

Perancangan dan Implementasi *Broadband Wireless Access* Berbasis 802.11ac pada Jaringan Provider Zettalink

Design and Implementation of *Broadband Wireless Access* based on 802.11ac for the Zettalink Provider Network

Nadia Guswita¹, Amelia Yolanda², Ummul Khair³, Yoppi Lisyadi Oktapianus⁴

¹ Politeknik Negeri Padang; email: nadiaguswita5@gmail.com

^{2,3} Program Studi D4 Teknik Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang; email: amelia@pnp.ac.id, ummkha7@gmail.com, Yoppi.lisyadi@gmail.com

[Dikirimkan: 30 Juli 2024, Direvisi: 4 November 2024, Diterima: 25 November 2024]

Corresponding Author: Nadia Guswita

INTISARI — *Broadband Wireless Access (BWA)* adalah jenis jaringan lokal *nirkabel* dengan keunggulan pada jumlah pengguna, jangkauan yang luas, serta kecepatan tinggi, sesuai dengan standar IEEE 802.16. Seiring meningkatnya kebutuhan akan akses internet stabil dan cepat, beberapa wilayah, termasuk Kecamatan Lembah Gumanti, menghadapi kendala dalam pengembangan infrastruktur telekomunikasi. Penelitian ini bertujuan untuk membangun jaringan BWA guna meningkatkan kualitas jaringan di kecamatan tersebut. Sebagian besar jaringan WLAN saat ini menggunakan frekuensi 2.4GHz dengan standar IEEE 802.11g dan 802.11n, yang sering terjadi interferensi atau gangguan. Standar IEEE 802.11ac, yang hanya beroperasi pada frekuensi 5GHz, digunakan dalam penelitian ini untuk menghindari interferensi pada 2.4GHz serta mendukung lebar kanal hingga 80MHz, yang meningkatkan efisiensi jaringan. Sebagai penyedia layanan lokal, Zettalink memiliki posisi strategis dalam mengimplementasikan teknologi BWA berbasis 802.11ac di wilayah rural seperti Lembah Gumanti. Berbeda dengan teknologi WiMAX yang mahal dan berbayar, BWA 802.11ac memungkinkan akses yang lebih terjangkau pada daerah rural. Jaringan ini dirancang dengan metode *Point-to-multipoint* menggunakan *antenna sectoral* dan *omnidirectional*, sesuai dengan kondisi geografis Lembah Gumanti yang berbukit dan lembap. Fokus utama penelitian ini adalah perancangan jaringan dengan *UISP Design Center*, analisis penerapan *antenna sectoral* pada Ubiquiti LiteBeam M5, dan perhitungan daya terima perangkat. Tantangan utama dalam implementasi ini adalah risiko interferensi akibat cuaca lembap dan curah hujan tinggi, serta biaya tinggi untuk pengadaan perangkat.

ABSTRACT — *Broadband Wireless Access (BWA)* is a type of wireless local area network known for its ability to support a large number of users, wide coverage, and high speed, in accordance with the IEEE 802.16 standards. As the demand for stable and fast internet access continues to grow, some areas, including Lembah Gumanti District, face challenges in developing telecommunications infrastructure. This research aims to establish a BWA network to enhance the quality of connectivity in the district. Most current WLAN networks operate on the 2.4GHz frequency using the IEEE 802.11g and 802.11n standards, which often experience interference issues. In this study, the IEEE 802.11ac standard, which operates exclusively on the 5GHz frequency, is employed to avoid interference associated with the 2.4GHz range and support channel widths of up to 80MHz, thereby improving network efficiency. As a local service provider, Zettalink is strategically positioned to implement BWA technology based on 802.11ac in rural areas like Lembah Gumanti. Unlike the expensive and subscription-based WiMAX technology, 802.11ac offers a more affordable access solution for rural regions. The network is designed using a *Point-to-multipoint* method with *sectoral* and *omnidirectional* Antennas, tailored to the hilly and humid geographical conditions of Lembah Gumanti. The primary focus of this research includes network design with the *UISP Design Center*, analysis of the application of *sectoral* Antennas using Ubiquiti LiteBeam M5, and calculations of device receiving power. The main challenges in this implementation include the risk of interference due to humid weather and high rainfall, as well as the high costs associated with the procurement of equipment.

KATA KUNCI — *Broadband Wireless Access, 802.11ac, Point-to-MultiPoint, LiteBeam M5, UISP Design Center.*

I. PENDAHULUAN

Pada penelitian [1] definisi dari Salah satu standar yang dikenal sebagai WiMax (*Interoperability Worldwide for Microwave Access*) memungkinkan akses *nirkabel* dengan jangkauan yang luas. Standar ini dapat menggantikan jalur *broadband* kabel dan pelanggan digital. Dengan menggunakan *Articonet*, Banyak organisasi berharap dapat menggunakan teknologi yang terkandung dalam standar 802.16d dan 802.16e karena WiMax memungkinkan akses *nirkabel* yang tetap dan *mobile* tanpa harus berada dalam jalur pandang terhadap *base station*, hampir sebagian besar pengembangan jaringan WLAN berbasis 2.4GHz, terutama untuk penggunaan di dalam gedung. Standar IEEE 802.11g dan 802.11n adalah standar yang paling umum, atau kombinasi teknologi 2.4GHz (802.11g/n) dan 5GHz (802.11n). Berbeda dengan IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac yang merupakan peningkatan dari 802.11n, menjadi standar berikutnya yang bekerja hanya pada frekuensi 5GHz. Ini bertujuan untuk menghindari semakin tingginya

interferensi yang terjadi pada frekuensi 2.4GHz. Salah satu peningkatan utama pada standar IEEE 802.11ac adalah dukungannya terhadap lebar *channel* 80MHz [2].

Pada penelitian beberapa tahun terakhir telah dilakukan penelitian berkaitan dengan *Broadband Wireless Acces* berbasis 802.11ac. Di antaranya adalah [3] Hampir sebagian besar pengembangan jaringan WLAN saat ini, terutama untuk penggunaan di dalam ruang, berbasis pada teknologi 2.4GHz. Standar yang biasa digunakan adalah IEEE 802.11g dan 802.11n, atau perpaduan dari 2.4GHz (802.11g/n) dengan teknologi 5GHz (802.11n). Berbeda dengan IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac yang merupakan peningkatan dari 802.11n, menjadi standar berikutnya yang bekerja hanya pada frekuensi 5GHz. Adapun [4] melakukan penelitian perhitungan nilai-nilai parameter pembangun jaringan menggunakan perhitungan daya terima *antenna*. *Propagation loss*, EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*), dan RSL dihitung. Kelebihan menggunakan jaringan *nirkabel* termasuk kemampuan untuk berkomunikasi berpindah atau bergerak (mobil), harga instalasi dan pemasangan yang hampir lebih murah, dan penggunaan perangkat jaringan tidak memiliki batasan, oleh batas ruang gerak di sekitar lokasi. Keunggulan jaringan *nirkabel* adalah alasan utama penggunaan teknologi ini oleh Diskominfo Kabupaten Sanggau. Penelitian sebelumnya hanya berfokus pada satu teknologi saja, karena jaringan tersebut berbayar. Pada kawasan kecamatan Lembah Gumanti, belum ada yang merancang dan *mengimplementasikan Broadband Wireless Access* berbasis 802.11ac. Sebagai salah satu penyedia layanan jaringan terkemuka, Zettalink memiliki posisi strategis dan potensi besar untuk mengatasi masalah akses internet dengan menerapkan teknologi jaringan *Broadband Wireless Access* berbasis standar 802.11ac. Zettalink memanfaatkan pengalaman luasnya dalam industri telekomunikasi serta infrastrukturnya yang canggih untuk melaksanakan inovasi ini.

