

TESIS

**ANALISIS DAMPAK PENERAPAN WIRELESS SECURITY
PROTOCOL (WPA2-PSK DAN WPA3-SAE) TERHADAP
PERFORMA HANDOVER PADA JARINGAN 5GHZ**



disusun oleh

SOFIAN DWI HADIWINATA

23.55.1418

Business Intelligence

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2026

TESIS

**ANALISIS DAMPAK PENERAPAN WIRELESS SECURITY
PROTOCOL (WPA2-PSK DAN WPA3-SAE) TERHADAP
PERFORMA HANDOVER PADA JARINGAN 5GHZ**

**ANALYSIS OF THE IMPACT OF IMPLEMENTING WIRELESS
SECURITY PROTOCOL (WPA2-PSK AND WPA3-SAE) ON
HANDOVER PERFORMANCE ON 5GHZ NETWORK**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Pascasarjana

Program Studi S2 PJJ INFORMATIKA



disusun oleh

SOFIAN DWI HADIWINATA

23.55.1418

Business Intellgence

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2026

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS DAMPAK PENERAPAN WIRELESS SECURITY PROTOCOL
(WPA2-PSK DAN WPA3-SAE) TERHADAP PERFORMA HANDOVER
PADA JARINGAN 5GHZ**

**ANALYSIS OF THE IMPACT OF IMPLEMENTING WIRELESS
SECURITY PROTOCOL (WPA2-PSK AND WPA3-SAE) ON HANDOVER
PERFORMANCE ON 5GHZ NETWORK**

yang disusun dan diajukan oleh

Soffan Dwi Hadlwinata

23.55.1418

telah disetujui oleh Dosen Pembimbing Tesis
pada tanggal 3, Februari 2026

Dosen Pembimbing,



Alva Hendi Muhammad, A.Md., S.T., M.Eng., Ph.D.
NIK. 190302493

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS DAMPAK PENERAPAN WIRELESS SECURITY PROTOCOL
(WPA2-PSK DAN WPA3-SAE) TERHADAP PERFORMA HANDOVER
PADA JARINGAN 5GHZ**

**ANALYSIS OF THE IMPACT OF IMPLEMENTING WIRELESS
SECURITY PROTOCOL (WPA2-PSK AND WPA3-SAE) ON HANDOVER
PERFORMANCE ON 5GHZ NETWORK**

yang disusun dan diajukan oleh

Soffan Dwi Hadiwinata

23.55.1418

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 3, Februari 2026

Susunan Dewan Penguji

Nama Penguji

Tanda Tangan

Robert Marco, S.T., M.T., Ph.D.
NIK. 190302228



Emha Taufiq Luthfi, S.T., M.Kom., Ph.D.
NIK. 190302125



Alva Hendi Muhammad, A.Md., S.T., M.Eng., Ph.D
NIK. 190302493



Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Komputer
Tanggal 10 Februari 2026

DEKAN FAKULTAS ILMU KOMPUTER



Prof. Dr. Kusriani, M.Kom.
NIK. 190302106

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertandatangan di bawah ini,

Nama mahasiswa : Soflan Dwi Hadiwinata
NIM : 23.55.1418
Konsentrasi : Business Intelligence

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul berikut:
Analisis Dampak Penerapan Wireless Security Protocol (WPA2-PSK dan WPA3-SAE) Terhadap Performa Handover Pada Jaringan 5Ghz

Dosen Pembimbing Utama : Alva Hendi Muhammad, S.T., M.Eng., Ph.D.
Dosen Pembimbing Pendamping : Alva Hendi Muhammad, S.T., M.Eng., Ph.D.

1. Karya tulis ini adalah benar-benar ASLI dan BELUM PERNAH diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas AMIKOM Yogyakarta maupun di Perguruan Tinggi lainnya
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian SAYA sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari Tim Dosen Pembimbing
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan disebutkan dalam Daftar Pustaka pada karya tulis ini
4. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab SAYA, bukan tanggung jawab Universitas AMIKOM Yogyakarta
5. Pernyataan ini SAYA buat dengan sesungguhnya, apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka SAYA bersedia menerima SANKSI AKADEMIK dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Perguruan Tinggi

Yogyakarta, 3 Februari 2026
Yang Menyatakan,



Soflan Dwi Hadiwinata

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, karya ilmiah ini saya persembahkan dengan tulus kepada kedua orang tua tercinta, Papa dan Mama, yang merupakan sumber doa dan inspirasi terbesar dalam hidup saya; terima kasih atas segala pengorbanan, kasih sayang, dan dukungan yang tidak pernah terputus hingga saya mampu melangkah sejauh ini. Secara khusus, dedikasi ini juga saya tujukan kepada istri terkasih, dan anak-anak tersayang, yang telah menjadi pilar kekuatan, memberikan kesabaran yang luar biasa, serta menjadi penyemangat utama dalam setiap kesulitan yang saya hadapi selama proses studi ini.

Ucapan terima kasih dan penghormatan yang mendalam juga saya sampaikan kepada dosen pembimbing saya, yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan intelektual, serta arahan yang sangat berharga sehingga Tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga karya sederhana ini dapat menjadi amal jariyah dan memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan baik. Penyusunan Tesis ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, arahan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Alva Hendi Muhammad, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan bimbingan serta arahan selama proses penyusunan Tesis ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Robert Marco, S.T., M.T., Ph.D., dan Emha Taufiq Luthfi, S.T., M.Kom., Ph.D. selaku Tim Dosen Penguji, atas saran, masukan, dan koreksi yang sangat bermanfaat demi penyempurnaan Tesis ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prodi S2 PJJ Informatika dan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Amikom Yogyakarta Yogyakarta yang telah memberikan fasilitas serta dukungan administratif selama proses penyusunan Tesis ini. Secara khusus, penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada orang tua dan keluarga tercinta atas doa, perhatian, pengorbanan, serta dukungan moral dan material yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Kampus Saya Bekerja Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur selaku pihak penyandang dana yang telah memberikan dukungan sehingga pelaksanaan dan penyusunan tesis ini dapat berjalan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta pihak-pihak yang berkepentingan.

Samarinda, 25 Desember 2025

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| TESIS | i |
| TESIS | ii |
| HALAMAN JUDUL..... | ii |
| HALAMAN PERSETUJUAN..... | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS | v |
| HALAMAN PERSEMBAHAN..... | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR TABEL..... | x |
| DAFTAR GAMBAR..... | xi |
| DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN | xiii |
| DAFTAR ISTILAH | xv |
| INTISARI..... | xvii |
| ABSTRACT..... | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah..... | 7 |
| 1.3. Batasan Masalah | 7 |
| 1.4. Tujuan Penelitian | 9 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 10 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 11 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1. Tinjauan Pustaka..... | 11 |
| 2.2. Keaslian Penelitian..... | 13 |
| 2.3. Landasan Teori..... | 21 |
| 2.2.1 Handover | 21 |
| 2.2.2 Channel width..... | 22 |
| 2.2.3 Wi-Fi Security Protocol..... | 23 |
| 2.2.4 Protocol TCP/IP..... | 27 |
| 2.2.5 Quality of Service (QoS)..... | 27 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | 32 |
| 3.1. Jenis, Sifat, dan Pendekatan Penelitian..... | 32 |
| 3.2. Metode Pengumpulan Data..... | 32 |
| 3.2.1 Metode Studi Literatur | 32 |
| 3.2.2 Metode Observasi..... | 33 |
| 3.3. Alur Penelitian | 34 |
| 3.3.1 Perancangan Desain Topologi | 36 |
| 3.3.2 Tahapan Skenario Pengujian | 38 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... | 42 |
| 4.1 Hasil Pengambilan Data Tanpa Menggunakan Batasan RSSI..... | 42 |
| 4.2 Hasil Pengambilan Data Dengan Menggunakan Batasan RSSI | 46 |
| 4.3 Analisa Data Perbandingan Batasan RSSI dan Tanpa Batasan RSSI..... | 49 |
| 4.3.1 Analisa Data Berdasarkan Waktu yang dikonsumsi | 49 |
| 4.3.2 Analisa Data Berdasarkan Latensi..... | 52 |

| | |
|--|----|
| 4.3.3 Analisa Data Berdasarkan Packet Loss | 55 |
| 4.3.4 Analisa Data Berdasarkan RSSI..... | 58 |
| 4.4 Analisa Data Menggunakan Uji Mean, Standard Deviation Dan Paired T-Test (2-Tailed) | 61 |
| 4.4.1 Kategori Protokol Keamanan: WPA2-PSK vs WPA3-SAE..... | 64 |
| 4.4.2 Kategori Channel Band: Same Channel Band vs Different Channel Band 67 | |
| 4.4.3 Kategori Channel Width: 40 MHz vs 80 MHz | 70 |
| 4.4.4 Ringkasan Temuan Analisis Per Kategori..... | 72 |
| BAB V PENUTUP | 74 |
| 5.1. Kesimpulan | 74 |
| 5.2. Saran | 75 |
| DAFTAR PUSTAKA | 78 |

DAFTAR TABEL

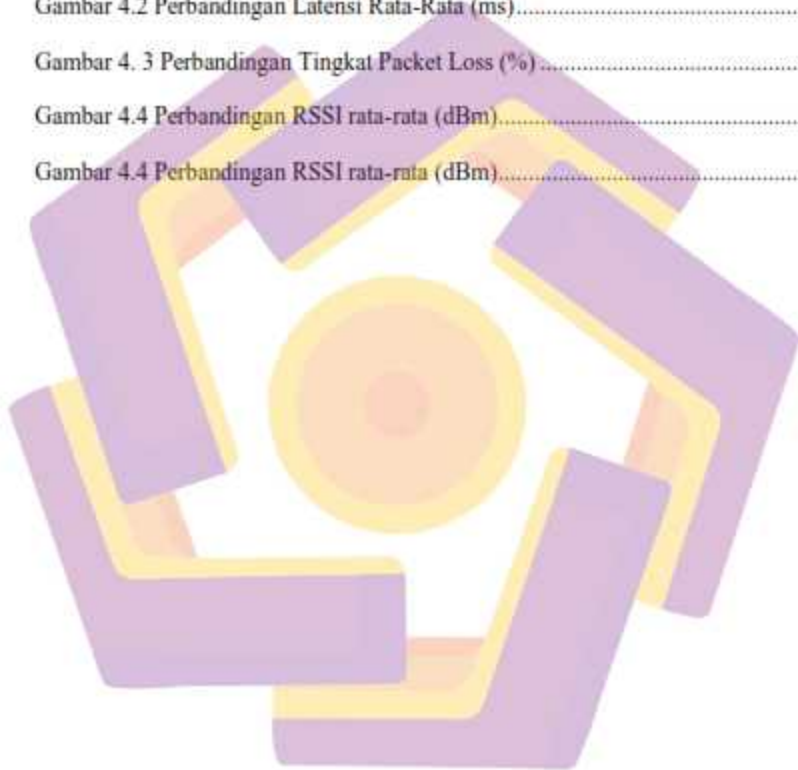
| | |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Matriks literatur review dan posisi penelitian..... | 13 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 2 Kekuatan Sinyal yang Dapat Diterima..... | 30 |
| Tabel 3. 1 Parameter Pengujian | 37 |
| Tabel 3. 2 Skenario Pengujian tanpa RSSI Limiter | 38 |
| Tabel 3. 3 Skenario Pengujian dengan RSSI Limiter | 39 |
| Tabel 3. 4 Perangkat Keras (Hardware) Pengujian..... | 40 |
| Tabel 3. 5 Perangkat Lunak (Software) Pengujian | 41 |
| Tabel 4. 1 Skenario Pengumpulan Data Hasil Tanpa Pembatas RSSI..... | 43 |
| Tabel 4. 2 Skenario Pengumpulan Data Hasil dengan RSSI Limiter -67 dBm | 46 |
| Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Kelompok WPA2-PSK..... | 64 |
| Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kelompok WPA3-SAE | 65 |
| Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kelompok Same Channel Band..... | 67 |
| Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kelompok Different Channel Band..... | 68 |
| Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kelompok Channel Width 40 MHz..... | 70 |
| Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Kelompok Channel Width 80 MHz..... | 71 |

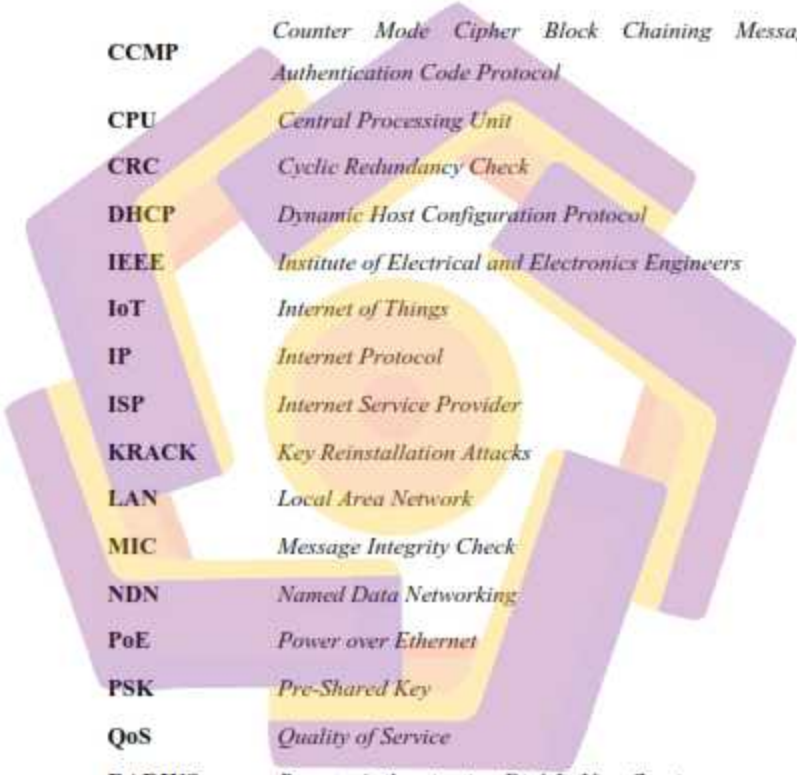
DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Channel 5Ghz Allocations | 22 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian | 32 |
| Gambar 3. 2 Alur Penelitian..... | 34 |
| Gambar 3. 3 Topologi Pengujian | 36 |
| Gambar 4.1 Perbandingan Waktu yang Dikonsumsi (ms)..... | 49 |
| Gambar 4.2 Perbandingan Latensi Rata-Rata (ms)..... | 52 |
| Gambar 4. 3 Perbandingan Tingkat Packet Loss (%) | 55 |
| Gambar 4.4 Perbandingan RSSI rata-rata (dBm)..... | 58 |
| Gambar 4.4 Perbandingan RSSI rata-rata (dBm)..... | 58 |



DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN



| | |
|---------------|--|
| AES | <i>Advanced Encryption Standard</i> |
| AP | <i>Access Point</i> |
| BGP | <i>Border Gateway Protocol</i> |
| CCMP | <i>Counter Mode Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol</i> |
| CPU | <i>Central Processing Unit</i> |
| CRC | <i>Cyclic Redundancy Check</i> |
| DHCP | <i>Dynamic Host Configuration Protocol</i> |
| IEEE | <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> |
| IoT | <i>Internet of Things</i> |
| IP | <i>Internet Protocol</i> |
| ISP | <i>Internet Service Provider</i> |
| KRACK | <i>Key Reinstallation Attacks</i> |
| LAN | <i>Local Area Network</i> |
| MIC | <i>Message Integrity Check</i> |
| NDN | <i>Named Data Networking</i> |
| PoE | <i>Power over Ethernet</i> |
| PSK | <i>Pre-Shared Key</i> |
| QoS | <i>Quality of Service</i> |
| RADIUS | <i>Remote Authentication Dial-In User Service</i> |
| RAM | <i>Random Access Memory</i> |
| RSSI | <i>Received Signal Strength Indicator</i> |
| SAE | <i>Simultaneous Authentication of Equals</i> |
| SDN | <i>Software-Defined Networking</i> |
| SFP | <i>Small Form-factor Pluggable</i> |



| | |
|-------------|--|
| SINR | <i>Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio</i> |
| TCP | <i>Transmission Control Protocol</i> |
| TKIP | <i>Temporal Key Integrity Protocol</i> |
| UDP | <i>User Datagram Protocol</i> |
| UTP | <i>Unshielded Twisted Pair</i> |
| VHT | <i>Very High Throughput</i> |
| VLAN | <i>Virtual Local Area Network</i> |
| VoIP | <i>Voice over Internet Protocol</i> |
| WEP | <i>Wired Equivalent Privacy</i> |
| WLAN | <i>Wireless Local Area Network</i> |
| WPA | <i>Wi-Fi Protected Access</i> |
| 3GPP | <i>3rd Generation Partnership Project</i> |

