai gateway, untuk kemudian diteruskan ke sistem Data Streaming. Dengan peran ini, Raspberry Pi 4 Model B berkontribusi signifikan dalam menjaga efisiensi aliran data, mendukung kecepatan akses, serta memastikan kualitas dan keandalan sistem komunikasi data secara keseluruhan.

D. Rangkaian Sistem

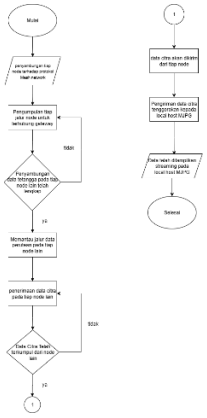
Sebelum melakukan realisasi terhadap alat yang akan digunakan dalam penelitian ini, telah dirancang rangkaian dalam bentuk ilustrasi.



GAMBAR 3.
RANGKAIAN SISTEM PENGONDISI RUANGAN OTOMATIS

E. Diagram Alur Sistem Mesh Networking Dengan Metode Perutean.

Desain perangkat lunak pada penelitian ini menjelaskan arsitektur sistem mesh networking yang diimplementasikan, termasuk mekanisme distribusi data antar node dan penerapan metode perutean. Pendekatan ini bertujuan mengoptimalkan kinerja jaringan, mencegah kemacetan data, serta memastikan efisiensi penggunaan sumber daya secara menyeluruh.



GAMBAR 4.
DIAGRAM ALUR SISTEM MESH NETWORKING DENGAN METODE PERUTEAN.

Pada Gambar 4, dijelaskan bahwa proses diawali dengan penyambungan setiap node ke dalam protokol Mesh Network, yaitu protokol B.A.T.M.A.N. Setelah seluruh node berhasil terhubung dengan node gateway, dilakukan pengujian awal untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan melalui ping message telah lengkap. Apabila data yang diterima belum lengkap, maka dilakukan pengujian ulang hingga seluruh data diterima secara menyeluruh. Setelah data dinyatakan lengkap, langkah selanjutnya adalah melakukan pengecekan untuk menentukan rute terbaik antar node, guna memastikan jalur transmisi yang paling efisien dan andal. Setelah proses peninjauan rute selesai, data citra tenggorokan yang telah terkumpul dari semua node (kecuali gateway) kemudian dikirim dan ditampilkan pada local host web Motion JPEG (MJPG). Penampilan data ini menandakan

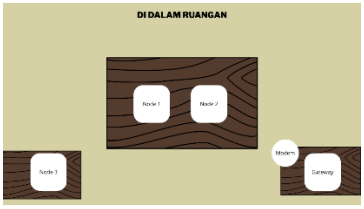
bahwa seluruh node telah berfungsi dengan baik dan sistem utama telah berjalan sesuai rancangan, sehingga proses dapat dianggap selesai.

F. Cara perolehan data dan kalibrasi

Kalibrasi dilakukan dengan mencari sinyal tetangga antara node ke node lain dengan Protokol batman.

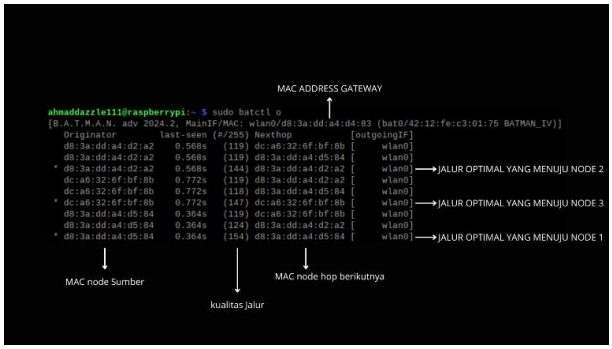
GAMBAR 5
TAMPILAN ALAMAT MAC DARI NODE TETANGGA YANG TELAH TERHUBUNG.