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan *Wi-Fi* dengan WiMax dapat menghindari interferensi, tetapi zettalink memilih teknologi *wireless LAN* 802.11ac karena jaringan ini tidak berbayar dan cocok untuk daerah rural seperti kecamatan Lembah Gumanti. Penggunaan *Wi-Fi* di daerah rural tidak sebanyak di kota besar sehingga rentan terhadap interferensi. Perancangan jaringan *Broadband Wireless Access* 802.11ac ini menggunakan metode *Point-to-multipoint* untuk menghubungkan beberapa perangkat *access point* dalam satu jaringan. *Antenna* yang digunakan adalah *antenna* sektor dengan sudut pancaran 45-180 derajat atau *Antenna omnidirectional* dengan sudut 360 derajat. Kecamatan Lembah Gumanti terletak di kabupaten Solok, Sumatera Barat dengan koordinat *transmitter* 1°02'23.2" LS dan 100°46'20" BT, *station1* pada 1°02'32.4" LS dan 100°46'29" BT, serta *station2* pada 1°02'33" LS dan 100°46'28.8" BT. Pada [5] kondisi geografis wilayah ini, seperti bukit terjal dan hutan lebat, serta curah hujan yang tinggi, membuat pembangunan infrastruktur fisik menjadi tantangan besar. Hambatan utama lainnya adalah biaya pembangunan yang tinggi, karena pengadaan dan pemasangan perangkat telekomunikasi yang canggih serta pembangunan infrastruktur pendukungnya memerlukan biaya yang besar [6]. Pada penelitian ini penulis merancang dan melakukan penelitian serta menerapkan kinerja sistem yang sedang dikembangkan oleh zettalink di kecamatan Lembah Gumanti untuk meningkatkan kualitas jaringan di area perumahan tersebut dengan biaya yang rendah menggunakan IEEE 802.11 ac teknologi *Wi-Fi*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. JARINGAN WIFI 802.11ac

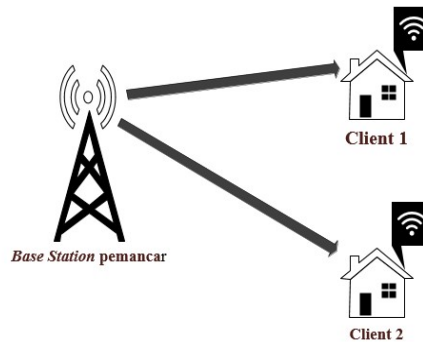
Jaringan WiFi (*Wireless Fidelity*) berbasis IEEE 802.11 saat ini menjadi standar. Keunggulan jaringan *WiFi* termasuk mobilitas pengguna, kecepatan dan kemudahan instalasi, dan *fleksibilitas*. Standar ini diadopsi di lingkungan kantor, rumah, pusat perbelanjaan, bandara, universitas, dan diberagam area lainnya [7]. Masifnya adopsi jaringan *wireless* ini didukung oleh tersedianya perangkat-perangkat disisi pengguna yang mendukung transfer data dengan rate tinggi. Dukungan terhadap standar ini terdapat pada sebagian besar laptop, *smartphone*, dan *tablet* [8]. IEEE 802.11n (5GHz) pada kondisi LoS dengan *channel width* 40MHz, menghasilkan penguatan 36% pada rata-rata *throughput* dibandingkan dengan *channel width* 20MHz pada jarak 20m dari *wireless router*. Pada jarak 5m, rata-rata *throughput* IEEE 802.11ac mencapai 42% lebih baik dibandingkan dengan 802.11n [9].

B. TEKNOLOGI JARINGAN AKSES NIRKABEL

Teknologi terbaru untuk jaringan *nirkabel*, teknologi akses *broadband nirkabel*, dapat memenuhi permintaan pelanggan untuk kecepatan dan kecepatan internet yang diperbarui. *Broadband Wireless Access* adalah salah satu jenis konektivitas jaringan lokal yang memenuhi standar IEEE 108.16 [10]. Keunggulan akses *broadband nirkabel* Jika dibandingkan dengan jaringan *nirkabel* lainnya, ini adalah kecepatan yang tinggi, jumlah pengguna dan jarak. Menurut WiMAX Forum, WiMax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) adalah standard yang memungkinkan akses *nirkabel* yang luas dan dapat menggantikan jalur pelanggan digital dan *broadband kabel* [11]. Dengan menggunakan *articonet*, WiMax menawarkan jaringan *nirkabel* tetap dan ponsel tanpa harus berada di jalur dengan *base station*. Karena penggunaan frekuensi yang lebih sedikit, yang meningkatkan redaman dan daya jangkau di dalam Gedung, banyak organisasi berharap dapat menggunakan teknologi standar 802.16d dan 802.16e. Perangkat WiMax bersertifikasi standar 802.16e sekarang digunakan dalam jaringan komersial [12].

C. JARINGAN POINT-TO-MULTI-POINT (P2MP)

Jaringan ini terhubung melalui kabel ke jaringan internet dari satu titik ke berbagai sumber radio, stasiun radio yang berada di lokasi yang sangat jauh sehingga tidak dapat diakses menggunakan kabel jaringan, dapat dilihat pada gambar 1 merupakan contoh jaringan *Point-to-multipoint* [13]. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan *Point-to-multipoint* untuk berbagi jaringan internet dari gudang pusat ke gudang lain dan mengatur *bandwidth* serta membatasi akses *website*. Dalam setiap siklus layanan, *station* radio mengirimkan permintaan akses internet ke titik akses radio sebelum melakukan transmisi apa pun. Setelah mengenali permintaan tersebut, jalur akses radio akan menyediakan akses internet ke setiap *station* radio [14].



Gambar 1. Point-to-MultiPoint

D. UBIQUITI LITEBEAM M5

Dengan jangkauan yang luar biasa jauh, *Ubiquiti LiteBeam M5* adalah perangkat airMAX CPE yang sangat ringan dengan 23 dBi frekuensi 5 GHz. *Antenna* ini memiliki daya pancar 70 derajat, yang memungkinkan daya pancar lebih fokus ke klien dan mengurangi gangguan, dan memiliki kualitas *Ubiquiti* yang dapat membawa *bandwidth* yang besar dan nyata [15].