DAFTAR ISTILAH

- **Access Point (AP):** Perangkat keras jaringan yang berfungsi sebagai penghubung nirkabel bagi perangkat lain (seperti laptop atau smartphone) untuk masuk ke dalam jaringan kabel atau internet.
- **Bandwidth:** Kapasitas maksimum dari jalur komunikasi untuk mentransfer data dari satu titik ke titik lain dalam jaringan komputer dalam waktu tertentu.
- **Channel Bonding:** Teknik menggabungkan dua atau lebih saluran frekuensi Wi-Fi untuk meningkatkan *throughput* data.
- **Channel Width:** Lebar pita frekuensi yang digunakan dalam transmisi sinyal Wi-Fi (misalnya 20 MHz, 40 MHz, atau 80 MHz). Semakin lebar *channel*, semakin besar kapasitas data yang dapat dikirim, namun risiko interferensi juga meningkat.
- **Handover:** Proses pengalihan koneksi perangkat pengguna (*elient*) secara otomatis dari satu *Access Point* ke *Access Point* lain saat pengguna berpindah lokasi tanpa memutuskan sesi koneksi yang sedang berjalan.
- **IEEE 802.11ax:** Standar generasi terbaru dalam teknologi Wi-Fi (dikenal juga sebagai Wi-Fi 6) yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi, kapasitas, dan kinerja di lingkungan dengan kepadatan pengguna tinggi.
- **Latency:** Waktu tunda yang dibutuhkan oleh paket data untuk bepergian dari sumber ke tujuan. Dalam konteks *handover*, *latency* tinggi dapat menyebabkan *lag* atau gangguan pada aplikasi *real-time*.
- **Packet Loss:** Kondisi di mana satu atau lebih paket data yang dikirimkan melalui jaringan gagal mencapai tujuannya, yang sering disebabkan oleh sinyal lemah atau kepadatan jaringan.
- **Quality of Service (QoS):** Mekanisme jaringan yang memungkinkan prioritas lalu lintas data tertentu (seperti suara atau video) agar mendapatkan performa yang lebih baik dibandingkan lalu lintas data biasa.
- **Received Signal Strength Indicator (RSSI):** Ukuran kekuatan daya sinyal radio yang diterima oleh perangkat penerima dari *Access Point*, biasanya dinyatakan dalam satuan dBm (desibel-miliwatt).
- **Roaming:** Kemampuan perangkat nirkabel untuk bergerak bebas di seluruh area jangkauan jaringan yang lebih luas (terdiri dari beberapa AP) dan tetap terhubung ke jaringan secara otomatis.

- **Seamless:** Istilah yang menggambarkan transisi yang sangat mulus tanpa gangguan yang berarti, sehingga pengguna tidak merasakan adanya putus koneksi saat proses perpindahan jaringan terjadi.
- **Switch Manageable:** Perangkat *switch* jaringan yang dapat dikonfigurasi dan dikelola untuk fitur-fitur lanjutan seperti VLAN, QoS, dan pemantauan lalu lintas.
- **Throughput:** Kecepatan transfer data aktual yang berhasil dikirimkan melalui jaringan pada waktu tertentu.
- **Virtual Local Area Network (VLAN):** Metode membagi jaringan fisik menjadi beberapa jaringan logis yang terpisah untuk meningkatkan keamanan dan manajemen lalu lintas.
- **Wardriving:** Aktivitas mencari jaringan Wi-Fi dengan menggunakan kendaraan bergerak dan perangkat portabel untuk memetakan keberadaan *Access Point*, sering digunakan untuk mengidentifikasi celah keamanan.
- **Wi-Fi Protected Access 2 - Pre-Shared Key (WPA2-PSK):** Protokol keamanan standar yang menggunakan enkripsi AES dan satu kata sandi bersama untuk mengamankan jaringan Wi-Fi.
- **Wi-Fi Protected Access 3 - Simultaneous Authentication of Equals (WPA3-SAE):** Standar keamanan terbaru yang menggantikan mekanisme pertukaran kunci lama dengan protokol SAE untuk memberikan perlindungan lebih kuat terhadap serangan penebakan kata sandi (*brute-force*).

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak penerapan protokol keamanan nirkabel WPA2-PSK dan WPA3-SAE terhadap performa handover pada jaringan 5 GHz. Handover yang efisien sangat penting untuk menjaga konektivitas yang mulus dan kualitas layanan pada jaringan WiFi, terutama pada pita frekuensi 5 GHz yang banyak digunakan untuk aplikasi dengan kebutuhan bandwidth tinggi. Metode penelitian melibatkan pengujian dan pengukuran parameter performa handover seperti latensi handover, tingkat keberhasilan handover koneksi, dan stabilitas sinyal untuk kedua protokol keamanan. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun WPA3-SAE menawarkan peningkatan keamanan yang signifikan dibandingkan WPA2-PSK, terdapat perbedaan performa handover yang perlu dipertimbangkan. WPA3-SAE cenderung menghasilkan latensi handover yang sedikit lebih tinggi karena proses autentikasinya yang lebih kompleks, namun tetap memberikan stabilitas koneksi yang baik. Sebaliknya, WPA2-PSK menunjukkan latensi handover yang lebih rendah tetapi dengan tingkat keamanan yang lebih rendah. Temuan ini memberikan wawasan penting bagi administrator jaringan dalam memilih protokol keamanan yang mampu menyeimbangkan kebutuhan keamanan dan performa handover untuk mengoptimalkan pengalaman pengguna pada jaringan 5 GHz.

Kata kunci: WPA2-PSK, WPA3-SAE, Handover, Latency, Packet Loss, RSSI.

ABSTRACT

This study aims to analyze the impact of implementing wireless security protocols WPA2-PSK and WPA3-SAE on handover performance in 5 GHz networks. Efficient handover is crucial to maintaining seamless connectivity and quality of service in WiFi networks, especially on the 5 GHz frequency band widely used for high bandwidth applications. The research method involves testing and measuring handover performance parameters such as handover latency, connection handover success rate, and signal stability for both security protocols. The analysis results indicate that although WPA3-SAE offers significant security improvements compared to WPA2-PSK, there are differences in handover performance that need to be considered. WPA3-SAE tends to cause slightly higher handover latency due to its more complex authentication process but still provides good connection stability. Conversely, WPA2-PSK show lower handover latency but with a lower level of security. These findings provide important insights for network administrators in selecting a security protocol that balances security needs and handover performance to optimize user experience on 5 GHz networks.

Keyword: WPA2-PSK, WPA3-SAE, Handover, Latency, Packet Loss, RSSI.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan pesat teknologi nirkabel telah mendorong munculnya standar Wi-Fi 802.11ax sebagai generasi terbaru. Dengan menawarkan peningkatan signifikan dalam hal kecepatan, kapasitas, dan efisiensi spektrum, 802.11ax diharapkan mampu memenuhi kebutuhan konektivitas yang semakin tinggi di era digital. Penggunaan frekuensi 5 GHz pada standar ini juga memberikan keuntungan dalam mengurangi interferensi dan meningkatkan kinerja (Mandal & Tewari, 2022). Namun, di balik segala kelebihannya, masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi. Salah satu tantangan utama adalah mekanisme handover, yaitu proses peralihan antar Access Point saat pengguna berpindah lokasi (Kumar & Om, 2020). Proses handover yang tidak mulus dapat menyebabkan gangguan koneksi dan penurunan kualitas layanan. Selain itu, latency atau keterlambatan dalam pengiriman data juga menjadi perhatian, terutama untuk aplikasi yang sensitif terhadap waktu seperti real-time video streaming dan gaming online. Kehilangan paket data atau packet loss juga dapat menjadi kendala, karena dapat menyebabkan penurunan kualitas layanan dan mengganggu pengalaman pengguna. Kekuatan sinyal atau RSSI yang tidak stabil juga dapat mempengaruhi kinerja jaringan dan menyebabkan koneksi terputus (Fahmy, 2010).

Pada sebuah kampus modern, jaringan internet yang andal dan cepat sangat penting untuk mendukung kegiatan akademik dan administrasi. Untuk mengatur

distribusi jaringan, kampus biasanya menggunakan perangkat seperti router dan switch, yang membantu mengelola lalu lintas data dan memastikan koneksi yang stabil. Access Point ditempatkan di berbagai lokasi strategis untuk menyediakan akses nirkabel (Wi-Fi) kepada mahasiswa, dosen, dan staf. Keamanan jaringan menjadi prioritas utama, dengan protokol WPA2 dan WPA3 digunakan untuk melindungi data dan mencegah akses tidak sah. Selain itu, untuk memastikan koneksi yang lancar dan tidak terputus saat pengguna berpindah dari satu area ke area lain di kampus, teknologi handover jaringan diterapkan, memungkinkan perangkat untuk beralih dari satu Access Point ke Access Point lainnya tanpa kehilangan koneksi.

Keamanan jaringan Wi-Fi menjadi isu krusial seiring dengan meningkatnya jumlah perangkat yang terhubung ke internet melalui akses nirkabel. Standar keamanan WPA2 dan WPA3 telah menjadi standar yang umum digunakan untuk melindungi data yang ditransmisikan melalui jaringan Wi-Fi. Meskipun WPA2 telah menjadi standar yang cukup lama, beberapa kelemahan pada protokol ini telah ditemukan, sehingga memungkinkan serangan yang dapat membahayakan keamanan data pengguna. Munculnya WPA3 sebagai standar terbaru diharapkan dapat mengatasi kelemahan-kelemahan yang ada pada WPA2. Namun, proses migrasi ke WPA3 masih berlangsung dan tidak semua perangkat mendukung standar ini. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tingkat keamanan antara protokol WPA2 dan WPA3 pada jaringan Wi-Fi 802.11ax. Selain itu, penelitian ini juga akan menganalisis dampak penggunaan WPA3 terhadap kinerja jaringan, terutama dalam hal latency dan packet loss. Dengan demikian, penelitian ini

diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai keunggulan dan kekurangan masing-masing protokol serta rekomendasi dalam memilih protokol keamanan yang sesuai untuk berbagai jenis lingkungan jaringan.

Roaming jaringan *Wireless* adalah proses di mana perangkat mobile, seperti smartphone atau laptop, dapat berpindah dari satu jaringan ke jaringan lain tanpa kehilangan konektivitas (Calle et al., 2023). Ini adalah fitur yang sangat penting dalam dunia jaringan yang semakin terhubung atau mobile, di mana pengguna sering berpindah-pindah lokasi, baik itu di dalam gedung, kampus, kota, atau bahkan antar negara (Gherman & Marcu, 2022). Namun, meskipun roaming memberikan banyak manfaat, terdapat sejumlah masalah dan tantangan yang perlu diatasi untuk memastikan pengalaman pengguna yang mulus dan tanpa gangguan.

Meskipun ada standar internasional untuk roaming, seperti 3GPP untuk jaringan seluler dan IEEE 802.11 untuk Wi-Fi, implementasi di lapangan sering kali bervariasi (Ito & Izuka, 2023). Perbedaan dalam konfigurasi jaringan, protokol keamanan, dan manajemen jaringan dapat menyebabkan masalah kompatibilitas dan menurunkan kualitas layanan ketika perangkat mencoba berpindah antar jaringan. Kualitas layanan saat roaming bisa sangat bervariasi. Pengguna sering mengalami penurunan kecepatan data, peningkatan latensi, atau bahkan pemutusan koneksi saat berpindah dari satu jaringan ke jaringan lain. Hal ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk kapasitas jaringan yang terbatas, gangguan sinyal, atau pengaturan prioritas jaringan yang berbeda (Shao et al., 2023).

Roaming juga membawa tantangan keamanan yang signifikan. Setiap kali perangkat berpindah ke jaringan baru, ada potensi risiko keamanan yang perlu

dikelola, seperti serangan man-in-the-middle, pencurian data, atau eksploitasi kerentanan jaringan (Kumar & Om, 2020). Penyedia layanan harus memastikan bahwa semua titik akses dan infrastruktur jaringan lainnya dilindungi dengan baik untuk mencegah ancaman ini. Salah satunya adalah proses autentikasi Wireless protocol seperti Open Security WPA, WPA2 dan WPA3 semakin tinggi penggunaan protocol autentikasi semakin tinggi pula penurunan throughput yang di hasilkan. (Saputro et al., 2021).

Selain aspek mobilitas, pemilihan pita frekuensi juga berperan penting dalam performa WLAN. Pita frekuensi 5 GHz semakin banyak digunakan karena menawarkan kapasitas kanal yang lebih besar, interferensi yang lebih rendah dibandingkan pita 2,4 GHz, serta dukungan terhadap *channel width* yang lebih lebar (40 MHz dan 80 MHz). Karakteristik tersebut menjadikan pita 5 GHz sangat cocok untuk jaringan dengan kepadatan pengguna tinggi dan kebutuhan bandwidth besar. Namun, pita 5 GHz memiliki jangkauan sinyal yang relatif lebih pendek dan atenuasi yang lebih tinggi, sehingga proses handover antar *access point* terjadi lebih sering. Kondisi ini menjadikan pita 5 GHz sebagai lingkungan yang relevan dan menantang untuk mengkaji performa handover secara mendalam.

Menurut (Tang & Han, 2021) dalam penelitian terkait metode adaptive threshold selection berbasis RSSI, nilai RSSI bersifat fluktuatif dan sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jarak, multipath, halangan fisik, hingga interferensi lingkungan. Hal ini menyebabkan penggunaan nilai RSSI statis sebagai acuan pengambilan keputusan sering kali tidak akurat. Threshold RSSI yang ditetapkan terlalu rendah dapat menyebabkan perangkat terlambat melakukan

handover sehingga memicu penurunan kualitas layanan, peningkatan delay, dan bahkan connection drop. Sebaliknya, threshold yang terlalu tinggi dapat memaksa perangkat terlalu cepat berpindah AP sehingga memicu ping-pong handover dan mengurangi efisiensi jaringan.

Kajian lain oleh (Chen et al., 2024) menekankan bahwa RSSI mengalami degradasi yang tidak selalu linear akibat fenomena fading, shadowing, dan dinamika lingkungan lainnya yang sulit diprediksi. Karena itu, penentuan threshold membutuhkan analisis yang lebih cermat agar tidak menimbulkan kesalahan interpretasi terhadap kualitas link. Studi tersebut juga menunjukkan bahwa metode penilaian kualitas sinyal berbasis RSSI sering menghadapi tantangan berupa kesenjangan antara nilai sinyal yang terukur dan kondisi kualitas jaringan yang sebenarnya. Hal ini mempertegas perlunya mekanisme threshold yang lebih adaptif untuk mengkompensasi variabilitas sinyal.

Dengan mempertimbangkan temuan dari kedua referensi tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan RSSI threshold (RSSI limiter) merupakan komponen penting dalam mekanisme pengambilan keputusan handover, namun penetapannya tidak dapat dilakukan secara sembarangan. Threshold yang optimal dapat membantu perangkat berpindah AP pada waktu yang tepat, meningkatkan Quality of Service (QoS), menurunkan latency, dan menjaga stabilitas koneksi khususnya dalam lingkungan perangkat bergerak. Namun, kendala utama terletak pada sifat sinyal itu sendiri yang dinamis dan rentan terhadap gangguan sehingga threshold statis sering kali tidak cukup efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan kinerja jaringan Wi-Fi 802.11ax pada frekuensi 5 GHz dengan memfokuskan pada mekanisme handover, latency, packet loss, serta pengaruh RSSI threshold terhadap protokol keamanan WPA2-PSK dan WPA3-SAE. Studi ini mengevaluasi efektivitas proses roaming di lingkungan padat pengguna seperti sekolah, kampus, industri, dan perkantoran untuk menentukan desain topologi dan konfigurasi yang paling efektif. Hasil analisis ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi teknis yang mendalam guna meningkatkan kualitas layanan, stabilitas, dan keamanan jaringan nirkabel modern di tengah kompleksitas kebutuhan pengguna saat ini.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyediaan analisis komprehensif mengenai hubungan antara keamanan jaringan, karakteristik frekuensi 5 GHz, dan performa handover terhadap QoS WLAN. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan bagi administrator jaringan dalam menentukan protokol keamanan dan konfigurasi jaringan yang optimal, sehingga tercapai keseimbangan antara tingkat keamanan yang tinggi dan kualitas layanan jaringan yang baik, khususnya pada lingkungan dengan mobilitas pengguna yang tinggi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah dijelaskan dalam latar belakang maka rumusan yang dapat disimpulkan:

- a. Apakah konfigurasi Channel dan Channel Width pada *Access Point* berpengaruh pada kecepatan dan efektif dalam proses *seamless Handover* pada jaringan *Wireless*?
- b. Manakah penerapan *Wireless security protocol* seperti mode WPA2-PSK dan WPA3-SAE yang memiliki kemampuan terbaik dan cepat dalam proses *seamless Handover* pada jaringan *Wireless*?
- c. Apakah pengaturan *RSSI Limiter* dapat meningkatkan proses *seamless Handover* antar jaringan *Wireless*?