Pada Gambar 5, terlihat dengan jelas bahwa setiap alamat Media Access Control (MAC) dari masing-masing node telah berhasil terhubung ke gateway. Pada tampilan tersebut juga disajikan informasi mengenai waktu terakhir setiap alamat MAC terdeteksi (last seen), yang menegaskan bahwa konektivitas antar node berjalan dengan baik dan stabil. Kondisi di mana seluruh node dapat terhubung menunjukkan keberhasilan implementasi protokol B.A.T.M.A.N. yang diadopsi dalam penelitian ini. Setelah seluruh node berhasil terhubung, langkah selanjutnya adalah melakukan penelusuran jalur yang dilalui oleh masing-masing node untuk memastikan rute yang digunakan merupakan jalur terbaik berdasarkan metode perutean yang diterapkan. Pada protokol B.A.T.M.A.N., sistem secara otomatis mengatur dan memilih rute paling optimal yang dapat digunakan oleh setiap node untuk saling terhubung. Mekanisme ini dirancang untuk menghindari terjadinya kemacetan data pada jalur yang telah digunakan sebelumnya, sehingga proses pengiriman data dapat berjalan lebih efisien dan bebas dari gangguan. Dengan kata lain, protokol ini mampu secara cerdas mengelola jalur komunikasi agar aliran data tetap stabil, handal, dan adaptif, khususnya pada lingkungan jaringan yang dinamis atau sering mengalami perubahan topologi.



GAMBAR 5
Denah Pengujian Hop seluruh node didalam ruangan,

Pada Gambar 5, pengujian hop dilakukan dengan menyebarkan perangkat di dalam ruangan untuk mengevaluasi efektivitas komunikasi multi-hop pada jarak tertentu. Jarak antara gateway dan node dua diatur sekitar dua meter, begitu pula antara node satu dan node tiga. Pengaturan ini bertujuan memastikan setiap node tetap dalam jangkauan komunikasi optimal, sekaligus mendemonstrasikan kemampuan jaringan dalam meneruskan data melalui beberapa node perantara. Dengan demikian, pengujian ini menilai keandalan jaringan dalam menyampaikan data secara berantai, yang penting untuk mendukung komunikasi stabil pada lingkungan terbatas maupun luas.

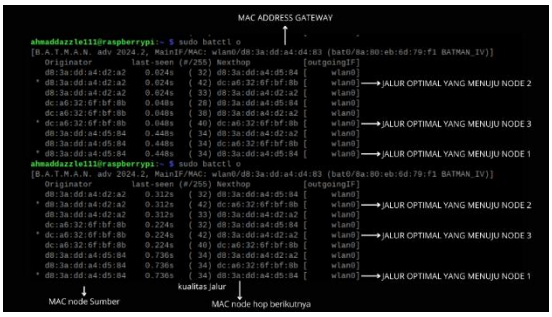


GAMBAR 6
TAMPILAN OUTPUT ROUTING METHOD ORIGINATOR NON-MULTIHOP.

Pada Gambar 6, ditampilkan keluaran metode perutean pada node gateway menuju node-node lain dalam jaringan. Kolom *Originator* menunjukkan alamat tujuan, sedangkan baris dalam tabel menggambarkan jalur yang tersedia, termasuk informasi *last-seen*, kualitas transmisi (TQ), dan node perantara (*next hop*). Baris bertanda bintang (*) menandakan jalur terbaik yang otomatis dipilih oleh protokol B.A.T.M.A.N. berdasarkan nilai TQ tertinggi. Jalur dengan TQ tinggi, seperti contoh sebesar 144, menunjukkan kualitas transmisi yang andal sehingga memungkinkan pengiriman data lebih efisien dan stabil tanpa banyak lompatan (*multi-hop*).

GAMBAR 7
DENAH PENGUJIAN HOP SALAH SATU NODE DILUAR RUANGAN,

Pada Gambar 7, pengujian kedua dilakukan dengan mengatur jarak antara node satu dan node tiga sejauh tiga meter, serta jarak antara gateway dan node satu sekitar enam meter. Pengaturan jarak yang lebih jauh ini bertujuan mengevaluasi apakah komunikasi multi-hop tetap dapat berlangsung dalam kondisi yang lebih menantang. Dengan skenario ini, pengujian menilai kemampuan jaringan dalam menjaga konektivitas dan keandalan transmisi data pada jarak yang lebih besar, sekaligus memperlihatkan peran penting node perantara agar data tetap tersampaikan dengan baik ke tujuan akhir.