E. PERHITUNGAN DAYA TERIMA ANTENNA

1) PROPAGASI LOSS

Menurunnya kekuatan gelombang radio saat di ruang bebas dikenal sebagai redaman ruang bebas. Berapa banyak frekuensi yang terjadi dan berapa jauh jarak yang membedakan pengirim dan penerima memengaruhi redaman ini [16].

Ruang redaman yang tersedia adalah:

$$LP = FSL = 32,45 + 20 \log F \text{ (MHz)} + 20 \log d \text{ (Km)} \quad (1)$$

Dimana: f = frekuensi operasi (MHz)

D = menunjukkan jarak antara pengirim dan penerima.

2) EIRP (EFFECTIVE ISOTROPIC RADIATED POWER)

Ini adalah besaran yang menunjukkan kekuatan pancaran *antenna* [17], EIRP dapat dihitung melalui penggunaan rumus berikut:

$$EIRP = P_{tx} + G_{tx} - L_{tx} \quad (2)$$

Dimana: P_{tx} = daya pancar (dBm)

G_{tx} = kekuatan *antenna* pemancar (dB)

L_{tx} = rugi pemancar (dB).

3) RSL (RECEIVE SIGNAL LEVEL)

Kualitas sinyal yang diterima oleh perangkat penerima disebut $RSL \geq R_{th}$, dan harus lebih sensitif daripada perangkat penerima [18]. Nilai RSL dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$RSL = EIRP - L_{propagasi} + GRX - LRX \quad (3)$$

Dimana: EIRP = *Effective Isotropic Radiated Power* (dBm)

$L_{propagasi}$ = rugi gelombang saat beroperasi (dB)

GRX = kuat *antenna* penerima (dB)

LRX = tingkat kerugian saluran penerima (dB).

4) SINR (SIGNAL TO INTERFERENCE NOISE RATIO)

SINR adalah rasio yang membandingkan *signal* utama yang ditransmisikan dan interferensi dan suara yang diterima oleh pengguna. Operator telekomunikasi menggunakan parameter SINR ini untuk mengukur kualitas sinyal jaringan untuk mengetahui bagaimana variabel yang mempengaruhi berhubungan satu sama lain akses radio frekuensi [19].

SINR dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$SINR = S / I + N \quad (4)$$

Dimana:

S = Rata-rata kuat sinyal.

I = Daya interferensi rata-rata

N = *Noise of Power Noise*

5) THROUGHPUT

Throughput Kecepatan transfer data yang sebenarnya, diukur dalam bit per detik (bps). *Throughput* juga merupakan laju data aktual yang dikirim. Kapasitas *bandwidth* yang sebenarnya digunakan diwakili oleh *throughput*. *Download* dan *upload* adalah dua kategori *throughput* [20]. Persamaan nilai kapasitas *Claude Shannon* adalah ini.

$$C = B \log_2(1 + SINR) \\ = 3.32 B \log_{10}(1 + SINR) \quad (5)$$

dimana,

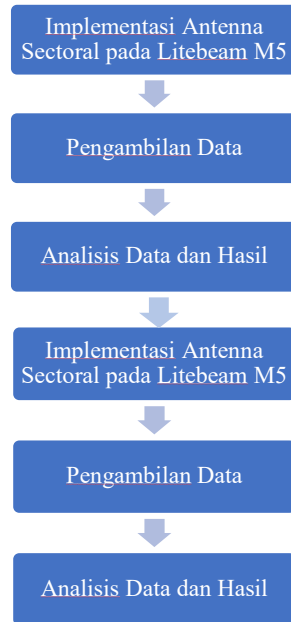
C = kapasitas data (bit/s)

B = sistem komunikasi *bandwidth* (Hz)

SINR = rasio daya perbandingan sinyal dengan daya gangguan dan interferensi.

III. METODE PENELITIAN

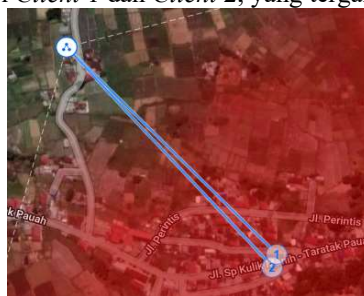
Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan akses internet di kecamatan Lembah Gumanti dengan fokus pada peningkatan kualitas dan kinerja jaringan dibandingkan kondisi sebelumnya, di mana daerah tersebut mengalami kesulitan jaringan internet akibat *interferensi* dan jarak BTS (*Base Transceiver Station*) yang jauh. Penelitian ini didorong oleh keluhan dari pelanggan yang menyatakan bahwa layanan internet di wilayah tersebut masih belum optimal. Oleh karena itu, provider Zettalink merancang jaringan *Broadband Wireless Access* 802.11ac dengan menggunakan metode *Point-to-multipoint* akses internet untuk jaringan *nirkabel* di luar ruangan. Metode ini menghubungkan beberapa lokasi ke satu pusat untuk mengatasi masalah akses internet di area tersebut. Berikut merupakan alur penelitian terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian

A. PERANCANGAN UISP DESAIN CENTER

Ubiquiti Internet Service Provider (UISP) Design Center adalah sebuah alat perencanaan jaringan yang disediakan oleh *Ubiquiti networks*. Alat ini dirancang untuk mempermudah proses desain dan optimalisasi infrastruktur jaringan nirkabel. Dalam pengerjaan penelitian ini, langkah-langkahnya meliputi mengakses situs web ispdesign.ui.com untuk melakukan simulasi *point-to-multipoint* di kecamatan Lembah Gumanti sesuai dengan lokasi *Client 1* dan *Client 2*, yang tergambar dengan jelas pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Simulasi Perancangan di UISP Desain Center

Simulasi wilayah ini menggunakan indikator zona warna yang terdiri dari lima warna berbeda pada Tabel 3.1 untuk menunjukkan kualitas koneksi, yaitu merah, *orange*, kuning, dan hijau, dari yang terbaik hingga yang terburuk. Zona merah menunjukkan kualitas sangat baik dengan nilai ≥ 65 , di mana *antenna* cepat terkoneksi, *throughput* maksimal, dan stabil. Zona *orange* menandakan kualitas baik dengan rentang nilai -73 hingga -66, di mana *antenna* terkoneksi dengan baik dan *throughput* maksimal. Zona kuning menunjukkan kualitas cukup dengan nilai -80 hingga -74, di mana *antenna* terkoneksi dengan baik, tetapi *throughput* tidak maksimal. Zona hijau menunjukkan kualitas buruk dengan rentang nilai -94 hingga -81, di mana koneksi sangat tidak stabil dan *throughput* sangat rendah.