1.3. Batasan Masalah

Variabel pengujian batasan masalah yang digunakan sebagai berikut:

- a. Hardware yang digunakan :
 1. Penelitian menggunakan Router merk Mikrotik CCR1036-8G-2S+ yang terhubung ke Internet.
 2. Penelitian menggunakan Switch Manageable merk Rujie dengan seri NBS3200-24GT4XS-P dengan konfigurasi vlan untuk pemisah segment IP antar *Access Point*.
 3. Penelitian menggunakan *Access Point* Ceiling merk Ubiquiti U6 Pro support WiFi 6 dengan frekuensi 2.4Ghz dan 5Ghz Dual Band sebanyak dua (2) buah untuk simulasi *seamless Handover* antar Jaringan *Wireless*.

4. Penelitian menggunakan perangkat device mobile merk Samsung A9+ 5G support WiFi 5Ghz, VHT80 dan Laptop merk HP Axioo Hype-R X8 support WiFi 5 Ghz sebagai Unifi Controller.

b. Software yang digunakan :

1. Penelitian menggunakan RouterOS versi 7 pada perangkat Router Mikrotik.
2. Penelitian menggunakan Unifi Network Controller untuk Konfigurasi Channel Pita Frekuensi, Channel width, VLAN pada Access Point dan Switch Manageable.
3. Penelitian menggunakan Aplikasi Wifi Analyzer, Ruijie Cloud Utilities dan WiFiman mobile untuk mendapatkan data yang diperlukan.

c. Parameter yang dilakukan dalam percobaan penelitian ini :

1. Penelitian hanya menguji pada frekuensi jaringan 5Ghz atau IEEE 802.11ax dan dilakukan Auditorium (indoor) dengan memastikan tidak ada interferensi antar Access Point di frekuensi 5Ghz.
2. Penelitian hanya menggunakan 1 device saja dalam hal ini Samsung A9+ 5G support WiFi 5Ghz, VHT80. Dengan kemampuan Tablet tersebut harapannya dapat secara generalisasi nantinya di lingkungan nyata dikarenakan support semua jenis frekuensi.
3. Penelitian hanya menggunakan Pita frekuensi channel 38-62 pemilihan pita frekuensi ini sudah sesuai dengan Peraturan Menteri Komunikasi Dan Informatika Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Pasal 3 huruf a yang mengatur Tentang Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio

Berdasarkan Izin Kelas penggunaan pita frekuensi 5150 – 5350 Mhz
Access Point Indoor.

4. Penelitian menggunakan Unifi Network Controller untuk Konfigurasi Channel Pita Frekuensi, Channel width, VLAN pada Access Point dan Switch Manageable.
5. Penelitian menggunakan IP Address Dynamic IPv4 dua blok sebagai simulasi perpindahan antar gedung.
6. Penelitian menggunakan waktu proses handover dengan mengukur data Latency dan Packet Loss sebagai parameter pendukung dalam kualitas jaringan wireless.
7. Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan konfigurasi RSSI Limiter pada Access Point sebagai upaya optimalisasi penerimaan sinyal.

1.4. Tujuan Penelitian

Tiga hal yang menjadi capaian dari tujuan penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui pengaruh konfigurasi Channel dan Channel Width pada Access Point terhadap kecepatan dan efektivitas proses *seamless handover* pada jaringan *wireless*.
- b. Mengetahui *Wireless security protocol* WPA2-PSK dan WPA2-SAE mana yang efektif dan cepat dalam proses *Handover*.
- c. Menilai efektivitas RSSI Limiter dalam meningkatkan kelancaran handover antar jaringan wireless.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

- a. Penelitian ini memberikan panduan untuk mengoptimalkan konfigurasi Channel dan Channel Width pada Access Point, yang dapat meningkatkan kecepatan dan efektivitas seamless handover pada jaringan wireless. Hal ini penting untuk manajemen jaringan yang efisien, terutama dalam lingkungan dengan mobilitas tinggi.
- b. Dengan membandingkan efektivitas dan kecepatan handover antara protokol WPA2-PSK dan WPA2-SAE, penelitian ini membantu dalam pemilihan protokol keamanan yang paling sesuai. Ini mendukung peningkatan keamanan jaringan tanpa mengorbankan performa.
- c. Evaluasi efektivitas tanpa RRSI atau dengan RRSI Limiter dalam proses handover memungkinkan perbaikan kelancaran koneksi antar jaringan wireless. Ini berkontribusi pada pengalaman pengguna yang lebih stabil dan mengurangi gangguan selama proses handover.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan penelitian sebelumnya keterkaitan analisis performa *Handover* tradisional dan berbasis SDN dalam jaringan WLAN oleh (Emran, 2020), menunjukkan bahwa jaringan WLAN berbasis SDN memiliki kinerja yang lebih baik dalam mengelola mobilitas pengguna dan mengurangi delay *Handover* dibandingkan dengan jaringan WLAN tradisional, meskipun terdapat beberapa switch di antara Access Point. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun jumlah switch di antara Access Point meningkat, kinerja jaringan berbasis SDN akan lebih baik daripada jaringan tradisional dalam hal data rate dan delay *Handover*.

Pada penelitian yang sama dilakukan oleh (Saputro & Raharjo, 2022) terkait Pengaruh *Wireless security protocol* Pada Throughput Jaringan *Wireless 802.11ax* membahas bagaimana penggunaan protokol keamanan nirkabel seperti WPA2-PSK dan WPA3-SAE mempengaruhi kecepatan jaringan *Wireless 802.11ax*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan protokol keamanan ini dapat membuat kecepatan jaringan menjadi lebih lambat, terutama saat menggunakan lebar saluran 20 Mhz dan 40 Mhz. Namun, saat menggunakan lebar saluran 80 Mhz, penggunaan WPA3-SAE dapat menjaga kecepatan jaringan.

Selanjutnya penelitian dilakukan oleh (Rifki et al., 2022) Analisis Kinerja *Handover* Jaringan WLAN Menggunakan RSSI dan Threshold pada Perangkat Mobile, kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa keputusan *Handover* dalam

jaringan WLAN dapat dilakukan berdasarkan perbandingan nilai RSSI dan parameter threshold. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan antara nilai RSSI yang diukur dengan hasil model propagasi Friis. Keputusan Handover dilakukan dengan memindahkan layanan komunikasi dari AP1 ke AP2 pada jarak 15 meter. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kedua metode (perbandingan RSSI dan threshold) memberikan hasil yang serupa dalam menentukan keputusan Handover.

Dalam hal penelitian yang akan dilakukan oleh penulis adalah berdasarkan konsep yang dilakukan oleh (Emran, 2020), Perbedaan yang dilakukan adalah penelitian yang dilakukan sebelumnya berfokus pada konsep topologi desain jaringan tradisional dengan SDN dalam proses handover jaringan Wireless dengan menggunakan Wireless protocol security WPA2-PSK dan WPA3-SAE dengan membandingkan skenario 2 Channel width 40 Mhz dan 80 Mhz dan Channel pita frekuensi yang sama dan berbeda.

2.2. Keaslian Penelitian

Tabel 2. 1 Matriks literatur review dan posisi penelitian

| No | Judul | Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun | Tujuan Penelitian | Kesimpulan | Saran atau Kelemahan | Perbandingan |
|----|---|---|--|---|---|--|
| 1 | Leveraging Software-Defined Networking for a QoS-Aware Mobility Architecture for Name Data Networking | Muhammad Adnan, Journal Electronics, 2023 | Mengusulkan arsitektur SDPCACM (Software-Defined Proactive Caching Architecture for Consumer Mobility) dalam jaringan NDN untuk mengontrol mobilitas sehingga konsumen dapat menerima data video real-time secara proaktif setelah handover. | Skema SDPCACM yang diusulkan memberikan peningkatan signifikan dalam efisiensi CPU, pengurangan delay, jitter, peningkatan throughput, dan pengurangan rasio kehilangan paket dibandingkan metode terdahulu. 1. Delay (Penundaan): Mengalami penurunan signifikan. Pada skenario single controller, delay tercatat sekitar 1 ms (lebih rendah dibandingkan Zheng ~2 ms dan Cha ~4 ms). 2. Throughput: Meningkat, mencapai sekitar 30.000 paket/detik pada skenario kategori 1, lebih tinggi dibandingkan skema pembanding yang berada di bawah 26.000 paket/detik. 4. Packet Loss Ratio: | Kelemahan Penelitian Terdahulu yang Diatasi: Penelitian sebelumnya (Zheng, 2017; Cha, 2017) memiliki handover delay yang tinggi dan boros sumber daya. Saran: Menggunakan mekanisme proactive caching yang dikelola oleh SDN controller untuk memastikan data tersedia di router tujuan sebelum pengguna tiba. Hal ini mengimplikasikan bahwa salah satu kelemahan dari artikel tersebut mungkin adalah kebutuhan akan validasi eksperimental yang lebih komprehensif dan demonstrasi | Pengembangan yang sama akan dilakukan oleh peneliti dalam hal SDN atau dalam hal ini peneliti menggunakan Cloud Manageable Ruijie dan kemudian akan lebih di dalam dalam eksperimen lapangan untuk menguji efektifitas Wireless Protocol WPA2 dan WPA3 dalam proses seamless Handover antar Access Point yang berfokus pada frekuensi 5 Ghz. |

| | | | | | | |
|---|---|--|--|---|---|--|
| | | | | Rasio kehilangan paket terendah (< 0.3 pada kategori 1), menunjukkan stabilitas koneksi yang lebih baik.5. Jitter:Sangat rendah (sekitar 2 ms pada kategori 1), dibandingkan skema lain yang mencapai 4-5 ms. | metodologi yang lebih terperinci. | |
| 2 | Multiobjective planning of indoor Wireless Local Area Networks using subpermutation-based hybrid algorithms | Marlon P. Lima, Journal Knowledge-Based Systems (2023) | Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merencanakan jaringan Wireless Local Area Networks (WLAN) dengan menggunakan algoritma optimasi hibrida. Pendekatan ini bertujuan untuk memaksimalkan keseimbangan beban jaringan dan rasio sinyal terhadap noise (SINR) sambil mempertimbangkan batasan terkait cakupan, permintaan pelanggan, dan peralatan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengoptimalkan penempatan Access Point (AP) dan penugasan saluran untuk mengurangi interferensi dan | Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa pendekatan perencanaan WLAN yang diusulkan, yang menggunakan kombinasi algoritma WiPGA dan Channel Assignment GA, efektif dalam mengoptimalkan desain WLAN. Pendekatan ini berhasil mencapai keseimbangan antara cakupan, SINR, dan load balancing. Pendekatan hybrid menghasilkan peningkatan SINR rata-rata dan indeks load balance mendekati 1 (fair) serta hypervolume 0,8869 (Scenario 1) dan 0,7017 (Scenario 2), lebih baik dibandingkan NSGA-II dan Ekaheu. | Kelemahan dari penelitian ini adalah bahwa meskipun algoritma WiPGA dapat merencanakan WLAN skala besar dengan efisien, masih ada beberapa keterbatasan. Sayangnya tidak mengevaluasi performa roaming/handover, latency, packet loss, dan tidak membahas protokol keamanan WLAN. | Konsep penelitian ini tujuan yang sama yaitu untuk mencari optimalisasi dan efisiensi dalam proses seamless Handover antar Access Point hanya saja dalam skenario pengujian di lapangan yang akan dilakukan oleh peneliti. |

| | | | | | | |
|---|--|-------------------------|--|--|---|--|
| | | | meningkatkan kinerja jaringan, serta menyediakan solusi yang efektif dari segi biaya yang dapat meningkatkan throughput WLAN. | | | |
| 3 | A scheme of seamless Handover in Wireless Communications based on sentinel mechanism | Yanzhi Sun, IEEE (2019) | Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengusulkan sebuah skema peralihan yang mulus dalam komunikasi nirkabel berbasis mekanisme sentinel guna mengatasi masalah penurunan sinyal pada terminal mobile. Skema tersebut melibatkan pemindaian pra-dinamis, pemilihan AP berdasarkan beberapa atribut, dan strategi perpindahan cepat. Metode yang diusulkan bertujuan untuk mengurangi keterlambatan peralihan dan mengoptimalkan proses peralihan untuk meningkatkan kualitas layanan. | Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa skema peralihan yang diusulkan, berdasarkan mekanisme sentinel, dapat meningkatkan efisiensi peralihan dalam jaringan nirkabel. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kekuatan sinyal, jarak, dan tingkat QoS dari titik akses, skema tersebut dapat membuat keputusan peralihan yang optimal. Hasil simulasi utama menunjukkan : <ul style="list-style-type: none"> • Scanning delay berkurang >90% dibanding IEEE 802.11 konvensional • Total handover delay turun dari ratusan ms menjadi puluhan ms (berdasarkan simulasi MATLAB) • QoS lebih terjaga untuk layanan sensitif delay (voice/video) • Load AP lebih seimbang melalui multi-attribute | Saran untuk penelitian selanjutnya adalah untuk melakukan uji coba lapangan atau simulasi yang lebih luas untuk menguji efektivitas skema peralihan yang diusulkan dalam berbagai kondisi jaringan nirkabel yang berbeda. Selain itu, penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan faktor-faktor tambahan yang dapat memengaruhi proses peralihan, seperti interferensi sinyal atau mobilitas pengguna. Kelemahan utama dari penelitian ini adalah Fokus pada mekanisme scanning & seleksi AP, tanpa pengukuran packet | Melalui penelitian dan saran penelitian ini jika dibandingkan dengan penelitian penulis adalah perlunya uji coba lapangan agar lebih terukur dampak konfigurasi keamanan & channel terhadap QOS untuk mendapatkan hasil dengan kondisi yang ada. |

| | | | | | | |
|---|--|----------------------------|--|---|---|---|
| | | | | decision (RSSI + QoS + lokasi) | loss, RSSI rata-rata pasca-handover, atau pengaruh channel width & band | |
| 4 | Performance Analysis of Traditional and SDN Based Handovers in Wireless LAN Networks | Erman Muhammad, IEEE, 2019 | Tujuan dari penelitian yang dibahas dalam kutipan tersebut adalah untuk mengusulkan arsitektur berbasis SDN untuk manajemen <i>Handover</i> dalam jaringan WLAN guna meningkatkan kinerja, mengurangi keterlambatan <i>Handover</i> , dan mengoptimalkan jaringan. Selain itu, penelitian juga bertujuan untuk menghitung dan meminimalkan tingkat kegagalan <i>Handover</i> dalam jaringan WLAN, serta membandingkan kinerja jaringan tradisional dengan jaringan berbasis SDN. | Berdasarkan penelitian yang dilakukan, disimpulkan bahwa jaringan WLAN berbasis SDN memiliki kinerja yang lebih baik dalam mengelola mobilitas pengguna dan mengurangi keterlambatan <i>Handover</i> dibandingkan dengan jaringan WLAN tradisional, meskipun terdapat beberapa switch di antara Access Point. Hasil evaluasi kinerja menunjukkan bahwa pada WLAN tradisional, nilai end-to-end delay (RTT) selama proses handover dapat meningkat hingga sekitar 200-350 ms ketika terdapat beberapa switch antar access point. Sebaliknya, pada WLAN berbasis Software Defined Networking (SDN), delay handover dapat ditekan pada kisaran 30-60 ms meskipun melibatkan tiga switch antar access point. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme pre-installation | Berdasarkan penelitian, kelemahan yang diidentifikasi adalah Tidak mempertimbangkan aspek keamanan WLAN (WPA2/WPA3) serta tidak mengevaluasi packet loss dan latency secara rinci per skenario channel. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah untuk memperluas cakupan dengan memasukkan analisis kompleksitas dan batasan penelitian, serta mempertimbangkan faktor-faktor lain yang mungkin memengaruhi kinerja jaringan WLAN berbasis SDN. | Penelitian ini melengkapi aspek yang belum dibahas, dengan fokus pada pengaruh protokol keamanan (WPA2-PSK vs WPA3-SAE) terhadap QoS handover (latency, packet loss, RSSI) pada jaringan 5 GHz. |