GAMBAR 8
TAMPILAN OUTPUT ROUTING METHOD ORIGINATOR MULTIHOP.

Pada Gambar 8, alamat MAC dari node dua (d8:3a:dd:a4:d2:a2) berhasil ditampilkan melalui mekanisme multi-hop dengan node tiga (dc:a6:32:6f:bf:8b) karena jarak node tiga ke gateway cukup jauh, sehingga membutuhkan node dua sebagai perantara. Sementara itu, node satu (d8:3a:dd:a4:d5:84) memiliki tiga jalur komunikasi dengan kualitas transmisi yang sama, yaitu sebesar 34, sehingga dapat terhubung langsung tanpa perantara. Hal ini menunjukkan bahwa node satu memiliki koneksi yang lebih optimal dan stabil menuju gateway. Hasil ini menggambarkan fleksibilitas jaringan dalam memilih jalur terbaik berdasarkan kualitas sinyal dan jarak antarperangkat

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Hasil Impplementasi Network*

Setelah *network* dikalibrasi, pengambilan data dilakukan kembali guna memastikan bahwa *network* sudah dapat diolah untuk data yang diperlukan.

TABEL 1
TABLE HASIL RATA RATA NETWORK STREAMING

NETWORK STREAMING						
No.	**Source Node**	**Destiantion Node**	**Delay**	**Bytes Sent**	**Throughput**	
					Ping Message	**(Estimation Video)**
1	1	Gateway	6.563 ms	45693122 bytes	35.87 Mbps	44.13 Mbps
2	Gateway	1	9.739 ms	34349472 bytes	27.09 Mbps	52.91 Mbps
3	2	Gateway	10.124 ms	32144328 bytes	25.28 Mbps	54.72 Mbps
4	Gateway	2	30.787 ms	45557920 bytes	35.57 Mbps	44.43 Mbps
5	3	Gateway	10.781 ms	40828816 bytes	32.24 Mbps	47.76 Mbps
6	Gateway	3	10.606 ms	20785622 bytes	16.29 Mbps	63.71 Mbps
7	1	2	9.907 ms	77422104 bytes	58.88 Mbps	21.12 Mbps
8	2	1	39.571 ms	44974310 bytes	35.21 Mbps	44.79 Mbps
9	1	3	74.407 ms	28880302 bytes	22.74 Mbps	57.26 Mbps
10	3	1	11.834 ms	46786248 bytes	36.64 Mbps	43.36 Mbps
11	2	3	11.992 ms	58605760 bytes	46.10 Mbps	33.90 Mbps
12	3	2	31.558 ms	46209132 bytes	36.07 Mbps	43.93 Mbps
RATA-RATA:			21.45 ms	43519678 bytes	34.00 Mbps	46.00 Mbps

Berdasarkan Tabel 1, performa jaringan streaming menunjukkan hasil yang umumnya stabil meskipun terdapat variasi delay dan throughput. Rata-rata delay tercatat sebesar 21,45 ms, dengan nilai terendah 6,563 ms dan tertinggi 74,407 ms, yang mencerminkan kemampuan jaringan merespons dengan baik meskipun ada fluktuasi. Rata-rata data yang berhasil dikirim mencapai 43.519.678 bytes, menunjukkan kapasitas jaringan yang memadai untuk transfer data besar. Nilai rata-rata throughput berdasarkan Ping Message sebesar 34,00 Mbps, sedangkan nilai Estimation Video sebesar 46,00 Mbps, yang dihitung dari selisih kapasitas maksimum modem (80,00 Mbps) dan throughput ping. Hal ini menunjukkan sisa kapasitas jaringan yang masih dapat digunakan untuk video streaming dengan kualitas tinggi. Secara keseluruhan, jaringan dinilai andal dan mampu mendukung layanan modern seperti video conference dan telemedicine tanpa packet loss, dengan rasio pengiriman paket yang selalu mencapai 100%

Sensor diletakkan masing-masing 2.6-meter dari sensor referensi, dan akan diambil data temperatur dan kelembapan, hasil dari ketiga sensor akan dirata-ratakan untuk pendeteksian suhu dan kelembapan pada ruangan.