TABEL 1
KUALITAS DAYA TERIMA UBIQUITI NETWORK

No	Nilai	Kualitas
1	-100 dBm	Buruk
2	-86 dBm s/d - 100 dBm	Cukup
3	-70 dBm s/d - 85 dBm	Baik
4	>-70 dBm	Sangat baik

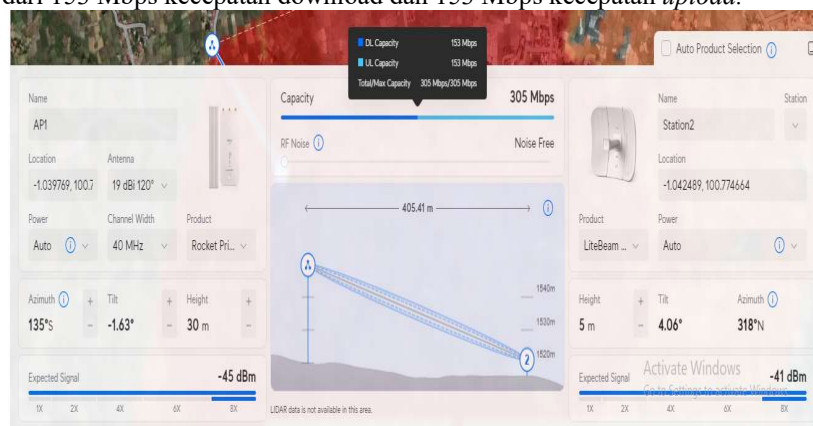
Faktor yang mempengaruhi *throughput* LiteBeam M5 meliputi frekuensi operasi dan bandwidth kanal. LiteBeam M5 beroperasi pada frekuensi 5 GHz, yang cenderung memiliki lebih sedikit interferensi dibandingkan dengan 2.4 GHz. Namun, frekuensi yang lebih tinggi ini memiliki jarak jangkauan yang lebih pendek dan penetrasi yang lebih rendah melalui objek padat. Selain itu, LiteBeam M5 mendukung *bandwidth* kanal 20 MHz dan 40 MHz, di mana kanal yang lebih lebar memungkinkan *throughput* yang lebih tinggi tetapi lebih rentan terhadap interferensi.

Berdasarkan data hasil simulasi pada Gambar 4, jarak antara pemancar dan *station* penerima 1 adalah 395,52 meter, dengan koordinat pemancar di -1.039769, 100.772257 dan koordinat *station* 1 di -1.042322, 100.774714. Perangkat yang digunakan sebagai pemancar adalah Rocket Prism 5AC, sementara perangkat penerima adalah LiteBeam M5. Tinggi menara pemancar adalah 30 meter, dan tiang yang dipasang pada *Client* adalah 5 meter. Kecepatan internet maksimum yang diperoleh adalah 305 Mbps dengan rasio kecepatan *downlink* dan *uplink* 1:1, yang terdiri dari 153 Mbps kecepatan download dan 153 Mbps kecepatan upload.



Gambar 4. Data Simulasi Implementasi Perangkat pada Station 1

Sebagai perbandingan, data dari *station* 1 dan *station* 2 diperoleh dari hasil simulasi pada Gambar 5. Jarak antara pemancar dan penerima *station* 2 adalah 405.41 meter, dengan titik koordinat *station* pemancar -1.039769, 100.772257 ke titik koordinat *station* 2 adalah -1.042489, 100.774664. Perangkat yang digunakan sebagai pemancar adalah Rocket Prism 5AC, dan perangkat penerima adalah LiteBeam M5 pada *Client*. Tinggi tower pemancar adalah 30 meter, sementara tiang pada *Client* adalah 5 meter. Kecepatan internet maksimum yang diperoleh sama dengan *station* 1 yaitu 305 Mbps dengan rasio kecepatan *downlink* dan *uplink* yakni 1:1 pada gambar 5, yang terdiri dari 153 Mbps kecepatan download dan 153 Mbps kecepatan upload.



Gambar 5. Data Simulasi Implementasi Perangkat pada Station 2

B. MERANCANG BASE STATION DAN CLIENT

1) PEMBANGUNAN TOWER BASE STATION PEMANCAR

Instalasi peralatan meliputi pemasangan *antenna* dan perangkat lainnya. *Antenna* dipasang pada tiang utama menara di posisi yang telah ditentukan untuk memastikan cakupan sinyal yang optimal pada *Client* seperti pada Gambar 6. Selain *antenna*, perangkat seperti pemancar dan perangkat pendukung lainnya juga dipasang dengan hati-hati untuk memastikan stabilitas dan kinerja maksimal. Setelah semua peralatan terpasang, tahap selanjutnya adalah pengujian dan konfigurasi. Peralatan yang telah dipasang dikonfigurasi sesuai dengan spesifikasi teknis yang diperlukan. Pengujian menyeluruh dilakukan untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik, termasuk verifikasi koneksi, pemeriksaan kualitas sinyal, dan memastikan tidak ada gangguan atau masalah teknis yang dapat mempengaruhi performa menara. Dengan demikian, seluruh sistem dapat beroperasi secara optimal dan andal dalam mendukung komunikasi yang dibutuhkan.



Gambar 6. Antenna dan Perangkat yang Sudah dipasang

2) PEMASANGAN PERANGKAT PADA CLIENT

Siapkan dan rakit perangkat LiteBeam M5 untuk *Client* secara manual, kemudian pasang pada tiang atau braket pemasangan setinggi 5 meter dengan mengencangkan baut menggunakan kunci pas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pemasangan Antenna LiteBeam M5 pada Tiang

Selanjutnya, pasang perangkat di area *Client* yang memiliki garis pandang langsung ke menara atau pemancar tanpa halangan seperti bangunan atau pohon. Arahkan *antenna* LiteBeam M5 ke arah menara atau pemancar, pastikan arahnya tepat, dan sesuaikan sudut elevasi *antenna* untuk mengoptimalkan penerimaan sinyal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Antenna LiteBeam M5 di arean *Client*

Pastikan lokasi tersebut juga memiliki akses ke sumber daya listrik untuk adaptor PoE. Adaptor PoE (*Power over Ethernet*) adalah perangkat yang mengirimkan daya listrik melalui kabel *ethernet* ke perangkat jaringan seperti LiteBeam M5 Ubiquiti seperti pada Gambar 9. Ini memungkinkan perangkat jaringan menerima daya dan data melalui satu kabel *ethernet*, sehingga tidak memerlukan sumber daya listrik tambahan di lokasi pemasangan.



Gambar 9. Adaptor PoE (Power Over Ethernet)

Sambungkan kabel *ethernet* yang tahan cuaca seperti pada Gambar 10 dari LiteBeam M5 ke lokasi sumber daya listrik, pastikan kabel terpasang dengan aman dan tidak menggantung. Selanjutnya, hubungkan kabel *ethernet* ke adaptor PoE. Setelah instalasi fisik selesai, sambungkan laptop atau komputer ke adaptor PoE menggunakan kabel *ethernet* tambahan.