| | | | | | | |
|---|---|--|---|---|--|--|
| | | | | flow table pada arsitektur SDN mampu mengurangi lonjakan delay secara signifikan dan menjaga kestabilan Quality of Service (QoS) selama proses roaming. | | |
| 5 | Assign channels in WLANs with channel bonding. A fair and robust strategy | Candda Amel, Journal Computer Network 2021 | Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan keseimbangan antara interferensi dan throughput dalam WLAN menggunakan channel bonding, serta untuk mencegah kelaparan (starvation) dari <i>Access Points</i> (Access Point) dengan memilih lebar saluran yang sesuai untuk setiap AP. Penelitian ini Mengembangkan strategi alokasi channel dan channel width (20-160 MHz) untuk meningkatkan fairness dan throughput WLAN | Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa pendekatan yang diusulkan untuk penugasan saluran dalam WLAN menggunakan channel bonding mampu meningkatkan keseimbangan antara interferensi dan throughput, serta mencegah kelaparan (starvation) dari <i>Access Points</i> (Access Point) dengan memilih lebar saluran yang sesuai untuk setiap AP. Hasil evaluasi kinerja menunjukkan bahwa strategi alokasi channel dan channel width yang diusulkan mampu meningkatkan throughput rata-rata hingga sekitar 20% serta proportional fairness hingga sekitar 15% dibandingkan strategi statis. Selain itu, jumlah access point yang mengalami starvation (throughput < 5 Mbps) dapat ditekan hingga | Saran dari penelitian ini adalah untuk melanjutkan penelitian ke depan dengan mengeksplorasi kemungkinan adaptasi solusi yang diusulkan untuk meningkatkan keadilan di antara stasiun-stasiun dalam WLAN, selain hanya mencimbangkan throughput. Penelitian ini juga dapat diperluas untuk mempertimbangkan pengaruh topologi WLAN dan derajat rata-rata dalam pemilihan lebar saluran. Kelemahan dari penelitian ini adalah Tidak membahas handover, mobilitas user, maupun | Penelitian ini berbeda dengan penelitian analisis performa karena fokusnya adalah pada strategi penugasan saluran dalam WLAN dengan channel bonding untuk mencapai keseimbangan antara interferensi dan throughput, serta mencegah kelaparan dari <i>Access Points</i> (Access Point) . Penelitian akan dilakukan dengan menggunakan variasi channel width (40 & 80 MHz) tetapi dikaitkan langsung dengan performa handover dan QoS, bukan sekadar throughput statis |

| | | | | | | |
|---|---|---------------------------------------|--|--|---|--|
| | | | | <p>mendekati nol. Temuan ini juga menunjukkan bahwa penggunaan channel width yang lebih lebar, seperti 160 MHz, tidak selalu menghasilkan kinerja yang lebih baik, terutama pada topologi WLAN yang padat. Oleh karena itu, pemilihan channel width yang adaptif menjadi faktor penting dalam menjaga kualitas layanan jaringan WLAN pada band 5 GHz.</p> | <p>delay/packet loss saat roaming, dan tidak mempertimbangkan protokol keamanan</p> | |
| 6 | <p>Pengaruh <i>Wireless security protocol</i> Pada Throughput Jaringan <i>Wireless</i> 802.11ax</p> | <p>Saputro Jurnal Paradigma, 2022</p> | <p>Membandingkan pengaruh penggunaan wireless security protocol mode WPA2-AES dan WPA3-SAE terhadap throughput jaringan wireless 802.11ax.</p> | <p>Kesimpulan menunjukkan bahwa penggunaan protokol keamanan tersebut dapat mengurangi kecepatan jaringan, terutama pada saluran lebar 20 MHz dan 40 MHz. Namun, penggunaan WPA3-SAE mampu mempertahankan kecepatan saat menggunakan saluran lebar 80 MHz.</p> <p>1. 20 Mhz: Penurunan throughput 0.9% untuk kedua mode.</p> <p>2. 40 Mhz: WPA3 lebih baik (turun 1.48%) dibanding WPA2 (turun 1.79%).</p> <p>3. 80 Mhz:</p> | <p>Saran untuk penelitian ini adalah untuk mempertimbangkan penggunaan variasi lain dari protokol keamanan nirkabel selain WPA2-PSK dan WPA3-SAE untuk melihat pengaruhnya terhadap throughput jaringan <i>Wireless</i> 802.11ax secara lebih komprehensif.</p> <p>Kelemahan penelitian ini adalah fokus pada pengaruh protokol keamanan terhadap throughput tanpa mempertimbangkan</p> | <p>Penelitian Ini Menggunakan standar terbaru IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) dan protokol keamanan terbaru WPA3-SAE untuk mengisi celah penelitian sebelumnya yang masih menggunakan standar lama. Selanjutnya penulis mengevaluasi performa roaming/handover, latency, packet loss, dan pengaruhnya.</p> |

| | | | | | | |
|---|--|---|---|---|--|---|
| | | | | WPA2 lebih baik (turun 1,48%) dibanding WPA3 yang turun signifikan (9,50%). | faktor keamanan secara menyeluruh, seperti kerentanan keamanan yang mungkin timbul dari penggunaan protokol tertentu. | |
| 7 | Handoff decision algorithm in WiFi zone using Fuzzy Logic | Goutam & Unnikrishnan, IEEE WITCON 2019 | Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan algoritma handover berbasis fuzzy logic. | Algoritma handover berbasis fuzzy logic mampu meningkatkan akurasi keputusan handover dengan mempertimbangkan RSSI dan kecepatan pengguna secara adaptif. Hasil simulasi menunjukkan bahwa handover terjadi pada jarak ± 300 m untuk kecepatan 5 m/s dan ± 550 m untuk kecepatan 15 m/s, sehingga konektivitas dan QoS pengguna dapat dipertahankan lebih baik dibanding metode threshold statis. | Kelemahan dari penelitian ini adalah kurangnya pembahasan mengenai validitas dan reliabilitas data yang dikumpulkan dan hanya berbasis simulasi, tidak diuji pada jaringan WLAN nyata. | Penelitian akan diperluas dengan parameter QoS (latency & packet loss) dan membandingkan protokol keamanan WPA2-PSK vs WPA3-SAE pada 5 GHz. |
| 8 | Analysis Of Wlan Network Handover Performance Using Rssi And Threshold On Mobile Devices | Rifki et al., Jurnal INFOKUM, 2022 | Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja Handover jaringan WLAN menggunakan RSSI dan threshold pada perangkat mobile. Penelitian ini berfokus pada dampak mobilitas | Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa keputusan Handover dalam jaringan WLAN dapat dilakukan berdasarkan perbandingan nilai RSSI dan parameter threshold. Hasil Evaluasi ada jarak 15m, RSSI API (-64.35 | Penelitian ini memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Pertama, nilai RSSI yang diukur dipengaruhi oleh hambatan acak seperti kepadatan orang di | Penelitian selanjutnya akan melanjutkan dengan analisis dengan parameter Wireless security protocol WPA2 dan WPA3 sebagai perbandingan mana |

| | | | | | |
|--|--|--|--|---|---|
| | | <p>pengguna terhadap konektivitas dan algoritma <i>Handover</i> untuk mempertahankan konektivitas. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi tentang layanan jaringan WLAN di lokasi tertentu.</p> | <p>dBm) lebih rendah dari RSSI AP2 (-62.75 dBm) dan di bawah threshold (-64 dBm). Terdapat selisih rata-rata 2.4 dBm antara simulasi model Friis dengan pengukuran riil.</p> | <p>lingkungan propagasi, yang tidak diperhitungkan dalam model propagasi Friis. Tidak menganalisis latency, packet loss, dan keamanan; hanya fokus RSSI dan jarak; belum mempertimbangkan protokol keamanan WLAN.</p> | <p>yang lebih baik dan cepat dalam proses <i>seamless Handover</i>.</p> |
|--|--|--|--|---|---|

2.3. Landasan Teori

Beberapa hal terkait landasan teori yang dibutuhkan dalam penelitian ini, mengenai *Handover*, *Channel width*, Wi-Fi Security Protocols (WPA, WPA2, dan WPA3), Protocol TCP/IP, Latency, RSSI, Packet Loss.

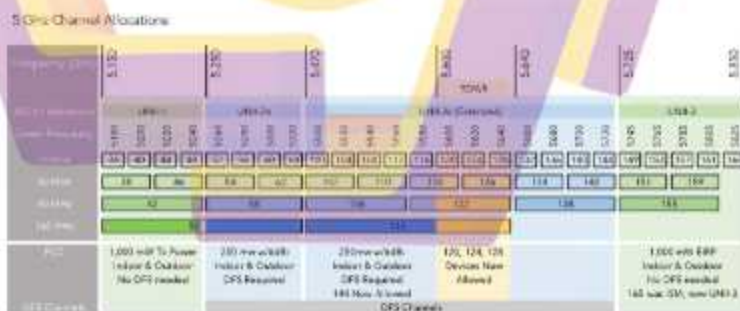
2.2.1 Handover

Handover dalam jaringan nirkabel merujuk pada proses perpindahan koneksi dari satu Access Point (AP) ke AP lain oleh perangkat klien, yang umumnya dilakukan untuk mendapatkan koneksi dengan sinyal lebih kuat atau kualitas layanan yang lebih stabil. Proses ini bertujuan untuk menjaga kontinuitas koneksi tanpa gangguan, terutama saat pengguna berpindah lokasi dalam area jangkauan jaringan Wi-Fi. Handover yang efektif sangat penting untuk memastikan pengalaman pengguna tetap lancar, terutama dalam aplikasi yang sensitif terhadap jeda waktu seperti panggilan suara (VoIP), video streaming, maupun layanan real-time lainnya. Dalam pelaksanaannya, proses handover mempertimbangkan berbagai faktor, termasuk tingkat kekuatan sinyal (RSSI), tingkat kepadatan atau beban trafik pada masing-masing AP, serta kemampuan sistem dalam menangani perpindahan koneksi secara cepat dan transparan tanpa menyebabkan putusnya layanan. Untuk mengoptimalkan efisiensi handover, sejumlah standar telah dikembangkan, seperti IEEE 802.11k untuk memberikan informasi lingkungan jaringan, 802.11r untuk mempercepat proses autentikasi ulang saat roaming, dan 802.11v untuk memungkinkan pengelolaan dan arahan klien ke AP yang lebih optimal. Dengan penerapan standar-standar ini, proses handover

menjadi lebih cepat, mulus (seamless), dan responsif terhadap kebutuhan koneksi mobilitas tinggi di jaringan Wi-Fi modern. (Adnan et al., 2023).

2.2.2 Channel width

Channel width menurut IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) adalah istilah yang merujuk pada lebar pita atau spektrum frekuensi yang dialokasikan untuk penggunaan komunikasi nirkabel. Lebar kanal ini merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan kapasitas dan kinerja jaringan nirkabel. Dalam konteks jaringan nirkabel seperti Wi-Fi atau teknologi komunikasi seluler, lebar kanal ditentukan oleh jumlah frekuensi yang dialokasikan untuk transmisi data. Lebar kanal yang lebih besar biasanya dapat mendukung laju transfer data yang lebih tinggi, karena memungkinkan penggunaan lebih banyak sub-frekuensi atau sub-kanal untuk transmisi data secara bersamaan. (Bandyopadhyay et al., 2023) (Chadda et al., 2021).



Gambar 2. 1 Channel 5Ghz Allocations

Sumber: <https://jdtechsolutions.net/wifi-best-practice-wifi-channels-allocation-and-configuration/>

Misalnya, dalam standar Wi-Fi seperti 802.11ac atau 802.11ax, lebar kanal dapat bervariasi dari 20 MHz hingga 160 MHz, tergantung pada konfigurasi jaringan dan kemampuan perangkat Wi-Fi yang digunakan. Lebar kanal yang lebih lebar biasanya digunakan untuk mendukung aplikasi dengan kebutuhan bandwidth tinggi seperti streaming video HD atau transfer data cepat. Dalam spektrum frekuensi yang terbatas, alokasi lebar kanal harus diatur secara hati-hati untuk menghindari gangguan antar kanal dan memastikan kinerja yang optimal dalam jaringan komunikasi nirkabel.

2.2.3 Wi-Fi Security Protocol

Keamanan Wi-Fi, seperti yang ditentukan dalam IEEE 802.11, telah mengalami peningkatan besar sejak didefinisikan awalnya dengan wired equivalent privacy (WEP). Sejak tahun 2006, semua perangkat Wi-Fi yang disertifikasi oleh Wi-Fi Alliance menerapkan WPA2. Pada tahun 2017, Wi-Fi Alliance memperkenalkan Wi-Fi Certified WPA3 sebagai generasi baru keamanan Wi-Fi dengan kemampuan baru untuk meningkatkan perlindungan Wi-Fi di jaringan pribadi dan perusahaan. Berikut adalah yang digunakan saat ini:

a. WPA

WPA (Wi-Fi Protected Access) adalah protokol keamanan jaringan nirkabel yang dikembangkan oleh Wi-Fi Alliance sebagai solusi sementara untuk mengatasi berbagai kelemahan pada sistem keamanan WEP (Wired Equivalent Privacy), sembari menunggu penyempurnaan standar IEEE 802.11i yang kemudian menjadi dasar

bagi WPA2. WPA dirancang agar tetap kompatibel dengan perangkat keras yang sebelumnya hanya mendukung WEP, dengan cara menerapkan peningkatan keamanan melalui pembaruan firmware, selama perangkat tersebut memiliki kemampuan teknis yang memadai. Salah satu fitur utama dari WPA adalah penggunaan protokol TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), yang menggantikan metode enkripsi statis WEP dengan sistem perputaran kunci dinamis serta penambahan sequence counter untuk mencegah serangan replay. Di samping itu, WPA juga mengadopsi algoritma MICHAEL sebagai mekanisme Message Integrity Check (MIC), yang memberikan perlindungan terhadap manipulasi data dengan keandalan lebih tinggi dibandingkan metode CRC-32 yang digunakan pada WEP. Meskipun MICHAEL tidak sekuat metode integritas data pada standar keamanan nirkabel yang lebih baru, algoritma ini tetap menjadi solusi yang efisien karena ringan secara komputasi dan kompatibel dengan perangkat lama. Dengan seluruh peningkatan ini, WPA berhasil menghadirkan keamanan jaringan yang jauh lebih kuat dibandingkan pendahulunya, sekaligus mempermudah transisi menuju implementasi sistem keamanan yang lebih modern seperti WPA2. Bensky, Alan (2019) Short-range Wireless Communication (Third Edition) Chapter 11 Wireless Local Area Networks. Page 38

b. WPA2

WPA2 merupakan protokol keamanan jaringan Wi-Fi yang menghadirkan peningkatan signifikan dari pendahulunya, terutama melalui penerapan algoritma enkripsi Advanced Encryption Standard (AES) yang jauh lebih kuat dan aman. Salah satu komponen kunci dari WPA2 adalah penggunaan protokol CCMP (Counter Mode Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol), yang dirancang untuk memberikan perlindungan tingkat tinggi terhadap kerahasiaan data, menjaga integritas pesan, serta mencegah serangan replay—semuanya sesuai dengan standar keamanan yang ditetapkan dalam IEEE 802.11. Meskipun struktur pembentukan kunci dan arsitektur hierarki kunci pada WPA2 pada dasarnya mengikuti pendekatan yang digunakan dalam WPA, terdapat perbedaan penting, yaitu penggunaan satu kunci yang sama untuk fungsi kerahasiaan dan integritas. Keunggulan utama WPA2 dibandingkan WPA terletak pada tingkat keamanannya yang lebih tinggi, karena AES menggantikan algoritma RC4 yang digunakan dalam WPA untuk enkripsi, dan CCMP menggantikan algoritma MICHAEL yang sebelumnya digunakan untuk menjaga integritas data. Dengan kombinasi ini, WPA2 menawarkan sistem keamanan jaringan yang lebih kokoh dan tahan terhadap berbagai bentuk serangan kriptografi modern. Bensky, Alan (2019) Short-range Wireless Communication (Third Edition) Chapter 11 Wireless Local Area Networks. Page 39-41.,

c. WPA3

WPA3 merupakan standar keamanan jaringan nirkabel terbaru yang ditetapkan melalui program sertifikasi resmi oleh Wi-Fi CERTIFIED, khusus untuk memastikan bahwa perangkat yang menggunakan WPA3 memenuhi kriteria keamanan tingkat lanjut. Program ini mencakup dua mode utama, yaitu WPA3-Personal untuk penggunaan individu dan rumah tangga, serta WPA3-Enterprise yang ditujukan bagi lingkungan bisnis dan institusi dengan kebutuhan keamanan yang lebih kompleks. Sertifikasi ini juga mencakup berbagai fitur tambahan seperti validasi sertifikat server untuk mencegah serangan berbasis spoofing, autentikasi SAE-PK (Simultaneous Authentication of Equals – Public Key) untuk pengamanan login nirkabel berbasis kriptografi modern, serta dukungan terhadap URI Wi-Fi dan sinyal yang menunjukkan apakah mode transisi WPA2 ke WPA3 telah dinonaktifkan. Selain itu, terdapat pula mekanisme perlindungan tambahan yang memperkuat privasi pengguna, seperti enkripsi individual antara klien dan access point. Secara keseluruhan, WPA3 dirancang sebagai peningkatan signifikan dari WPA2 dengan mengusung standar yang lebih ketat terhadap keamanan dan privasi, guna menjawab tantangan keamanan jaringan nirkabel di era digital yang semakin kompleks. ^{(WPA3™}

Specification Version 3.3, 2024)

2.2.4 Protocol TCP/IP

TCP/IP merujuk pada kombinasi dari Transmission Control Protocol (TCP) dan Internet Protocol (IP). TCP adalah protokol berbasis koneksi dan berbasis aliran yang mendirikan aliran komunikasi dua arah yang handal antara dua perangkat sebelum transfer data dimulai. TCP memastikan bahwa data diterima dalam urutan yang benar dan melakukan retransmisi terhadap paket yang hilang, memberikan ilusi aliran kontinu byte antara perangkat. Keandalan ini memperkenalkan overhead dalam pipa pemrosesan, karena seluruh koneksi terblokir sampai paket yang hilang diretransmisikan dan dimasukkan kembali ke posisi yang benar. TCP banyak digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kehandalan tinggi, seperti transfer file, email, dan penjelajahan web.