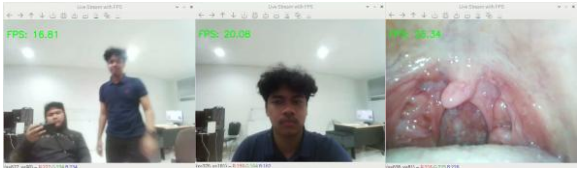
TABEL 2
TABLE HASIL RATA RATA NETWORK NON-STREAMING

Non-Streaming					
No.	**Source Node**	**Destination Node**	**Delay**	**Bytes Sent**	**Throughput (Ping Message)**
1	1	Gateway	9.730 ms	85275601 Bytes	67.22 Mbps
2	Gateway	1	14.927 ms	84527272 Bytes	66.95 Mbps
3	2	Gateway	8.335 ms	94059280 Bytes	74.41 Mbps
4	Gateway	2	8.843 ms	10478094 Bytes	82.42 Mbps
5	3	Gateway	8.367 ms	76295916 Bytes	59.88 Mbps
6	Gateway	3	15.417 ms	94737060 Bytes	75.10 Mbps
7	1	2	9.907 ms	77422104 Bytes	60.87 Mbps
8	2	1	9.424 ms	80373513 Bytes	63.03 Mbps
9	1	3	9.408 ms	93317854 Bytes	74.63 Mbps
10	3	1	13.139 ms	77229929 Bytes	60.78 Mbps
11	2	3	17.837 ms	84656423 Bytes	66.29 Mbps
12	3	2	7.854 ms	76425214 Bytes	59.94 Mbps
RATA-RATA:			11.099 ms	85757901 Bytes	67.63 Mbps

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengujian jaringan non-streaming menunjukkan performa yang sangat baik, stabil, dan andal. Rata-rata delay tercatat sebesar 11,099 ms, menunjukkan respons jaringan yang cepat dan mendukung komunikasi data secara efisien. Rata-rata data yang berhasil dikirim mencapai 85.757.901 bytes, menandakan kapasitas jaringan yang mampu menangani volume data besar tanpa penurunan performa. Rata-rata throughput berdasarkan Ping Message sebesar 67,63 Mbps menunjukkan kecepatan transmisi yang tinggi dan konsisten. Selain mendukung pengiriman file besar, hal ini juga menunjukkan kestabilan aliran data yang sangat diperlukan untuk aplikasi dengan tuntutan keandalan tinggi. Secara keseluruhan, tidak adanya packet loss memperkuat kesimpulan bahwa jaringan non-streaming ini memiliki kualitas optimal dan siap digunakan untuk berbagai kebutuhan operasional, baik komunikasi rutin maupun aplikasi transfer data besar.

B. Hasil Implementasi Frame Per Second (FPS) Pada Kamera Endoskop

Pengujian pada FPS pada kamera endoskop bertujuan untuk menunjukan performa grafis atau kecepatan pemroses tampilan atau visuaslisasi data pada setiap *node*. Pengujian dilakukan pada masing-masing kamera yang telah terhubung pada setiap *node* dan pengujian dilakukan dengan cara mengukur FPS kamera ketika objek bergerak, ketika objek tidak bergerak, dan didalam. Masing-masing pengujian dilakukan sebanyak 10 kali.



GAMBAR 8
TAMPILAN OBJEK BERGERAK, OBJEK TIDAK BERGERAK, DAN CITRA TENGGOROKAN PADA NODE 1.

Pada Gambar 8, ditampilkan bagaimana proses pengambilan data dilakukan oleh kamera endoskop pada berbagai kondisi, baik saat merekam objek yang bergerak, objek yang tidak bergerak, maupun saat merekam citra di dalam tenggorokan, sehingga dapat menggambarkan kemampuan dan kualitas visual yang dihasilkan secara menyeluruh.

TABEL 3
PENGUJIAN KAMERA ENDOSKOP NODE 1.