Gambar 10. Kabel Ethernet Merek Balden

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. IMPLEMENTASI PERANGKAT

Antenna sectoral adalah jenis *antenna* yang digunakan dalam komunikasi RF (Radio Frekuensi) untuk mengarahkan sinyal ke sektor tertentu dari *station* pemancar, sehingga meningkatkan efisiensi dan jangkauan komunikasi. *Antenna* ini sering digunakan dalam sistem komunikasi seluler, jaringan *Wi-Fi*, dan sistem radio dua arah. *Rocket Prism 5AC* adalah perangkat radio *nirkabel* yang digunakan untuk membangun jaringan luar ruangan dengan performa tinggi. *Rocket* ini dirancang untuk dipasang langsung ke *antenna sectoral*, seperti yang terlihat pada Gambar 11, untuk aplikasi *Point-to-MultiPoint*. Implementasi *antenna sectoral* pada *Rocket Prism 5AC* melibatkan proses pemilihan, pemasangan, dan konfigurasi *antenna* untuk mencapai kinerja jaringan yang optimal. *Antenna sectoral* dipilih berdasarkan kebutuhan cakupan dan karakteristik area, seperti *gain* dan *bandwidth*, yang mempengaruhi jangkauan dan distribusi sinyal.

Setelah *antenna* yang sesuai dipilih, pemasangan dilakukan di lokasi strategis yang biasanya berada di ketinggian untuk mengurangi hambatan fisik. *Rocket Prism 5AC* kemudian dihubungkan ke *antenna sectoral* melalui *port* RF, memastikan koneksi yang kuat. Selanjutnya, perangkat *Rocket Prism 5AC* dikonfigurasi dengan pengaturan yang tepat, termasuk frekuensi, daya *output*, dan sudut *antenna*, untuk memaksimalkan jangkauan dan kualitas sinyal. Proses ini juga melibatkan analisis *site survey* dan simulasi jaringan untuk memastikan *antenna sectoral* memberikan cakupan yang optimal tanpa mengganggu sektor lainnya. Hasil akhirnya adalah jaringan yang memiliki jangkauan luas, *throughput* tinggi, dan efisiensi spektrum yang lebih baik. Sinyal kemudian diterima oleh *Antenna LiteBeam M5* pada *Client1* dan 2.

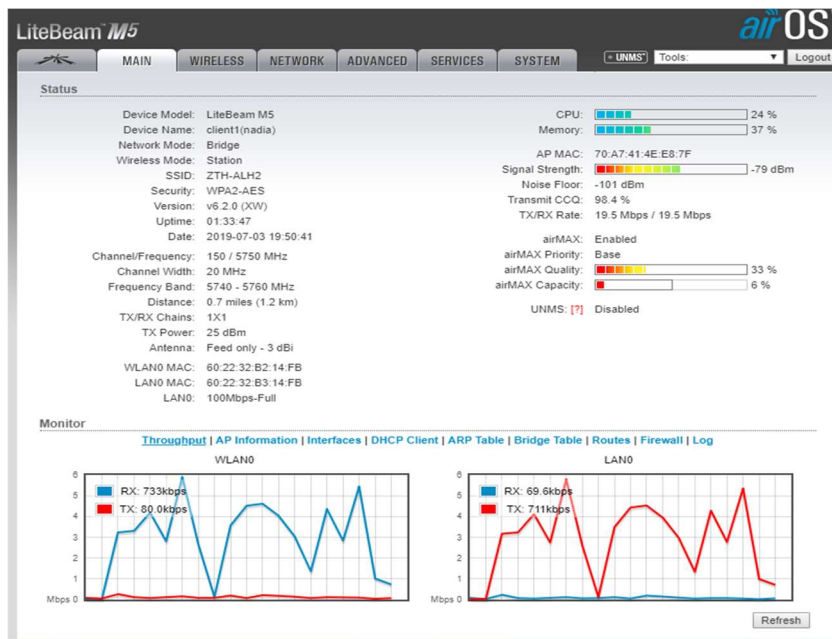


Gambar 11. Rocket Prism 5AC Dipasang ke Antenna Sectoral

Ubiquiti LiteBeam M5 adalah *antenna CPE (Customer Premises Equipment)* yang dirancang untuk aplikasi *point-to-multipoint*. Menggunakan teknologi MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) dan bekerja pada frekuensi 5 GHz, LiteBeam M5 menawarkan performa tinggi dalam hal *throughput* dan jangkauan. Faktor yang mempengaruhi *throughput* LiteBeam M5 meliputi frekuensi operasi dan *bandwidth* kanal. LiteBeam M5 beroperasi pada frekuensi 5 GHz, yang cenderung memiliki lebih sedikit interferensi dibandingkan dengan 2.4 GHz. Namun, frekuensi yang lebih tinggi ini memiliki jarak jangkauan yang lebih pendek dan penetrasi yang lebih rendah melalui objek padat. Selain itu, LiteBeam M5 mendukung *bandwidth* kanal 20 MHz dan 40 MHz, di mana kanal yang lebih lebar memungkinkan *throughput* yang lebih tinggi tetapi lebih rentan terhadap interferensi.

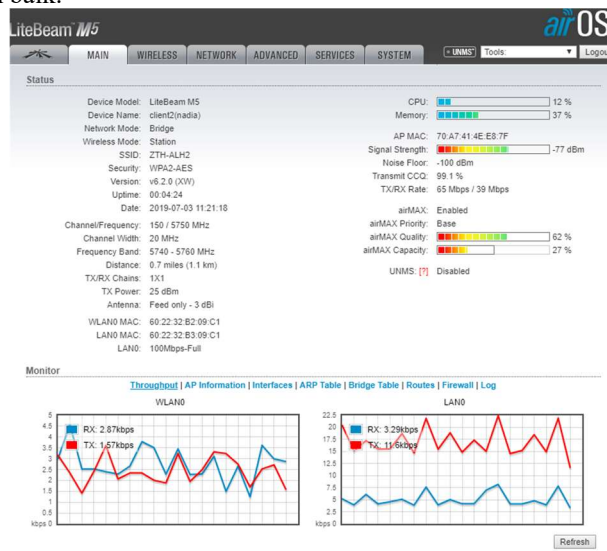
B. HASIL PENGUJIAN KUALITAS JARINGAN BROADBAND WIRELESS ACCESS

Setelah jaringan *point-to-multi point* telah berhasil dikonfigurasi antara *base station* pemancar terletak di klinik *animal care* dan *base station* penerima rumah *Client* di jalan kulik manih yang terdapat pada Gambar 12 yaitu hasil kualitas jaringan pada *Client 1*, ditemukan hasil kualitas jaringan dengan redaman -79 dBm. Hasil kualitas jaringan untuk *transmitter* adalah 711kbps dan *receiver* adalah 69.6kbps pada LAN (*Local Area Network*). Sementara untuk hasil kualitas jaringan pada WLAN (*Wireless Local Area Network*), ditemukan bahwa *transmitter* memiliki kualitas 80kbps dan *receiver* 73.3kbps. Dengan daya pancar *antenna* yang baik atau sangat baik, transmisi data berhasil dan tinggi, menunjukkan bahwa *Signal Strength* di *station* penerima 1 memenuhi standar Zettalink dengan baik.