Paket IP dikapsulasi dalam protokol lapisan datalink (Layer 2), seperti Ethernet atau Wi-Fi. Sebuah paket IP mengandung alamat IP sumber dan tujuan, beserta informasi tambahan yang menjelaskan protokol dalamnya. TCP dan UDP adalah protokol yang paling umum digunakan yang berjalan di atas protokol IP. Toulson et al., (2024) *Fast and Effective Embedded Systems Design (Third Edition) Chapter 13 Further Aspect of The IOT*. Page 11-14

2.2.5 Quality of Service (QoS)

Quality of Service (QoS) merupakan mekanisme yang digunakan dalam jaringan komputer untuk menjamin kinerja layanan komunikasi data agar memenuhi kebutuhan tertentu seperti kecepatan, keandalan, dan

kestabilan transmisi (Fauzan Prasetyo Eka Putra et al., 2025). QoS menjadi aspek penting terutama pada jaringan yang melayani berbagai jenis aplikasi dengan kebutuhan bandwidth dan sensitivitas waktu yang berbeda, seperti video conferencing, VoIP, dan online streaming.

Menurut (*European Environment Agency (EEA), 2022*), QoS adalah kemampuan jaringan untuk menyediakan layanan yang berbeda bagi berbagai jenis lalu lintas jaringan, dengan cara mengatur prioritas, alokasi bandwidth, dan pengendalian delay serta packet loss. Dengan kata lain, QoS memastikan bahwa aplikasi yang membutuhkan performa tinggi dapat tetap berjalan optimal meskipun terjadi kepadatan trafik.

Untuk mengevaluasi kualitas dan performa jaringan, analisis QoS difokuskan pada parameter-parameter kunci. Parameter ini dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama: pertama, parameter kapasitas, yang terdiri dari bandwidth (kapasitas maksimal transmisi suatu data) dan throughput (laju suatu data efektif yang berhasil dikirim). Kedua, parameter kualitas transmisi, yang mencakup delay atau latensi (waktu tempuh paket), jitter (variasi waktu tunda antar paket), dan packet loss (kondisi kegagalan paket data mencapai tujuan).

a. Latency

Latency merupakan indikator penting dalam evaluasi kinerja jaringan yang menggambarkan waktu yang dibutuhkan oleh paket data untuk berpindah dari sumber ke tujuan dan kembali lagi. Metrik ini merefleksikan tingkat keterlambatan dalam transmisi data, yang

dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jarak fisik antar perangkat, kapasitas bandwidth, tingkat kepadatan lalu lintas jaringan, serta konfigurasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan. Latency yang tinggi dapat berdampak negatif terhadap kualitas layanan, seperti menimbulkan jeda dalam komunikasi real-time, buffering pada layanan streaming video, serta keterlambatan respon dalam aplikasi interaktif. Oleh karena itu, optimasi latency menjadi aspek krusial dalam perancangan dan pengelolaan jaringan modern. Upaya optimalisasi ini dapat meliputi peningkatan infrastruktur jaringan, pemilihan perangkat dengan kinerja tinggi, serta implementasi manajemen lalu lintas data yang efisien, guna memastikan transmisi data yang cepat, stabil, dan mendukung kebutuhan layanan digital yang semakin kompleks. (Wahyudin Hasyim, 2024)

b. RSSI

RSSI (Received Signal Strength Indicator) adalah indikator yang digunakan dalam sistem komunikasi nirkabel untuk mengukur tingkat kekuatan sinyal radio yang diterima oleh sebuah perangkat dari Access Point atau pemancar lainnya. Nilai RSSI biasanya dinyatakan dalam satuan desibel-miliwatt (dBm) dan memberikan gambaran sejauh mana kualitas sinyal yang diterima, yang secara langsung memengaruhi kestabilan koneksi dan kecepatan transmisi data.

Tabel 2. 2 Kekuatan Sinyal yang Dapat Diterima

| Kekuatan Sinyal | TI; DR | Keterangan | Diperlukan untuk |
|-----------------|-----------------------|---|-------------------------------|
| -30dBm | Luar biasa | Kekuatan sinyal maksimal yang dapat dicapai. Klien hanya dapat berada beberapa meter dari AP untuk mencapai hal ini. Tidak khas atau diinginkan di dunia nyata. | N/A |
| -67dBm | Sangat bagus | Kekuatan sinyal minimum untuk aplikasi yang memerlukan pengiriman paket data yang sangat andal dan tepat waktu. | VoIP/VoWi-Fi, streaming video |
| -70dBm | Oke | Kekuatan sinyal minimum untuk pengiriman paket yang andal. | Surel, web |
| -80dBm | Tidak bagus | Kekuatan sinyal minimum untuk konktivitas dasar. Pengiriman paket mungkin tidak dapat diandalkan. | N/A |
| -90dBm | Tidak dapat digunakan | Mendekati atau tenggelam di lantai kebisingan. Fungsi apa pun sangat kecil kemungkinannya. | N/A |

Sumber:

<https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi/>
Semakin tinggi nilai RSSI (semakin mendekati 0 dBm), maka sinyal yang diterima dianggap semakin kuat dan berkualitas baik; sebaliknya, nilai RSSI yang rendah menunjukkan sinyal lemah yang rentan terhadap gangguan atau putus koneksi. (Rifki et al., 2022).

c. Packet Loss

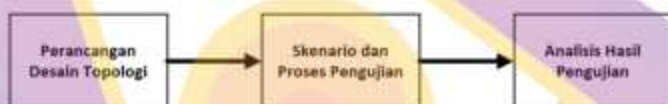
Packet loss adalah kondisi yang terjadi dalam sistem jaringan komputer ketika satu atau lebih paket data yang dikirimkan dari pengirim tidak berhasil sampai ke penerima sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Fenomena ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor teknis maupun lingkungan, seperti kemacetan lalu lintas jaringan (network congestion) yang mengakibatkan antrean data melampaui kapasitas buffer perangkat jaringan, kerusakan atau kegagalan pada

perangkat keras seperti router atau switch, interferensi sinyal pada jaringan nirkabel yang dapat mengganggu kestabilan transmisi, serta kesalahan dalam proses enkapsulasi, pengalamatan, atau protokol komunikasi yang digunakan. Dampak dari packet loss sangat tergantung pada jenis aplikasi yang berjalan di atas jaringan; pada aplikasi real-time seperti video streaming, panggilan suara, atau permainan daring, kehilangan paket dapat menyebabkan penurunan kualitas layanan yang terlihat dalam bentuk buffering berkepanjangan, lag atau jeda komunikasi, bahkan terputusnya koneksi secara tiba-tiba. Oleh karena itu, packet loss menjadi salah satu parameter penting dalam pengukuran performa jaringan, dan pengelolaannya memerlukan pendekatan menyeluruh, termasuk pemantauan trafik, pemeliharaan infrastruktur, serta optimasi jalur transmisi data. (Wahyudin Hasyim, 2024).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Jenis, Sifat, dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode eksperimental sebagai pendekatan utama untuk memperoleh data empiris secara sistematis. Data yang terkumpul melalui serangkaian pengujian terkontrol ini selanjutnya akan dianalisis guna menghasilkan interpretasi yang objektif dan kesimpulan yang valid. Tahapan penelitian ini dibagi menjadi 3 tahapan seperti pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

3.2. Metode Pengumpulan Data

Tahapan pengumpulan data diambil dari berbagai sumber sebagai berikut :

3.2.1 Metode Studi Literatur

Peneliti melakukan pencarian data di internet untuk mendapatkan informasi berkaitan IEEE 802.11ax, Channel Band, Channel width dan Wireless security protocols. Dihasilkan perkembangan jaringan Wireless dan pengaruh Wireless security protocol dalam proses Handover antar Access Point jaringan.

3.2.2 Metode Observasi

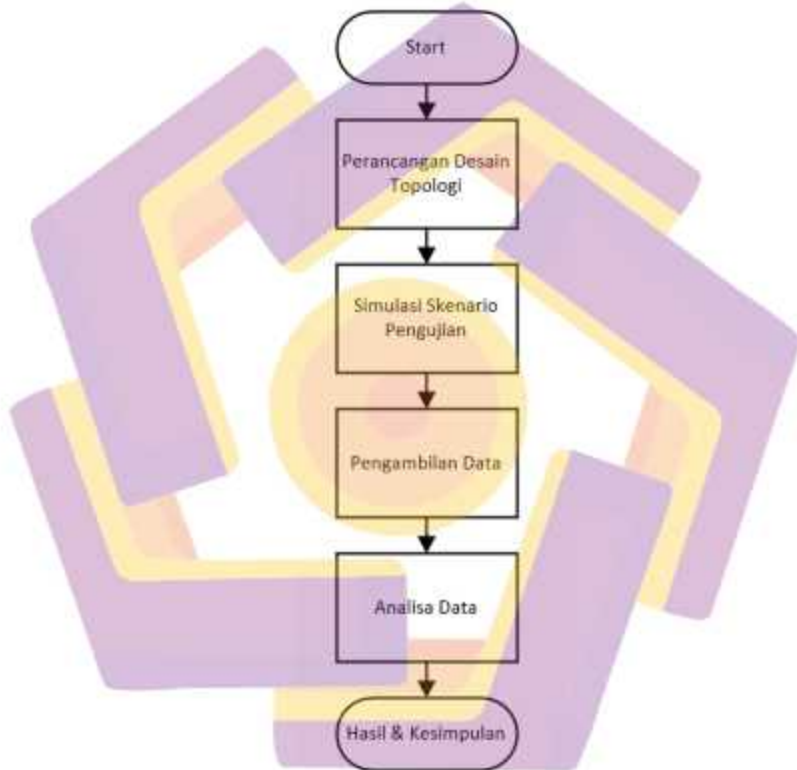
Metode observasi dalam penelitian ini dilakukan melalui serangkaian percobaan terkontrol berdasarkan skenario desain topologi jaringan yang telah ditentukan. Observasi bertujuan untuk memperoleh data empiris mengenai kinerja handover pada jaringan nirkabel 5 GHz dengan penerapan protokol keamanan WPA2-PSK dan WPA3-SAE.

Tahapan observasi meliputi konfigurasi sistem dan perangkat jaringan, pengaturan parameter pengujian, serta pelaksanaan pengujian handover antar access point. Selama proses pengujian, peneliti mengamati dan mencatat parameter kinerja yang telah ditetapkan, seperti waktu handover, latensi, packet loss, dan nilai RSSI.

Data hasil observasi selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh perbedaan protokol keamanan terhadap performa handover dan kualitas layanan jaringan nirkabel, yang kemudian digunakan sebagai dasar penarikan kesimpulan penelitian.

3.3. Alur Penelitian

Terdapat tahapan dalam melakukan proses penelitian dampak atau pengaruh dari penggunaan *Wireless security protocol* terhadap proses *Handover* antar Access Point pada jaringan *Wireless 802.11ax 5Ghz*. Berikut tahapannya :



Gambar 3. 2 Alur Penelitian

Gambar 3.2 merupakan diagram kerangka konsep penelitian yang akan dilakukan.

Berikut penjelasannya :

a. Langkah 1: Perancangan Desain Topologi

Dilakukan perancangan desain topologi sebagai penunjang dari penelitian ini agar mendapatkan tujuan hasil yang sesuai dengan yang diharapkan.

b. Langkah 2: Simulasi Skenario Pengujian

Pada tahapan ini dilakukan setidaknya 2 skenario pengujian dengan 8 tahapan percobaan, sesuai dengan penjelasan pada metode penelitian di Tabel 3.2. Skenario Pengujian tanpa RSSI Limiter dan Tabel 3.3. Skenario Pengujian dengan RSSI Limiter.

c. Langkah 3: Pengambilan Data

Tahapan langkah pengambilan data yang dihasilkan dari simulasi skenario pengujian sebelumnya pada langkah dua. Setelah topologi penelitian dirancang, peneliti melakukan simulasi dan pengujian untuk menguji validitas dan reliabilitas desain yang dipilih. Proses ini memastikan bahwa pendekatan yang diambil dapat menghasilkan data yang konsisten dan dapat diandalkan untuk menjawab pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan sebelumnya.

d. Langkah 4: Analisa Data

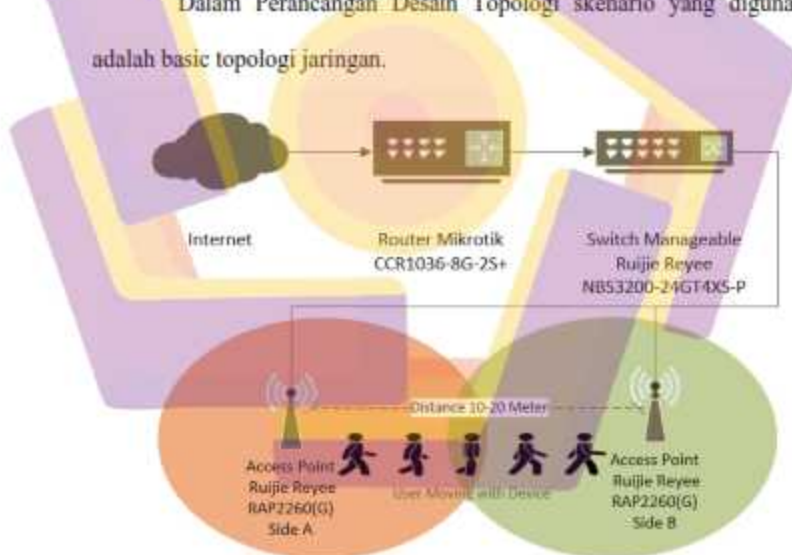
Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan metode yang tepat, yang sesuai dengan sifat data yang dikumpulkan dan desain penelitian yang digunakan. Analisis statistik (t-test) atau analisis kualitatif digunakan untuk menginterpretasikan data dan menemukan pola atau hubungan yang relevan dengan pertanyaan penelitian.

e. Langkah 5: Hasil & Kesimpulan

Hasil analisis data disajikan dalam bentuk yang jelas dan sistematis, menggunakan tabel, grafik, dan narasi yang mendukung. Peneliti mengevaluasi temuan ini dalam konteks pertanyaan penelitian awal dan menyimpulkan implikasi serta signifikansi temuan tersebut. Kesimpulan yang diambil harus memberikan jawaban yang jelas terhadap pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan sebelumnya.