No.	**Objek Bergerak(FPS)**	**Objek Tidak Bergerak (FPS)**	**Citra Pada Tenggorokan (FPS)**
1	16.79	20.19	25.09
2	16.76	20.16	24.81
3	18.94	20.09	25.27
4	20.43	20.29	24.93
5	20.16	20.08	25.02
6	18.43	20.08	25.01
7	16.83	20.19	25.34
8	16.81	20.15	24.92
9	16.77	20.29	24.84
10	20.23	20.17	25.22
RATA-RATA:	18.22	20.17	25.05

Berdasarkan Tabel 3, pengujian kamera endoskop Node 1 menunjukkan performa yang stabil dalam berbagai kondisi. Rata-rata frame per second (FPS) pada objek bergerak sebesar 18,22 FPS, menandakan kemampuan kamera dalam merekam gerakan meskipun berada di bawah FPS saat objek diam. Pada objek tidak bergerak, rata-rata FPS tercatat 20,17 FPS, mengindikasikan kualitas gambar yang lebih stabil.

Sementara itu, pada citra tenggorokan, rata-rata FPS mencapai 25,05 FPS, tertinggi di antara ketiga kategori, menunjukkan kemampuan menangkap detail internal dengan sangat baik. Secara keseluruhan, kamera Node 1 memiliki kinerja yang baik dan memadai untuk aplikasi medis, meskipun terdapat penurunan FPS pada kategori objek bergerak dibandingkan dengan kondisi diam maupun citra tenggorokan.

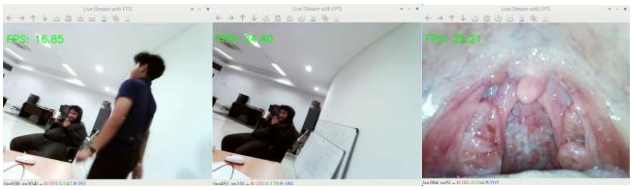
GAMBAR 9
TAMPILAN OBJEK BERGERAK, OBJEK TIDAK BERGERAK, DAN CITRA TENGGOROKAN PADA NODE 2.

Pada Gambar 9, ditampilkan bagaimana proses pengambilan data dilakukan oleh kamera endoskop pada berbagai kondisi, baik saat merekam objek yang bergerak, objek yang tidak bergerak, maupun saat merekam citra di dalam tenggorokan, sehingga dapat menggambarkan kemampuan dan kualitas visual yang dihasilkan secara menyeluruh.

TABEL 4
PENGUJIAN KAMERA ENDOSKOP NODE 2.

No.	Objek Bergerak(FPS)	Objek Tidak Bergerak (FPS)	Citra Pada Tenggorokan (FPS)
1	16.53	25.12	25.10
2	17.01	24.53	24.71
3	16.73	25.01	24.91
4	16.94	25.67	25.00
5	16.75	25.10	24.88
6	16.70	25.04	25.30
7	16.95	24.68	24.88
8	16.71	24.94	25.90
9	16.83	25.51	24.25
10	16.74	25.06	25.23
RATA-RATA:	16.89	25.07	25.02

Berdasarkan Tabel 4, pengujian kamera endoskop Node 2 menunjukkan performa yang stabil dalam menangkap gambar pada berbagai kondisi. Rata-rata frame per second (FPS) pada objek bergerak sebesar 16,89 FPS, mengindikasikan kemampuan merekam gerakan meskipun berada di bawah FPS saat objek diam. Pada objek tidak bergerak, rata-rata FPS tercatat 25,07 FPS, sedangkan pada citra tenggorokan mencapai 25,02 FPS, yang menunjukkan kestabilan tinggi dan kualitas visual yang baik. Secara keseluruhan, kamera Node 2 memiliki kinerja serupa dengan Node 1, namun dengan penurunan FPS lebih besar pada kategori objek bergerak. Hasil ini membuktikan bahwa kamera tetap mampu memastikan kualitas visual yang memadai untuk berbagai kondisi, termasuk citra internal rongga tubuh.



GAMBAR 10
TAMPILAN OBJEK BERGERAK, OBJEK TIDAK BERGERAK, DAN CITRA TENGGOROKAN PADA NODE 3.

Pada Gambar 10, ditampilkan bagaimana proses pengambilan data dilakukan oleh kamera endoskop pada berbagai kondisi, baik saat merekam objek yang bergerak, objek yang tidak bergerak, maupun saat merekam citra di dalam tenggorokan, sehingga dapat menggambarkan kemampuan dan kualitas visual yang dihasilkan secara menyeluruh.