Gambar 12. Hasil Pengujian Kualitas Jaringan pada Client 1

Pada Gambar 13 hasil kualitas jaringan pada *Client 2*, yang berlokasi di seberang *Client 1*, menunjukkan redaman sebesar -77 dBm. Untuk LAN (*Local Area Network*), kualitas jaringan *transmitter* mencapai 11.6kbps dan *receiver* 3.29kbps. Sementara untuk WLAN (*Wireless Local Area Network*), kualitas jaringan *transmitter* adalah 1.57kbps dan *receiver* 2.8kbps. Dengan daya pancar *antenna* yang baik atau sangat baik, transmisi data berhasil dan tinggi, menunjukkan bahwa *Signal Strength* di *station* penerima 2 memenuhi standar Zettalink dengan baik.



Gambar 13. Hasil Pengujian Kualitas Jaringan pada Client 2

Berikut pada Tabel II hasil pengujian kekuatan sinyal yang dibandingkan dengan standar Zettalink.

TABEL II
KUALITAS DAYA TERIMA UBIQUITI NETWORK

Kategori	Standar Zettalink
<i>Outstanding</i> (Sangat Bagus)	>-70 dBm
<i>Good</i> (Bagus)	-70 dBm s/d - 85 dBm
<i>Fair</i> (Cukup)	-86 dBm s/d - 100 dBm
<i>Bad</i> (Buruk)	-100 dBm

C. HASIL PERHITUNGAN DAYA TERIMA ANTENNA

1) PROPAGASI LOSS

Perhitungan redaman ruang bebas adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} LP &= FSL = 32,45 + 20 \log F \text{ (MHz)} + 20 \log d \text{ (Km)} \\ &= 32,45 + 20 \log 5740 + 20 \log 0,395 \text{ km} \\ &= 32,45 + 75,17 + -8,06 \\ &= 99,56 \text{ dB} \end{aligned}$$

Perhitungan redaman ruang bebas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar sinyal melemah saat bergerak melalui ruang bebas. Dalam perhitungan ini, frekuensi sinyal adalah 5740 MHz. Frekuensi yang lebih tinggi biasanya menyebabkan redaman yang lebih besar karena panjang gelombangnya lebih pendek dan lebih rentan terhadap penyebaran dan penyerapan. Kontribusi dari frekuensi dihitung sebagai $20 \log 5740$, yang menghasilkan penambahan sebesar 75,17 dB pada total redaman. Ini menunjukkan bagaimana frekuensi tinggi berkontribusi pada peningkatan redaman sinyal. Jarak antara pemancar dan penerima adalah 0,395 km. Semakin besar jaraknya, semakin besar pula redaman sinyal yang terjadi. Kontribusi dari jarak dihitung sebagai $20 \log 0,395$ menghasilkan pengurangan sebesar -8,06 dB pada total redaman. Ini mengindikasikan bahwa jarak yang relatif pendek dalam kasus ini mengurangi dampak redaman dibandingkan dengan frekuensi tinggi.

Dengan hasil akhir redaman ruang bebas sebesar 99,56 dB menunjukkan bahwa sinyal mengalami pelemahan yang signifikan saat bergerak dari pemancar ke penerima. Ini merupakan faktor penting dalam merencanakan jangkauan dan kualitas sinyal dalam jaringan. Redaman ruang bebas adalah ukuran dari berapa banyak kekuatan sinyal berkurang saat sinyal radio bergerak melalui ruang bebas tanpa adanya penghalang fisik atau gangguan dari objek lain. Redaman ini tergantung pada frekuensi sinyal dan jarak antara pemancar dan penerima.

2) EIRP (EFFECTIVE ISOTROPIC RADIATED POWER)

Perhitungan daya pancar untuk *antenna*:

$$\begin{aligned} EIRP &= P_{tx} + G_{tx} - L_{tx} \\ &= 25 + 19 - 0 = 44 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Nilai EIRP sebesar 44 dBm mencerminkan total kekuatan daya yang dipancarkan secara efektif oleh *antenna* dalam sistem komunikasi. EIRP, atau Daya Pancaran Isotropik Efektif, mengintegrasikan daya keluaran pemancar (P_{tx}) dan gain *antenna* (G_{tx}) sambil memperhitungkan redaman saluran transmisi (L_{tx}). Dalam perhitungan ini, daya keluaran pemancar adalah 25 dBm, gain *antenna* adalah 19 dBi, dan redaman saluran transmisi dianggap 0 dB, menghasilkan total EIRP sebesar 44 dBm. Kekuatan sinyal yang lebih tinggi, seperti yang ditunjukkan oleh nilai EIRP ini, menunjukkan kemampuan *antenna* untuk memancarkan sinyal dengan kekuatan yang signifikan. Hal ini memungkinkan sinyal untuk menjangkau jarak yang lebih jauh atau memiliki cakupan yang lebih luas, sehingga meningkatkan kualitas dan jangkauan sinyal secara keseluruhan. Dengan EIRP 44 dBm, sistem komunikasi dapat dioptimalkan untuk mencapai area yang lebih besar dengan sinyal yang lebih kuat dan stabil.

Dalam konteks desain sistem komunikasi, nilai EIRP harus dipertimbangkan dengan hati-hati agar sesuai dengan regulasi dan batasan yang ditetapkan oleh otoritas telekomunikasi. Kekuatan pancar yang terlalu tinggi dapat menyebabkan interferensi dengan sistem komunikasi lain, sedangkan kekuatan yang terlalu rendah dapat membatasi jangkauan dan kualitas sinyal. Oleh karena itu, desain sistem harus mempertimbangkan keseimbangan antara kekuatan pancar yang diperlukan dan kepatuhan terhadap peraturan yang berlaku. Dengan hasil EIRP sebesar 44 dBm, sistem komunikasi dirancang untuk memenuhi kebutuhan jangkauan dan kekuatan sinyal yang diinginkan, sambil memastikan bahwa sistem beroperasi dalam batas yang sesuai dengan peraturan yang ditetapkan.