3.3.1 Perancangan Desain Topologi

Dalam Perancangan Desain Topologi skenario yang digunakan adalah basic topologi jaringan.



Gambar 3. 3 Topologi Pengujian

Dalam perancangan topologi menggunakan IP Address 4 yang mana konfigurasinya akan dilakukan di Router Mikrotik dengan 2 DHCP Server

dan VLAN yang berbeda: IP 192.168.10.1/24 VLAN 10 Side A dan IP 192.168.20.1/24 VLAN 20 Side B, kedua IP Address tersebut di distribusikan ke Switch Manageable berupa VLAN yang di teruskan ke *Access Point*. User disini sebagai objek skenario percobaan User menggunakan Device berupa Laptop atau Smart Phone Support 5Ghz VHT80 dan akan melakukan simulasi perpindahan *Access Point*, kemudian Data roaming tersebut akan terekam dalam log Mikrotik dan Aplikasi WireShark, yang dalam hal ini mensimulasikan perpindahan IP beda seqmen seperti berpindah antar gedung.

Selanjutnya adapun beberapa tahap pengujian telah ditetapkan. Parameter yang digunakan untuk pengujian sebagaimana dituangkan pada tabel berikut:

Tabel 3. 1 Parameter Pengujian

| Kategori | Parameter | Keterangan | Satuan | Metode Pengukuran |
|--------------------------|------------------------------------|--|--------|---|
| QoS (Quality of Service) | Time Handover | Waktu yang dibutuhkan device dalam berpindah antara Access Point | ms | Pengukuran dengan software analisis jaringan. |
| | Latency | Waktu tunda atau delay yang dialami oleh data saat dikirimkan. | ms | Ping test atau alat monitoring jaringan |
| | Packet loss | Persentase paket data yang hilang selama transmisi. | % | Analisis dengan Wireshark atau sejenisnya |
| RSSI | Received Signal Strength Indicator | Kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat. | dBm | Pengukuran menggunakan Wi-Fi analyzer atau perangkat mobile |

3.3.2 Tahapan Skenario Pengujian

Pada tahapan ini bertujuan menggambarkan simulasi pola dasar dalam konfigurasi topologi jaringan yang dimana mode Wireless protocol security menggunakan WPA2 dan WPA3 dan simulasi SSID yang sama contoh SSID: AMIKOM-5Ghz, dengan tentunya peneliti melakukan konfigurasi khusus seperti pemilihan *Channel width* 40 dan 80 Mhz dalam Channel Band Pita Frekuensi 5 Ghz dan Optimalisasi dengan dan tanpa RSSI Limiter. Berikut tabel skenarionya:

Tabel 3. 2 Skenario Pengujian tanpa RSSI Limiter

| Tahapan Pengujian | Skenario | Parameter Pengujian | | |
|-------------------|--|---------------------|----------------------|------------------------|
| | | Wireless Security | Channel Band | Channel width |
| 1 | Wireless Security WPA2-PSK Channel Band Sama | WPA2-PSK | AP1 - 38 AP2 - 38 | AP1-40Mhz AP2-40Mhz |
| 2 | Wireless Security WPA3-SAE Channel Band Sama | WPA3-SAE | AP1 - 38 AP2 - 38 | AP1-40Mhz AP2-40Mhz |
| 3 | Wireless Security WPA2-PSK Channel Band Sama | WPA2-PSK | AP1 - 42 AP2 - 42 | AP1-80Mhz AP2-80Mhz |
| 4 | Wireless Security WPA3-SAE Channel Band Sama | WPA3-SAE | AP1 - 42 AP2 - 42 | AP1-80Mhz AP2-80Mhz |
| 5 | Wireless Security WPA2-PSK Channel Band Beda | WPA2-PSK | AP1 - 38 AP2 - 46 | AP1-40Mhz AP2-40Mhz |
| 6 | Wireless Security WPA3-SAE Channel Band Beda | WPA3-SAE | AP1 - 38 AP2 - 46 | AP1-40Mhz AP2-40Mhz |
| 7 | Wireless Security WPA2-PSK Channel Band Beda | WPA2-PSK | AP1 - 42 AP2 - 58 | AP1-80Mhz AP2-80Mhz |
| 8 | Wireless Security WPA3-SAE Channel Band Beda | WPA3-SAE | AP1 - 42 AP2 - 58 | AP1-80Mhz AP2-80Mhz |

Tabel 3. 3 Skenario Pengujian dengan RSSI Limiter

| Tahapan Pengujian | Skenario | Parameter Pengujian | | | |
|-------------------|--|---------------------|----------------------|------------------------|--------------|
| | | Wireless Security | Channel Band | Channel width | RSSI Limiter |
| 1 | Wireless Security WPA2-PSK Channel Band Sama | WPA2-PSK | AP1 - 38 AP2 - 38 | AP1-40Mhz AP2-40Mhz | -67 dBm |
| 2 | Wireless Security WPA3-SAE Channel Band Sama | WPA3-SAE | AP1 - 38 AP2 - 38 | AP1-40Mhz AP2-40Mhz | |
| 3 | Wireless Security WPA2-PSK Channel Band Sama | WPA2-PSK | AP1 - 42 AP2 - 42 | AP1-80Mhz AP2-80Mhz | |
| 4 | Wireless Security WPA3-SAE Channel Band Sama | WPA3-SAE | AP1 - 42 AP2 - 42 | AP1-80Mhz AP2-80Mhz | |
| 5 | Wireless Security WPA2-PSK Channel Band Beda | WPA2-PSK | AP1 - 38 AP2 - 46 | AP1-40Mhz AP2-40Mhz | |
| 6 | Wireless Security WPA3-SAE Channel Band Beda | WPA3-SAE | AP1 - 38 AP2 - 46 | AP1-40Mhz AP2-40Mhz | |
| 7 | Wireless Security WPA2-PSK Channel Band Beda | WPA2-PSK | AP1 - 42 AP2 - 58 | AP1-80Mhz AP2-80Mhz | |
| 8 | Wireless Security WPA3-SAE Channel Band Beda | WPA3-SAE | AP1 - 42 AP2 - 58 | AP1-80Mhz AP2-80Mhz | |

Tabel di atas menjelaskan delapan tahapan pengujian yang dilakukan dalam dua skenario utama yang telah dipaparkan sebelumnya. Skenario pertama melibatkan penggunaan Channel Band yang sama dan berbeda tanpa menggunakan RSSI Limiter, sedangkan skenario kedua melibatkan penggunaan Channel Band yang sama dan berbeda dengan penerapan RSSI Limiter. Kedua skenario tersebut diuji dengan kombinasi protokol keamanan nirkabel WPA2 dan WPA3.

Perangkat keras yang digunakan dalam setiap tahapan pengujian adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Perangkat Keras (Hardware) Pengujian

| Perangkat Keras | Fungsi | Spesifikasi |
|--------------------------------|---|---|
| Mikrotik CCR2116-12G-4S+ | Router BGP Sebagai Sumber Internet | CPU ARM64 16 Core 2000 MHz RouterOS version 7 RAM 16 GB, BGP full route peer to ISP |
| Mikrotik CCR1036-8G-2S+ | Router Sebagai DHCP Server, VLAN | CPU Tilegx 36 Core 1200 Mhz RouterOS versi 7 RAM 16 GB |
| Ruijie Reyec NBS3200-24GT4XS-P | Switch Manageable Sebagai Switch Distribusi ke Access Point | Port 24 x 10/100/1000Base-T PoE+ ports, 4 SFP+ uplink Max PoE Budget 370W Switching Capacity 128 Gbps, VLAN 4094 |
| Belden UTP CAT6 | Kabel LAN Sebagai Penghubung antar perangkat Router Switch dan Access Point | UTP CAT 6 |
| Ubiquiti U6 Pro | Wireless Access Point Sebagai Simulasi Penghubung Antar 2 Gedung | Radio Dual-stream dual-band, Protocol Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax), Operating Bands 5 GHz: 5.150 GHz - 5.350 GHz, 5.725 GHz - 5.850 GHz (country-specific) |

Pengujian ini juga melibatkan berbagai perangkat lunak yang digunakan untuk menangkap data, mengonfigurasi perangkat, dan menganalisis performa jaringan. Setiap perangkat lunak memiliki fungsi spesifik yang mendukung pengujian ini.

Adapun perangkat lunak yang di gunakan pada pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 5 Perangkat Lunak (Software) Pengujian

| Perangkat Lunak | Fungsi | Spesifikasi |
|------------------------------------|--|--|
| Mikrotik RouterOS 7 | Menangkap Log proses <i>Handover</i> antar jaringan <i>Wireless</i> dari sisi router | Routing, VLAN, DHCP Server |
| Unifi Network Controller | Konfigurasi Switch dan <i>Access Point</i> | Cloud Access https://unifi.ui.com/ |
| Wifi Analyzer | Menangkap Log <i>Access Point</i> versi <i>Desktop</i> | <i>Desktop</i> Base Application |
| WifiMan / Wifi MOHO / Ruijie Reyce | Menangkap Log <i>Access Point</i> versi Mobile | Android Base Application |
| Aruba Utilities | Menangkap Log <i>Access Point</i> versi Mobile | Android Base Application |

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil evaluasi terhadap kinerja jaringan Wi-Fi dengan mempertimbangkan tiga indikator utama, yaitu latensi rata-rata sebagai ukuran keterlambatan transmisi data, waktu yang dibutuhkan selama proses perpindahan koneksi (*handover*), serta tingkat kehilangan paket yang terjadi selama pengujian. Pengujian dilakukan dalam dua konfigurasi utama. Pertama, sistem diuji tanpa menggunakan batasan RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), sehingga perangkat bebas berpindah *Access Point* tanpa batasan kekuatan sinyal. Kedua, sistem diuji dengan menerapkan pembatas RSSI pada -67 dBm, yang berfungsi sebagai ambang batas minimum kekuatan sinyal untuk memicu *handover* ke *Access Point* lain. Analisis dilakukan terhadap setiap parameter berdasarkan delapan skenario pengujian berbeda yang dirancang untuk merepresentasikan berbagai kondisi lingkungan dan mobilitas pengguna dalam jaringan Wi-Fi.

4.1 Hasil Pengambilan Data Tanpa Menggunakan Batasan RSSI

Subbagian ini menyajikan hasil pengujian performa jaringan nirkabel tanpa menerapkan batasan nilai RSSI sebagai parameter pemicu proses *handover*. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi bagaimana perangkat klien merespons perubahan sinyal dan kualitas koneksi antar *Access Point* secara alami, tanpa intervensi dari mekanisme pembatasan sinyal minimum. Parameter utama yang dianalisis meliputi kekuatan sinyal (RSSI), latensi, waktu *handover*, serta tingkat

kehilangan paket selama proses perpindahan koneksi berlangsung. Hasil dari pengujian ini akan menjadi tolok ukur untuk dibandingkan dengan skenario pengujian yang menggunakan batasan RSSI pada subbagian berikutnya.

Tabel 4. 1 Skenario Pengumpulan Data Hasil Tanpa Pembatas RSSI

| Stage | Time Consumed (ms) | Packet loss during roaming | Packet loss rate (%) | Packet loss count | Average RSSI (dBm) | Average Latency (ms) |
|-------|--------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | -56 | 17 |
| 2 | 22 | 0 | 0 | 0 | -52 | 17 |
| 3 | 39 | 0 | 1,7 | 1 | -64 | 18 |
| 4 | 39 | 0 | 0 | 0 | -51 | 17 |
| 5 | 26 | 0 | 1,7 | 1 | -65 | 42 |
| 6 | 125 | 0 | 2 | 1 | -55 | 21 |
| 7 | 38 | 0 | 0 | 0 | -66 | 70 |
| 8 | 79 | 0 | 2 | 1 | -64 | 65 |

Pada tahap pengujian pertama dengan skenario WPA2-PSK pada kanal yang sama dan lebar 40 MHz, waktu yang dibutuhkan adalah 9 milidetik. Tingkat kehilangan paket tercatat sebesar 0%, dengan kekuatan sinyal rata-rata -56 dBm dan latensi 17 milidetik. Selanjutnya, pada tahap kedua yang menggunakan WPA3-SAE dengan konfigurasi yang sama, waktu yang dibutuhkan adalah 22 milidetik, dengan tingkat kehilangan paket 0%, RSSI rata-rata -52 dBm, dan latensi 17 milidetik.

Memasuki skenario dengan lebar kanal 80 MHz pada kanal yang sama, tahap ketiga dengan WPA2-PSK membutuhkan waktu 39 milidetik. Kehilangan paket tercatat sebesar 1,7%, dengan RSSI -64 dBm dan latensi 18 milidetik. Pada tahap keempat untuk skenario WPA3-SAE dengan lebar 80 MHz, waktu yang

tercatat adalah 39 milidetik, dengan tingkat kehilangan paket 0%, RSSI -51 dBm, dan latensi 17 milidetik.

Untuk pengujian pada kanal frekuensi yang berbeda, tahap kelima dengan WPA2-PSK dan lebar 40 MHz membutuhkan waktu 26 milidetik. Tingkat kehilangan paket adalah 1,7%, dengan RSSI rata-rata -65 dBm dan latensi 42 milidetik. Pada tahap keenam yang menggunakan WPA3-SAE pada kanal berbeda, waktu yang dibutuhkan adalah 125 milidetik, dengan tingkat kehilangan paket 2%, RSSI rata-rata -55 dBm, dan latensi 21 milidetik.

Di dua tahap terakhir pada kanal berbeda dengan lebar 80 MHz, tahap ketujuh dengan WPA2-PSK membutuhkan waktu 38 milidetik. Tercatat tidak ada kehilangan paket (0%), dengan RSSI -66 dBm dan latensi 70 milidetik. Terakhir, pada tahap kedelapan yang menggunakan WPA3-SAE, waktu yang dibutuhkan adalah 79 milidetik, dengan tingkat kehilangan paket 2%, kekuatan sinyal rata-rata -64 dBm, dan latensi 65 milidetik.

Dalam kondisi pengujian tanpa penerapan pembatas RSSI seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, proses roaming antar Access Point berlangsung secara mulus dan efisien. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk melakukan hand-off, yaitu perpindahan koneksi dari satu Access Point ke Access Point lainnya, tetap berada dalam kisaran yang sangat responsif, yaitu di bawah 80 milidetik. Meskipun demikian, terdapat satu pengecualian pada Tahap 6, di mana waktu hand-off tercatat mencapai 125 milidetik, yang dapat dikategorikan sebagai outlier atau nilai pencilan. Selama delapan tahap pengujian yang dilakukan, secara keseluruhan tidak ditemukan kehilangan paket pada sebagian besar tahap. Hanya empat tahap

pengujian, yakni tahap ke-3, ke-5, ke-6, dan ke-8, yang mengalami kehilangan paket, itu pun hanya satu paket pada masing-masing tahap tersebut. Dengan jumlah kehilangan yang sangat kecil ini, tingkat kehilangan paket secara keseluruhan tetap berada pada kisaran yang sangat rendah, yakni tidak lebih dari 2%, sehingga masih dalam batas toleransi kinerja jaringan yang baik.

Selama proses pengujian, kekuatan sinyal rata-rata yang diterima perangkat, atau dikenal sebagai RSSI (Received Signal Strength Indicator), berada dalam rentang antara -51 dBm hingga -66 dBm. Rentang ini secara umum dikategorikan sebagai kualitas sinyal yang "cukup baik" dalam konteks jaringan WLAN (Wireless Local Area Network), karena masih mampu mendukung koneksi yang stabil dan andal. Dari sisi latensi, atau waktu tunda dalam transmisi data, nilai yang tercatat cenderung stabil dan konsisten pada kisaran antara 17 hingga 21 milidetik, yang mencerminkan performa jaringan yang responsif. Namun, terdapat dua pengecualian berupa lonjakan latensi yang terjadi pada Tahap 5 dan Tahap 7, masing-masing sebesar 42 milidetik dan 70 milidetik. Meskipun nilai tersebut lebih tinggi dibanding rata-rata, lonjakan ini masih tergolong dalam batas yang dapat diterima, terutama untuk aplikasi-aplikasi yang tidak bergantung pada waktu nyata (non-real-time), seperti penelusuran web, streaming video dengan buffering, atau layanan email.