TABEL 5
PENGUJIAN KAMERA ENDOSKOP NODE 3.

No.	Objek Bergerak(FPS)	Objek Tidak Bergerak (FPS)	Citra Pada Tenggorokan (FPS)
1	16.61	24.95	24.84
2	16.89	25.00	24.79
3	16.87	25.09	25.41
4	19.61	25.09	25.62
5	18.01	24.97	24.98
6	16.91	25.21	24.84
7	16.85	25.18	25.47
8	16.81	24.82	24.91
9	16.86	25.31	25.66
10	18.37	24.40	24.41
RATA-RATA:	17.48	24.90	25.19

Berdasarkan Tabel 5, pengujian kamera endoskop Node 3 menunjukkan performa yang sangat baik dalam berbagai kondisi. Rata-rata frame per second (FPS) pada objek bergerak tercatat 17,48 FPS, menandakan kemampuan merekam gerakan meskipun lebih rendah dibanding kondisi diam. Pada objek tidak bergerak, rata-rata FPS mencapai 24,90 FPS, sedangkan pada citra tenggorokan mencapai 25,19 FPS, yang merupakan nilai tertinggi. Hasil ini menegaskan kemampuan kamera dalam menghasilkan citra detail dan halus, sangat penting untuk aplikasi medis. Secara keseluruhan, kamera Node 3 menunjukkan kinerja yang andal dan stabil, mendukung perekaman visual medis secara efektif dan efisien.

C. Analisis Keseluruhan

Pada bagian analisis, terdapat beberapa parameter penting yang harus dipenuhi sesuai dengan spesifikasi perangkat dan sistem yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Dua di

antara parameter utama tersebut adalah efisiensi sistem mesh networking dan pengaruh kualitas frame per second (FPS) pada kamera endoskop untuk mendeteksi kondisi radang tenggorokan. Penggunaan sistem mesh networking dengan tiga node terbukti efektif dalam mengirim dan menerima data secara andal, namun jarak antar node tetap menjadi faktor krusial yang memengaruhi performa. Semakin jauh jarak antar node, semakin lemah sinyal Wi-Fi yang diterima, sehingga dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya packet loss, latency yang lebih tinggi, serta menurunkan throughput yang akhirnya memengaruhi kecepatan transfer data karena adanya hambatan fisik. Implementasi protokol B.A.T.M.A.N. pada sistem mesh memberikan keunggulan dalam memilih jalur komunikasi terbaik secara otomatis, sehingga node yang berada di posisi terjauh dapat menggunakan node tengah sebagai relay atau perantara. Meskipun demikian, penggunaan protokol B.A.T.M.A.N. juga memiliki potensi menimbulkan collision atau tabrakan sinyal, terutama ketika banyak node aktif secara bersamaan dalam jarak yang berdekatan dan menggunakan frekuensi Wi-Fi yang sama. Kendati protokol ini tidak menyebabkan collision secara langsung, kondisi jaringan yang padat tetap bisa memperbesar risikonya. Beberapa strategi mitigasi dapat dilakukan, seperti penjadwalan pengiriman data setiap node, pengaturan jarak optimal, serta pemilihan kanal Wi-Fi yang kurang padat untuk mengurangi interferensi.Selain itu, kualitas FPS pada kamera endoskop juga menjadi parameter yang sangat penting dalam mendeteksi kondisi radang tenggorokan. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.5 hingga Tabel 4.7, kamera endoskop menunjukkan nilai rata-rata FPS yang stabil, baik pada objek bergerak, objek tidak bergerak, maupun citra visual tenggorokan. Stabilitas FPS ini memungkinkan visualisasi yang jelas dan detail, yang sangat krusial dalam mengidentifikasi dua kondisi utama radang tenggorokan, yaitu radang ringan dan radang kronis. Dengan spesifikasi kamera yang mendukung kualitas visual tinggi, sistem dapat mengklasifikasikan kondisi tenggorokan dengan lebih akurat dan cepat. Oleh karena itu, kombinasi antara efisiensi sistem mesh networking dan kualitas kamera endoskop yang mumpuni menghasilkan sistem yang andal, adaptif, serta mampu mendukung kebutuhan diagnostik di bidang kesehatan secara efektif dan efisien.