3) RSL (RECEIVE SIGNAL LEVEL)

Perhitungan daya terima *antenna*:

$$\begin{aligned} RSL &= EIRP - L_{propagasi} + GRX - LRX \\ &= 44 - 99,56 + 19 - 0 \\ &= -75,56 \text{ dBm} \end{aligned}$$

RSL (Received Signal Level) merupakan indikator utama yang menunjukkan kekuatan sinyal yang diterima oleh *antenna* penerima dalam sistem komunikasi. Ketika daya terima *antenna* tercatat sebesar -75,56 dBm, ini menandakan bahwa meskipun sinyal telah melemah selama perjalanan dari pemancar ke penerima, kekuatannya masih cukup memadai untuk diproses oleh perangkat penerima. Tingkat kekuatan sinyal ini berada di bawah nol, yang menunjukkan bahwa sinyal telah mengalami penurunan atau redaman, namun masih berada dalam batas yang dapat diterima.

Dalam konteks komunikasi yang efektif, sinyal dengan kekuatan $-75,56$ dBm tetap layak untuk diproses, karena perangkat penerima biasanya dirancang untuk beroperasi dengan baik pada rentang daya sinyal yang rendah, asalkan tidak turun di bawah ambang batas minimum yang diperlukan untuk menghindari gangguan atau penurunan kualitas komunikasi. Meskipun penurunan kekuatan sinyal dapat berdampak pada kualitas komunikasi, dalam skenario ini, sinyal yang diterima masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk menjaga integritas data dan memastikan komunikasi tetap berjalan dengan lancar dan efektif.

4) SINR (SIGNAL TO INTERFERENCE NOISE RATIO)

Dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{SINR} &= S / I + N \\ &= -77/-100+25 \\ &= 26 \text{ dB} \end{aligned}$$

Kualitas sinyal yang diterima diukur menggunakan SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio). SINR adalah metrik penting yang menunjukkan perbandingan antara kekuatan sinyal yang diterima (S) dengan tingkat interferensi dan noise (I+N) yang ada di lingkungan. Perhitungan SINR dilakukan dengan membagi kekuatan sinyal yang diterima sebesar -79 dBm dengan jumlah interferensi -101 dBm dan noise sebesar 25 dBm, yang menghasilkan nilai SINR sebesar 26 dB. Nilai SINR sebesar 26 dB menunjukkan bahwa kualitas sinyal yang diterima sangat baik, dengan tingkat interferensi dan noise yang rendah. SINR yang tinggi ini menandakan bahwa sinyal memiliki margin yang cukup besar dibandingkan dengan gangguan yang ada, yang sangat penting untuk memastikan kinerja jaringan yang stabil dan handal. Dengan SINR sebesar 26 dB, sistem komunikasi dapat beroperasi dengan tingkat kesalahan yang minimal, memungkinkan transmisi data yang efisien dan andal, yang sangat penting untuk aplikasi yang memerlukan keandalan tinggi, seperti komunikasi data nirkabel dan jaringan seluler.

Kombinasi antara nilai EIRP sebesar 44 dBm dan SINR sebesar 26 dB mencerminkan desain sistem komunikasi yang optimal, di mana kekuatan daya pancar yang signifikan dipadukan dengan kualitas sinyal yang tinggi. Hal ini memastikan bahwa sistem mampu menyediakan layanan komunikasi yang handal dengan jangkauan yang luas dan tingkat gangguan yang minimal. Dalam lingkungan yang kompleks, seperti area perkotaan dengan banyak interferensi, kombinasi ini memungkinkan sistem untuk tetap berfungsi dengan baik, menjaga integritas sinyal dan memastikan komunikasi yang lancar dan efisien. Dengan demikian, nilai EIRP sebesar 44 dBm dan SINR sebesar 26 dB tidak hanya menunjukkan kekuatan dan kualitas sinyal, tetapi juga mencerminkan efektivitas desain dan implementasi sistem komunikasi secara keseluruhan. Kedua metrik ini penting untuk memastikan bahwa sistem dapat memenuhi kebutuhan jaringan yang luas dan menuntut, sambil tetap mematuhi regulasi dan standar yang berlaku.

5) THROUGHPUT

Berikut merupakan perhitungan kapasitas *throughput Client* 1 dan 2 karna hasil SINR nya sama 26 dB. Sehingga, kapasitasnya yaitu:

$$\begin{aligned} C &= 3,32 \times B \times \log_{10} (1 + \text{SINR}) \\ &= 3,32 \times 20 \times 10^6 \times \log_{10} (1 + 26) \\ &= 3,32 \times 20 \times 10^6 \times \log_{10} 37 \\ &= 3,32 \times 20 \times 10^6 \times 1,57 \\ &= 104.248 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Throughput sebesar 104.248 Mbps, menunjukkan bahwa kecepatan data yang diperoleh sangat baik untuk beberapa aplikasi dasar seperti *browsing* web, mengirim email, dan streaming video berkualitas menengah hingga tinggi. Ini menunjukkan bahwa sinyal kuat untuk memberikan koneksi yang stabil menunjukkan bahwa interferensi dan derau pada jaringan ini sangat rendah skala penilaiannya dapat dilihat pada Tabel III. Hal ini berarti lingkungan jaringan cukup bersih dari gangguan, yang berkontribusi pada kualitas koneksi yang baik.

TABEL III
KUALITAS DAYA TERIMA UBIQUITI NETWORK

Nilai <i>Throughput</i>	Kategori
< 200 Kbps	Tidak baik
200-500 Kbps	Kurang baik
500 Kbps-1 Mbps	Cukup baik
1 Mbps-2,5 Mbps	Baik
>2,5 Mbps	Sangat baik

D. ANALISIS DAYA TERIMA ANTENNA

Nilai daya terima *antenna* dari *Client* 1 memiliki sedikit perbedaan antara hasil pengukuran dan nilai perhitungan. Perbedaan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya:

1) KETEPATAN POINTING ANTENNA

Antenna LiteBeam M5 termasuk dalam kategori *directional* yang memiliki pola radiasi sempit sebesar 45° . Oleh karena itu, penting untuk melakukan *pointing antenna* dengan tepat agar arah dan sudutnya sesuai, sehingga sinyal yang diterima dapat maksimal. Interferensi di lingkungan gelombang, hasil kombinasi gelombang mungkin tidak sama dengan penjumlahan sederhana; kadang-kadang, hasilnya bisa nol.

2) JARAK

Jarak antara *antenna* pemancar dan penerima sangat mempengaruhi kualitas daya terima sinyal. Semakin jauh jaraknya, semakin besar rugi-rugi yang terjadi di sepanjang jalur transmisi. Sebaliknya, semakin dekat jaraknya, semakin kecil rugi-rugi tersebut. Rugi-rugi ini dipengaruhi oleh kondisi geografis.