Secara umum, dalam kondisi tanpa adanya pembatas RSSI, sistem mampu menjaga kestabilan koneksi secara berkelanjutan dengan tingkat kehilangan paket yang sangat minim, nyaris tidak terjadi, serta menghasilkan latensi yang rendah. Perbedaan kinerja yang teramati selama pengujian lebih banyak disebabkan oleh

perubahan kekuatan sinyal yang terjadi secara alami di lingkungan, seperti pergerakan pengguna atau hambatan fisik, daripada akibat dari pengaruh pengaturan atau algoritma pengendalian yang dijalankan oleh perangkat lunak sistem jaringan.

4.2 Hasil Pengambilan Data Dengan Menggunakan Batasan RSSI

Pada subbagian ini disajikan hasil pengujian performa jaringan nirkabel dengan penerapan batasan nilai RSSI sebagai pemicu proses handover, di mana ambang batas sinyal ditetapkan pada -67 dBm. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati dampak dari konfigurasi tersebut terhadap kualitas koneksi, khususnya dalam hal kekuatan sinyal yang diterima, waktu perpindahan antar Access Point, latensi, serta tingkat kehilangan paket data. Dengan membandingkan hasil ini terhadap skenario sebelumnya tanpa pembatasan RSSI, dapat diperoleh gambaran mengenai efektivitas dan konsekuensi penggunaan batasan sinyal dalam pengelolaan proses roaming pada jaringan Wi-Fi.

Tabel 4. 2 Skenario Pengumpulan Data Hasil dengan RSSI Limiter -67 dBm

| Stage | Time Consumed (ms) | Packet loss during roaming | Packet loss rate (%) | Packet loss count | Average RSSI (dBm) | Average Latency (ms) |
|-------|--------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | 15 | 1 | 6,1 | 3 | -68 | 109 |
| 2 | 122 | 3 | 25,50 | 9 | -73 | 491 |
| 3 | 42 | 0 | 5,60 | 0 | -64 | 65 |
| 4 | 64 | 3 | 12,5 | 0 | -56 | 70 |
| 5 | 38 | 0 | 2 | 0 | -49 | 56 |
| 6 | 247 | 7 | 45,6 | 36 | -79 | 549 |
| 7 | 45 | 0 | 0 | 0 | -64 | 109 |
| 8 | 82 | 4 | 1,8 | 1 | -59 | 76 |

Pada tahap pengujian pertama dengan skenario WPA2-PSK pada kanal yang sama dan lebar 40 MHz, waktu yang dibutuhkan adalah 15 milidetik. Tingkat kehilangan paket tercatat sebesar 6,1%, dengan kekuatan sinyal rata-rata -68 dBm dan latensi 109 milidetik. Selanjutnya, pada tahap kedua yang menggunakan WPA3-SAE dengan konfigurasi kanal yang sama, waktu yang dibutuhkan meningkat menjadi 122 milidetik. Tingkat kehilangan paket adalah 25,50%, RSSI rata-rata -73 dBm, dan latensi mencapai 491 milidetik.

Memasuki skenario dengan lebar kanal 80 MHz, pada tahap ketiga dengan WPA2-PSK, waktu yang dibutuhkan adalah 42 milidetik. Kehilangan paket tercatat 5,60%, dengan RSSI -64 dBm dan latensi 65 milidetik. Pada tahap keempat untuk skenario WPA3-SAE dengan lebar 80 MHz, waktu yang tercatat adalah 64 milidetik, dengan tingkat kehilangan paket sebesar 12,5%, RSSI -56 dBm, dan latensi 70 milidetik.

Untuk pengujian pada kanal frekuensi yang berbeda, tahap kelima dengan WPA2-PSK dan lebar 40 MHz membutuhkan waktu 38 milidetik. Tingkat kehilangan paket adalah 2%, dengan RSSI rata-rata -49 dBm dan latensi 56 milidetik. Pada tahap keenam yang menggunakan WPA3-SAE pada kanal berbeda, waktu yang dibutuhkan adalah 247 milidetik, dengan tingkat kehilangan paket mencapai 45,6%, RSSI rata-rata -79 dBm, dan latensi 549 milidetik.

Di dua tahap terakhir, pada tahap ketujuh dengan WPA2-PSK pada kanal berbeda dan lebar 80 MHz, waktu yang dibutuhkan adalah 45 milidetik. Tercatat tidak ada kehilangan paket (0%), dengan RSSI -64 dBm dan latensi 109 milidetik. Terakhir, pada tahap kedelapan yang menggunakan WPA3-SAE, waktu yang

dibutuhkan adalah 82 milidetik, dengan tingkat kehilangan paket 1,8%, kekuatan sinyal rata-rata -59 dBm, dan latensi 76 milidetik.

Penerapan ambang batas RSSI sebesar -67 dBm, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.2, menunjukkan dampak yang cukup besar terhadap kinerja jaringan. Salah satu konsekuensi utama adalah peningkatan waktu roaming, di mana durasi handover mencapai puncaknya pada 247 milidetik di Tahap 6. Hal ini terjadi karena perangkat secara otomatis melakukan perpindahan koneksi saat kekuatan sinyal turun melewati nilai ambang yang telah ditentukan. Mekanisme ini mengakibatkan lonjakan signifikan dalam jumlah paket yang hilang, dengan total kehilangan sebanyak 18 paket, termasuk tingkat kehilangan yang sangat tinggi sebesar 45,6% pada Tahap 6 saja.

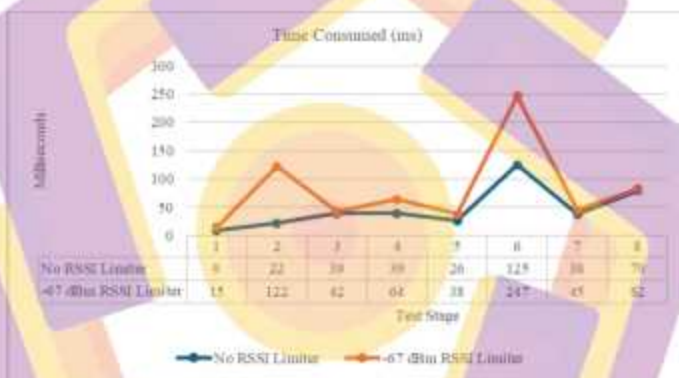
Kekuatan sinyal yang diterima selama proses handoff umumnya berada pada kisaran yang cukup lemah, yaitu antara -49 dBm hingga -79 dBm. Hal ini disebabkan karena perpindahan koneksi (handoff) antar Access Point dilakukan saat nilai RSSI (Received Signal Strength Indicator) sudah mendekati ambang batas minimum yang masih dapat diterima. Akibatnya, perangkat mengalami kesulitan dalam mempertahankan kualitas koneksi, yang kemudian berdampak langsung pada peningkatan latensi secara drastis. Pada kondisi tertentu, latensi dapat melonjak hingga 549 milidetik, seperti yang tercatat pada Tahap 6, dan dalam banyak kasus tetap berada di atas 100 milidetik. Tingginya nilai latensi ini sangat merugikan bagi aplikasi-aplikasi yang memerlukan respons waktu nyata (real-time), seperti panggilan suara melalui internet (VoIP) dan layanan video interaktif,

karena keterlambatan transmisi data dapat menurunkan kualitas pengalaman pengguna secara signifikan.

Singkatnya, pembatas RSSI yang ketat meningkatkan frekuensi roaming, memperpanjang perpindahan, dan meningkatkan kehilangan paket serta latensi—yang merupakan kebalikan dari peningkatan QoS yang dimaksudkan.

4.3 Analisa Data Perbandingan Batasan RSSI dan Tanpa Batasan RSSI.

4.3.1 Analisa Data Berdasarkan Waktu yang dikonsumsi



Gambar 4.1 Perbandingan Waktu yang Dikonsumsi (ms)

Gambar 4.1. menyajikan visualisasi durasi waktu yang dibutuhkan untuk transmisi data pada masing-masing skenario pengujian. Grafik “Time Consumed (ms)” menggambarkan perbandingan waktu yang dibutuhkan untuk proses handover dalam delapan tahapan pengujian, dengan dua kondisi berbeda: tanpa pembatas RSSI (No RSSI Limiter) dan dengan pembatas RSSI pada -67 dBm. Setiap tahapan merepresentasikan kombinasi parameter pengujian yang meliputi jenis protokol keamanan nirkabel (WPA2-PSK atau WPA3-SAE), kesamaan atau perbedaan channel band antar access point (AP), serta lebar kanal (channel width)

40 MHz atau 80 MHz. Secara umum, grafik menunjukkan bahwa penggunaan RSSI limiter pada -67 dBm cenderung meningkatkan waktu yang dikonsumsi untuk handover dibandingkan dengan skenario tanpa pembatasan sinyal.

Pada tahap awal pengujian (tahap 1 dan 2) dengan protokol WPA2-PSK dan WPA3-SAE di channel band yang sama (channel 38) dan lebar kanal 40 MHz, perbedaan mulai tampak. Tanpa RSSI limiter, waktu handover relatif rendah dan stabil, yakni 9 ms pada tahap 1 dan 22 ms pada tahap 2. Namun, dengan penerapan RSSI limiter, terjadi lonjakan signifikan pada tahap 2 hingga 122 ms, yang menunjukkan bahwa protokol WPA3-SAE lebih sensitif terhadap pembatasan sinyal dalam proses handover. Pada tahap 3 dan 4, channel band tetap sama namun menggunakan lebar kanal yang lebih besar (80 MHz). Hasilnya menunjukkan waktu handover yang masih cukup serupa antar kondisi, meskipun dengan pembatas -67 dBm tetap lebih tinggi, yakni 64 ms pada tahap 4 dibandingkan 42 ms tanpa limiter, yang menandakan bahwa peningkatan lebar kanal turut menambah kompleksitas proses handover.

Tahap 5 dan 6 menjadi titik kritis dalam grafik. Di sini, pengujian dilakukan dengan kombinasi channel band yang berbeda (AP1 pada channel 38 dan AP2 pada channel 46) serta protokol WPA2 dan WPA3 dengan lebar kanal 40 MHz. Terlihat bahwa pada tahap 6, waktu handover melonjak drastis menjadi 247 ms ketika RSSI limiter digunakan, dibandingkan hanya 125 ms tanpa limiter. Hal ini menunjukkan bahwa ketika channel band berbeda dan protokol keamanan yang lebih kompleks seperti WPA3-SAE digunakan, pembatasan RSSI justru memperpanjang proses transisi antar AP secara signifikan. Sementara itu, pada tahap 7 dan 8 yang

menggunakan channel band berbeda (channel 42 dan 58) serta lebar kanal 80 MHz, peningkatan waktu handover tetap terjadi namun tidak seekstrem tahap 6. Waktu meningkat dari 38 ke 45 ms dan dari 79 ke 82 ms saat pembatas sinyal diterapkan.

Pada hasil analisa data berdasarkan waktu yang dibutuhkan Time Consumed (ms) untuk roaming dapat disimpulkan secara tegas bahwa skenario terbaik untuk adalah konfigurasi *tanpa RSSI limiter (No RSSI Limiter)*, khususnya pada penggunaan *WPA2-PSK* dengan *channel band yang sama* dan *channel width 40 MHz*. Konfigurasi ini secara konsisten menghasilkan waktu handover paling rendah dan paling stabil (sekitar 9–39 ms), yang menunjukkan proses transisi antar access point berlangsung cepat dan efisien. Sebaliknya, penerapan RSSI limiter –67 dBm, meskipun bertujuan meningkatkan kontrol kualitas sinyal, terbukti meningkatkan durasi roaming secara signifikan, terutama pada kombinasi WPA3-SAE dan channel band berbeda, dengan lonjakan ekstrem hingga 247 ms. Hal ini mengindikasikan bahwa kompleksitas autentikasi WPA3-SAE yang dikombinasikan dengan pembatasan sinyal dan perbedaan channel memperbesar overhead handover. Oleh karena itu, dari sudut pandang kinerja roaming berbasis waktu, No RSSI Limiter dengan WPA2-PSK pada channel yang sama merupakan konfigurasi paling optimal, sedangkan WPA3-SAE dengan RSSI limiter pada channel berbeda menjadi skenario paling tidak efisien.

4.3.2 Analisa Data Berdasarkan Latensi



Gambar 4.2 Perbandingan Latensi Rata-Rata (ms)

Data pada Gambar 4.2. menampilkan rata-rata latensi yang terjadi selama proses handover pada delapan tahapan pengujian, dengan membandingkan dua kondisi utama: tanpa pembatas RSSI (No RSSI Limiter) dan dengan pembatasan sinyal pada level -67 dBm (RSSI Limiter -67 dBm). Latensi yang dimaksud adalah waktu tunda rata-rata yang terjadi selama proses perpindahan koneksi dari satu access point (AP) ke AP lainnya dalam jaringan Wi-Fi 5GHz. Setiap tahap dalam pengujian melibatkan kombinasi variabel berbeda, seperti jenis protokol keamanan (WPA2-PSK atau WPA3-SAE), kesamaan atau perbedaan channel band, serta lebar kanal 40 MHz atau 80 MHz.

Hasil dari grafik menunjukkan bahwa secara konsisten, kondisi dengan penerapan RSSI limiter -67 dBm menghasilkan latensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan tanpa pembatas sinyal. Pada tahap 1, latensi tanpa limiter hanya 17 ms, namun melonjak menjadi 109 ms saat pembatas diterapkan. Lonjakan paling drastis terlihat pada tahap 2, di mana protokol keamanan menggunakan WPA3-SAE

dan channel band serta lebar kanal tetap sama (channel 38, 40 MHz). Dalam kondisi tanpa limiter, latensi tetap rendah (17 ms), tetapi dengan limiter, latensi melonjak hingga 491 ms, mengindikasikan bahwa WPA3 dalam kombinasi dengan RSSI limiter memerlukan waktu jauh lebih lama untuk menyelesaikan proses handover.

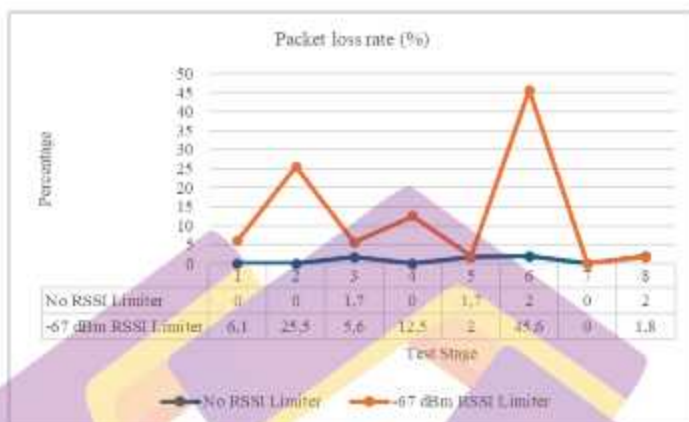
Fenomena yang sama terlihat kembali pada tahap 6, yang menggunakan protokol WPA3-SAE dengan channel band berbeda (channel 38 dan 46) dan lebar kanal 40 MHz. Dalam kondisi ini, latensi rata-rata bahkan mencapai 549 ms dengan limiter, sementara tanpa limiter hanya 21 ms. Kembali hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi protokol keamanan WPA3 dan channel band berbeda sangat tidak bersahabat terhadap pembatasan sinyal yang ketat, kemungkinan karena proses autentikasi ulang yang kompleks atau penundaan dalam pemilihan AP baru.

Pada tahap-tahap lainnya, meskipun peningkatan latensi dengan limiter tidak setinggi dua titik ekstrem tersebut, tren tetap menunjukkan nilai yang lebih tinggi. Misalnya, tahap 3 hingga 5 menunjukkan peningkatan latensi dari kisaran 17-42 ms tanpa limiter menjadi 65-70 ms dengan limiter. Tahap 7 dan 8, yang menggunakan lebar kanal 80 MHz dan channel band berbeda, juga memperlihatkan peningkatan dari 70 ms ke 109 ms, dan dari 65 ms ke 76 ms masing-masing. Ini menunjukkan bahwa meskipun protokol WPA2-PSK cenderung lebih stabil, tetap terjadi degradasi performa saat RSSI limiter diterapkan.