V. KESIMPULAN

Dengan mengimplementasikan sistem mesh networking, setiap node dalam jaringan dapat terhubung ke beberapa node lain secara langsung, sehingga apabila satu jalur terganggu akibat gangguan sinyal atau kerusakan perangkat, data dapat dialihkan secara otomatis melalui jalur alternatif yang masih aktif. Hal ini meningkatkan keandalan dan kestabilan koneksi, memungkinkan transmisi data tetap berjalan tanpa interupsi signifikan. Selain itu, setiap node tidak hanya berfungsi sebagai penerima sinyal, tetapi juga sebagai pemancar yang mampu menyebarkan koneksi ke area di sekitarnya. Keunggulan ini memungkinkan jaringan untuk mencakup area yang jauh lebih luas dibandingkan dengan sistem berbasis router tunggal atau repeater tradisional. Ketika sebuah node baru ditambahkan, node tersebut secara otomatis memperluas jangkauan sinyal ke wilayah baru tanpa memerlukan instalasi kabel tambahan, sehingga mempermudah ekspansi jaringan. Tidak hanya memperluas cakupan, node yang baru ditambahkan juga meningkatkan ketahanan dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Setiap node berfungsi sebagai titik distribusi sinyal sekaligus penguat koneksi, yang pada akhirnya memperbaiki kualitas komunikasi data antar perangkat di dalam jaringan. Dengan demikian, mesh networking menjadi solusi yang efektif untuk menciptakan sistem jaringan yang lebih adaptif, tangguh, dan mampu memenuhi kebutuhan komunikasi data yang luas serta dinamis.

REFERENSI

[1] Sureshkumar Selvaraj and Suresh Sundaravaradhan “Challenges and opportunities in IoT healthcare systems: a systematic review” Springer Nature, Switzerland, 30 Desember 2019.
[2] Challenges and opportunities in IoT healthcare systems: a systematic review
[3] Roberta De Michele and Marco Furini “IoT Healthcare: Benefits, Issues and Challenges” Association for Computing Machinery, New York, NY, United States, 25 September 2019. IoT Healthcare | Proceedings of the 5th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good
[4] Jung Kweon Bae, MEng (Biomed Eng); Andrey Vavilin, PhD; Joon S You, PhD; Hyeongeun Kim, BE; Seon Young Ryu, PhD; Jeong Hun Jang, and MD; Woonggyu Jung, PhD “Smartphone-Based Endoscope System for Advanced Point-of-Care Diagnostics: Feasibility Study” JMIR Publication, Ulsan National Institute of Science and Technology Department of Biomedical Engineering, 27 Juli 2017.
[5] https://mhealth.jmir.org/2017/7/e99/PDF
[6] Youngjin Moon, PhD; Jeongmin Oh, BSc; Jaeho Hyun, MSc; Youngkyu Kim, MSc; Jaesoon Choi, PhD; Jeongman Namgoong, MD, PhD; and Jun Ki Kim, PhD “Cost-Effective Smartphone-Based Articulable Endoscope Systems for Developing Countries: Instrument Validation Study” JMIR Publication, Asan Institute for Life Sciences, Biomedical Engineering Research Center, 10 September 2020.
[7] https://mhealth.jmir.org/2020/9/e17057/PDF
[8] Antonio Cilfone, Luca Davoli, Laura Belli, & Gianluigi Ferrari “Wireless Mesh Networking: An IoT-Oriented Perspective Survey on Relevant Technologies” Department of Engineering and Architecture, University of Parma, 10 April 2019.Wireless Mesh Networking: An IoT-Oriented Perspective Survey on Relevant Technologies
[9] Zuoming Fu, Ziyi Jin, Chongan Zhang, Zhongyu He, Zhenzhou Zha, Chunyong Hu, Tianyuan Gan, Qinglai Yan, Peng Wang, And Xuesong Ye “The Future of Endoscopic Navigation: A Review of Advanced Endoscopic Vision Technology” Biosensor National Special Laboratory, Key Laboratory of Biomedical Engineering of Ministry of Education, College of Biomedical Engineering and Instrument Science, Zhejiang University, 18 Maret 2021.https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9374417