3) KEADAAN GEOGRAFIS BUMI

Dalam komunikasi menggunakan gelombang radio, sinyal yang dipancarkan akan menjalani propagasi melalui medium yang dipengaruhi oleh fenomena seperti difraksi, refraksi, refleksi, dan scattering Sinyal gelombang radio dapat merambat sebagai gelombang tanah (ground waves), gelombang troposfer, gelombang ionosfer, atau kombinasi dari ketiganya. Keadaan geografis bumi sebagai lintasan propagasi sinyal juga memengaruhi daya terima *antenna* penerima. Untuk memastikan kualitas yang optimal, penting agar *antenna* yang dipasang untuk *Client* terpasang dengan kuat. Hal ini akan mencegah *antenna* goyang atau mengubah arahnya saat terjadi cuaca buruk seperti angin kencang dan hujan deras.

V. KESIMPULAN

Provider Zetlink telah membangun jaringan *Broadband Wireless Access* di kecamatan Lembah Gumanti melalui serangkaian tahapan terstruktur. Tahapan awal melibatkan pencarian titik koordinat lokasi pemancar dan penerima menggunakan *google maps* untuk memastikan jalur komunikasi bebas hambatan. Setelah itu, dilakukan simulasi sinyal radio menggunakan Provider UISP *Design Center* menggunakan koordinat yang telah ditentukan. Sinyal radio ditransmisikan oleh *Rocket Prism 5AC* menuju *LiteBeam M5* yang bertindak sebagai penerima. *Antenna sectoral* digunakan pada *Rocket Prism 5AC* untuk efisiensi dan jangkauan sinyal yang optimal, dengan hasil pengukuran menunjukkan kecepatan internet maksimum 305 Mbps dan rasio *downlink-uplink* 1:1. Pada tahap akhir, pengujian dan konfigurasi dilakukan untuk memastikan kinerja sistem yang andal. Selain itu, akurasi *pointing Antenna*, interferensi lingkungan, dan jarak antara pemancar dan penerima mempengaruhi daya terima sinyal, sehingga instalasi yang kuat dan stabil diperlukan untuk menjaga kualitas sinyal, terutama dalam kondisi cuaca buruk.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa temuan penelitian ini tidak melibatkan konflik kepentingan.

REFERENSI

- [1] J. Nanang Sadikin, Marlina Sari, "Implementasi Jaringan *Nirkabel* BWA (Broadband Wireless Access) Menggunakan Wimax," *Kilat*, vol. 8, no. 2, pp. 141–150, 2019.
- [2] E. Gunawan, "Analisis Performa IEEE 802.11 n dan IEEE 802.11 ac," *Dintek*, vol. 13, no. 1, pp. 79–86, 2020.
- [3] M. R. Hidayat, T. I. M. Fauzian, E. Alimudin, and H. Yuliana, "Analisis Power Link Budget Pada Rancangan Jaringan Wireless Outdoor Menggunakan ISP *Design Center* Studi Kasus Desa Kutanagara Garut," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 10, no. 2, pp. 98–105, 2022.
- [4] M. Rifki Wardana and D. B. Santoso, "Analisis *Throughput* Distribusi Jaringan *Nirkabel* Pada Politeknik Bumi Akpelni," *J. Ris. Sist. Inf. Dan Tek. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 558–567, 2023.
- [5] Y. Wiranto, F. Imansyah, N. Tjahjamoonsih, J. Marpaung, Eka Kusumawardhani, and), "ANALISA KUALITAS JARINGAN DAN DAYA TERIMA *antenna* LITEBEAM M5 DAN NANOSTATIONM5 UNTUK CCTV BERBASIS AIROS UBIQUITI," 2022.
- [6] M. N. S. Mardianto, "Implementasi Jaringan Point to Multipoint Menggunakan Metode NDLC," *Multinetics*, vol. 8, no. 2, pp. 151–159, 2023.
- [7] A. Makkatang and R. Nugroho, "Analisa Pengaruh Perubahan Tilt *antenna Sectoral* BTS Secara Electrical Dan Mechanical Site XL 3G," *J. Ilm. Giga*, vol. 18, no. 2, p. 49, 2019.
- [8] A. I. Anshori, "Keamanan pada Wifi 802.11 ac," *J. Inform. dan Teknol. Komput.*, vol. 10, no. 2, pp. 1–8, 2021.
- [9] K. N. Sholikhah and I. M. Suartana, "Pengaruh Mobilitas Terhadap Kualitas *Throughput* pada Jaringan Wireless," vol. 05, pp. 119–125, 2023.
- [10] M. Rusdan and M. Sabar, "Analisis dan Perancangan Jaringan Wireless Dengan Wireless Distribution System Menggunakan User Authentication Berbasis Multi-Factor Authentication," *J. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 17–24, 2020.
- [11] D. S. Muhamad Imron, Fitri Imansyah, "ANALISIS DAYA TERIMA *antenna* DAN RADIO ROCKET M5 *Client*PT JAWA POS NATIONAL NETWORK MEDIALINK PONTIANAK," 2017.
- [12] F. T. P. W. Reinaldo Parulian Simanjuntak, Fitri Imansyah, "ANALISA DAN PENGUJIAN SISTEM *antenna* PENERIMA POWER BEAM M5 DALAM KOMUNIKASI WIRELESS BERBASIS FIBER OPTIC," 2015.
- [13] C. Ahmadi and I. G. R. P. Winata, "Analisis *Throughput* Pengiriman Data Pada Jaringan Wireless Dengan Metode Queue Tree," *JST (Jurnal Sains dan Teknol.*, vol. 10, no. 1, pp. 112–116, 2021.
- [14] C. Ahmadi, I. K. Adi, and P. Yuda, "ANALISIS THROUGHPOUT DAN DELAY PADA JARINGAN WIRELESS METODE EIGRP DENGAN MANAJEMEN *BANDWIDTH* DAN PEMBEBANAN," pp. 92–99, 2021.
- [15] N. K. A. P. Bakri, S. Dase, and U. Katu, "Analisis Kapasitas Shannon pada Jaringan LTE di Kota Makassar," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, pp. 92–96, 2022.
- [16] A. Pratama, A. Salim, and M. R. F., "Implementasi *Point-to-multipoint* pada MikroTik Jaringan Gudang Berbasis Router," pp. 14–16, 2021.
- [17] L. S. Maulid, Muh. Yamin, L.M. Fid Aksara, "Implementasi dan analisis access point 5 ghz menggunakan metode manual random sampling dan coverage visualization," vol. 6, no. 1, pp. 107–114, 2020.
- [18] Y. Muna, A. Priyanto, and D. A. Puryono, "Evaluasi Perbandingan Mutu Jaringan 4G Lte Antara Penyedia Layanan Telkomsel Dan Indosat Ooredoo Di Kota Pati," vol. 6, no. 2, 2023.
- [19] P. Muliandhi, A. E. Jayati, and L. Hidayati, "Analisa Jaringan 4G LTE Provider H3I Menggunakan Software Genex Probe 5.1," *Elektrika*, vol. 15, no. 1, p. 55, 2023.
- [20] N. K. A. P. Bakri, S. Dase, and U. Katu, "Analisis Kapasitas Shannon pada Jaringan LTE di Kota Makassar," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, pp. 92–96, 2022.