Berdasarkan perbandingan latensi rata-rata pada seluruh skenario pengujian, kondisi terbaik untuk proses roaming Wi-Fi 5 GHz adalah konfigurasi tanpa RSSI limiter (*No RSSI Limiter*). Pada kondisi ini, latensi handover secara konsisten berada pada rentang rendah dan stabil ($\pm 17-70$ ms) di hampir semua

tahap, baik menggunakan WPA2-PSK maupun WPA3-SAE, serta pada channel band yang sama maupun berbeda. Sebaliknya, penerapan RSSI limiter -67 dBm terbukti meningkatkan latensi secara signifikan, bahkan menghasilkan lonjakan ekstrem hingga ratusan milidetik, terutama pada skenario WPA3-SAE dan channel band berbeda, yang mencapai 491 ms dan 549 ms. Lonjakan ini menunjukkan bahwa pembatasan RSSI memaksa proses handover terjadi pada kondisi sinyal yang sudah lemah, sehingga memperpanjang pemindaian, pemilihan AP, dan autentikasi ulang—khususnya pada WPA3 yang memiliki mekanisme keamanan lebih kompleks. Dengan demikian, dari sudut pandang latensi rata-rata roaming dan kualitas pengalaman pengguna, tanpa RSSI limiter merupakan pilihan paling optimal, sementara penggunaan RSSI limiter -67 dBm perlu dipertimbangkan secara hati-hati karena berpotensi mengorbankan performa handover, terutama pada jaringan dengan kebutuhan aplikasi real-time.

4.3.3 Analisa Data Berdasarkan Packet Loss



Gambar 4. 3 Perbandingan Tingkat Packet Loss (%)

Pada Gambar 4.3. memperlihatkan tingkat kehilangan paket selama proses handover pada delapan tahapan pengujian, yang dibandingkan dalam dua kondisi utama: tanpa pembatas RSSI (No RSSI Limiter) dan dengan pembatasan sinyal -67 dBm (RSSI Limiter -67 dBm). Packet loss rate mengindikasikan seberapa besar persentase paket data yang gagal dikirimkan selama proses perpindahan koneksi dari satu access point (AP) ke AP lainnya dalam jaringan Wi-Fi 5GHz. Setiap tahap pengujian menyertakan variasi dalam penggunaan protokol keamanan (WPA2-PSK atau WPA3-SAE), kesamaan atau perbedaan channel band, dan lebar kanal (40 MHz atau 80 MHz).

Secara umum, grafik memperlihatkan bahwa penerapan RSSI limiter -67 dBm menyebabkan peningkatan signifikan dalam tingkat packet loss, sementara kondisi tanpa limiter menghasilkan nilai yang cenderung rendah dan stabil di seluruh tahapan. Pada tahap 1, dengan konfigurasi WPA2-PSK, channel band sama, dan lebar kanal 40 MHz, tingkat packet loss adalah 0% tanpa limiter dan 6,1%

dengan limiter. Namun, lonjakan besar pertama muncul pada tahap 2, yang menggunakan protokol WPA3-SAE dalam konfigurasi yang sama. Di sini, packet loss mencapai 25,5% dengan limiter, menunjukkan bahwa WPA3 lebih rentan terhadap gangguan handover saat sinyal dibatasi, kemungkinan karena proses keamanan yang lebih kompleks dan sensitif terhadap perubahan sinyal.

Tahap 3 dan 4 menunjukkan penggunaan channel band yang sama dengan lebar kanal yang lebih besar (80 MHz). Pada tahap ini, packet loss dengan limiter adalah 5,6% dan 12,5%, sementara tanpa limiter masih di bawah 2%. Ini menegaskan bahwa peningkatan bandwidth tidak serta merta mengurangi kehilangan paket jika sinyal dibatasi. Lonjakan terbesar terjadi pada tahap 6, yaitu kombinasi protokol WPA3-SAE, channel band berbeda ($AP1 = 38$ dan $AP2 = 46$), serta lebar kanal 40 MHz. Dalam skenario ini, packet loss mencapai puncak sebesar 45,6% saat pembatas sinyal digunakan, dibandingkan hanya 2% tanpa limiter. Ini mengindikasikan bahwa kombinasi channel band berbeda dan protokol WPA3 sangat tidak cocok jika pembatasan RSSI diterapkan.

Menariknya, pada tahap 7, meskipun menggunakan channel band berbeda dan lebar kanal besar (80 MHz), packet loss tetap 0% baik dengan maupun tanpa limiter. Hal ini menunjukkan bahwa WPA2-PSK pada kombinasi tersebut lebih stabil, atau bisa jadi proses handover berjalan cepat sehingga kehilangan paket tidak terjadi secara signifikan. Pada tahap terakhir (tahap 8), packet loss dengan limiter turun drastis menjadi 1,8%, menunjukkan pemulihan performa meski masih sedikit lebih tinggi dari kondisi tanpa limiter (2%).

Berdasarkan tingkat packet loss (%) saat proses roaming, skenario tanpa RSSI Limiter (No RSSI Limiter) secara konsisten merupakan pilihan terbaik dan paling stabil dibandingkan dengan penerapan RSSI limiter -67 dBm. Pada seluruh tahapan pengujian, packet loss tanpa limiter berada pada kisaran $0-2\%$, bahkan pada beberapa skenario (Tahap 1, 2, 4, dan 7) tidak terjadi packet loss sama sekali (0%), termasuk ketika menggunakan protokol keamanan WPA3-SAE. Sebaliknya, ketika RSSI limiter -67 dBm diterapkan, packet loss meningkat secara signifikan dan tidak stabil, terutama pada skenario WPA3-SAE. Kondisi paling ekstrem terlihat pada Tahap 6, di mana packet loss mencapai $45,6\%$, serta Tahap 2 dengan $25,5\%$, yang keduanya berada jauh di atas ambang batas kualitas layanan (QoS) yang dapat diterima. Pada skenario WPA2-PSK yang relatif lebih stabil, penerapan RSSI limiter tetap menyebabkan packet loss yang lebih tinggi dibandingkan tanpa limiter. Temuan ini menegaskan bahwa No RSSI Limiter memberikan performa roaming terbaik dari sisi keandalan transmisi paket, karena proses perpindahan AP terjadi lebih mulus tanpa pemutusan koneksi agresif yang memicu kehilangan paket.

4.3.4 Analisa Data Berdasarkan RSSI



Gambar 4.4 Perbandingan RSSI rata-rata (dBm)

Gambar 4.5 Perbandingan RSSI rata-rata (dBm)

Pada Gambar 4.4., memperlihatkan nilai rata-rata kekuatan sinyal yang diterima perangkat selama proses handover dalam delapan tahapan pengujian, dengan membandingkan dua kondisi: tanpa pembatas RSSI (No RSSI Limiter) dan dengan pembatasan RSSI pada -67 dBm. RSSI (Received Signal Strength Indicator) diukur dalam satuan dBm, di mana semakin kecil nilainya (lebih negatif), maka semakin lemah kekuatan sinyal. Setiap tahapan pengujian dilakukan dengan kombinasi parameter berbeda, seperti jenis protokol keamanan (WPA2-PSK atau WPA3-SAE), kesamaan atau perbedaan channel band, serta lebar kanal 40 MHz atau 80 MHz.

Secara umum, grafik menunjukkan bahwa nilai rata-rata RSSI pada skenario dengan pembatasan -67 dBm selalu berada di bawah nilai tanpa limiter,

yang mengindikasikan bahwa proses handover cenderung terjadi pada kekuatan sinyal yang lebih rendah sebelum berpindah AP. Hal ini tampak jelas pada hampir semua tahap, misalnya pada tahap 1, di mana tanpa limiter tercatat -56 dBm, sementara dengan limiter turun menjadi -68 dBm. Fenomena serupa juga tampak di tahap 2, yang menggunakan WPA3-SAE dengan channel band sama (channel 38, 40 MHz), di mana sinyal menurun dari -52 dBm tanpa limiter menjadi -73 dBm dengan limiter. Ini merupakan salah satu titik terendah, menunjukkan bahwa perangkat bertahan lebih lama pada AP lama meskipun sinyal melemah, karena terbatas oleh kebijakan RSSI -67 dBm yang memaksa menunda proses handover.

Pada tahap 5 (WPA2-PSK, channel band berbeda, 40 MHz), sinyal dengan limiter naik menjadi -49 dBm, lebih baik dibandingkan nilai tanpa limiter (-65 dBm). Ini menunjukkan bahwa pada beberapa skenario tertentu, pembatasan sinyal justru mendorong sistem untuk berpindah AP ketika sinyal lebih kuat, kemungkinan karena akses point tujuan lebih stabil. Namun pada tahap 6, dengan konfigurasi WPA3-SAE dan channel band berbeda, nilai RSSI dengan limiter jatuh sangat rendah hingga -79 dBm dibandingkan -55 dBm tanpa limiter. Ini menjadi indikasi bahwa sistem tetap bertahan terlalu lama pada AP lama walaupun sinyal sudah sangat lemah, sehingga berdampak negatif pada kualitas koneksi secara keseluruhan.

Menjelang akhir pengujian, pada tahap 7 dan 8, selisih nilai RSSI antara kedua kondisi mulai menurun. Misalnya, pada tahap 8 (WPA3-SAE, channel band berbeda, 80 MHz), nilai RSSI hanya sedikit berbeda: -64 dBm tanpa limiter dan -59 dBm dengan limiter. Hal ini menunjukkan bahwa pada tahap-tahap tertentu, efek

pembatasan RSSI mulai menurun, terutama jika lingkungan radio atau konfigurasi AP mendukung proses handover lebih efisien.

Berdasarkan perbandingan nilai rata-rata RSSI (dBm) saat proses roaming, dapat disimpulkan secara argumentatif bahwa skenario tanpa RSSI limiter (No RSSI Limiter) merupakan pilihan terbaik dalam konteks kualitas sinyal yang diterima perangkat selama handover. Hal ini ditunjukkan oleh konsistensi nilai RSSI yang lebih tinggi (kurang negatif) pada hampir seluruh tahapan pengujian dibandingkan dengan kondisi RSSI limiter -67 dBm. Tanpa limiter, proses handover terjadi ketika perangkat masih berada pada level sinyal yang relatif kuat (sekitar -56 hingga -52 dBm pada beberapa skenario), sehingga koneksi dapat berpindah AP dalam kondisi radio link yang lebih stabil. Sebaliknya, penerapan RSSI limiter -67 dBm cenderung menunda handover hingga sinyal melemah secara signifikan, bahkan mencapai -73 dBm hingga -79 dBm pada skenario tertentu—terutama pada WPA3-SAE dan channel band berbeda—yang mencerminkan kualitas sinyal yang buruk saat roaming berlangsung. Kondisi ini berisiko menurunkan kualitas komunikasi dan pengalaman pengguna karena perangkat dipertahankan terlalu lama pada AP dengan sinyal rendah. Walaupun terdapat pengecualian terbatas di mana limiter mendorong perpindahan ke AP dengan sinyal lebih kuat, secara keseluruhan pola data menunjukkan bahwa tanpa RSSI limiter memberikan RSSI rata-rata yang lebih baik dan lebih konsisten saat roaming, sehingga lebih unggul dari sudut pandang kekuatan sinyal dan stabilitas koneksi selama proses handover.

4.4 Analisa Data Menggunakan Uji Mean, Standard Deviation Dan Paired T-Test (2-Tailed)

Bagian ini membahas dampak penerapan RSSI limiter (-67 dBm) dibandingkan kondisi tanpa RSSI limiter dengan cara mengelompokkan data berdasarkan tiga kategori utama, yaitu: (1) jenis protokol keamanan (WPA2-PSK vs WPA3-SAE), (2) konfigurasi channel band (same vs different), dan (3) lebar kanal (40 MHz vs 80 MHz). Seluruh analisis menggunakan uji paired t-test dua arah karena setiap skenario pengujian pada kondisi limiter memiliki pasangan yang identik pada kondisi tanpa limiter.

Untuk memperjelas persamaan matematis yang digunakan dalam analisis uji *paired t-test*, maka simbol-simbol dan rumus perhitungan yang digunakan didefinisikan sebagai berikut:

1. Metric

Kolom ini berisi **nama variabel atau parameter** yang sedang diukur. Selisih setiap pasangan pengamatan dihitung menggunakan persamaan:

$$d_i = X_i - Y_i$$

dengan X_i menyatakan nilai pengukuran pada kondisi pertama dan Y_i menyatakan nilai pengukuran pada kondisi kedua untuk pasangan ke- i .

2. Limiter & No Limiter (Mean \pm SD)

Kedua kolom ini menunjukkan hasil statistik deskriptif untuk masing-masing kelompok:

- **Mean (Rata-rata):** Nilai tengah dari data kelompok tersebut.

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$$

- **SD (Standard Deviation/Simpangan Baku):** Menunjukkan seberapa jauh data tersebar dari rata-rata. Semakin kecil SD, semakin konsisten datanya.

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

3. Mean diff (L-No)

Ini adalah **selisih rata-rata** antara kelompok Limiter (L) dan No Limiter (No).

- Rumusnya: Mean_{Limiter} - Mean_{No Limiter}.
- Jika hasilnya positif, maka kelompok Limiter memiliki nilai lebih tinggi. Jika negatif, kelompok No Limiter yang lebih tinggi.

4. t(df)

Ini merujuk pada hasil dari Uji-t (t-test):

- **t:** Nilai statistik t. Semakin besar nilai t (baik positif maupun negatif), semakin besar kemungkinan ada perbedaan nyata antara dua kelompok tersebut.

$$t = \frac{\bar{d}}{SE}$$

- **df (degrees of freedom):** Derajat kebebasan, yang berkaitan dengan jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian.

$$df = n - 1$$

5. p (p-value)

Ini adalah nilai **signifikansi statistik**:

$$p = P(|T| \geq |t|)$$

- Jika **p < 0,05**, biasanya perbedaan antara kedua kelompok dianggap **signifikan** (bukan karena kebetulan).
- Jika **p > 0,05**, maka perbedaan dianggap tidak signifikan secara statistik.

6. 95% CI diff (Confidence Interval)

Ini adalah **Interval Kepercayaan 95%** untuk selisih rata-rata.

$$\bar{d} \pm t_{\text{krit}} \times SE$$

- Rentang ini menunjukkan di mana letak selisih rata-rata yang sebenarnya dalam populasi dengan tingkat keyakinan 95%.

7. Cohen's dz

Ini adalah ukuran **Effect Size (Ukuran Efek)**:

$$d_z = \frac{\bar{d}}{s_d}$$

- Berbeda dengan nilai p yang hanya memberi tahu "ada perbedaan atau tidak", Cohen's d_z memberi tahu **seberapa besar/kuat** perbedaan tersebut secara praktis. 0.2 = Efek kecil, 0.5 = Efek sedang, 0.8 ke atas = Efek besar

Tabel 4. 3 Simbol Keterangan Rumus

| Simbol | Keterangan |
|-------------------|--|
| X_i | Nilai pengukuran pada kondisi pertama untuk pasangan ke- i |
| Y_i | Nilai pengukuran pada kondisi kedua untuk pasangan ke- i |
| d_i | Selisih nilai pengukuran pasangan ke- i ($X_i - Y_i$) |
| \bar{d} | Rata-rata selisih seluruh pasangan data |
| s_d | Simpangan baku dari selisih data |
| n | Jumlah pasangan data |
| SE | Standard error dari rata-rata selisih |
| t | Nilai statistik uji t |
| df | Derajat kebebasan ($n - 1$) |
| P | Nilai probabilitas (p -value, two-tailed) |
| α | Tingkat signifikansi (0,05) |
| t_{krit} | Nilai t kritis pada α dan df |
| CI | Interval kepercayaan rata-rata selisih |
| d_z | Ukuran besar pengaruh (<i>effect size</i> Cohen's d_z) |

4.4.1 Kategori Protokol Keamanan: WPA2-PSK vs WPA3-SAE

a. Kelompok WPA2-PSK (Stage: 1,3,5,7) — n=4

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kelompok WPA2-PSK

| Metric | Limiter (Mean±SD) | No Limiter (Mean±SD) | Mean diff (L-No) | t(df) | p | 95% CI diff | Cohen's dz |
|-----------------|-------------------|----------------------|------------------|--------------|--------|-----------------|------------|
| Time (ms) | 35.00 ± 13.64 | 28.00 ± 13.98 | 7.00 | 3.742 (df=3) | 0.0333 | [1.05, 12.95] | 1.871 |
| Packet loss (%) | 3.42 ± 2.92 | 0.85 ± 0.98 | 2.58 | 1.750 (df=3) | 0.1785 | [-2.11, 7.26] | 0.875 |
| RSSI (dBm) | -61.25 ± 8.38 | -62.75 ± 4.57 | -1.50 | 0.261 (df=3) | 0.8107 | [-16.76, 19.76] | 0.131 |
| Latency (ms) | 84.75 ± 28.24 | 36.75 ± 25.00 | 48.00 | 2.951 (df=3) | 0.0600 | [-3.76, 99.76] | 1.476 |

Inti temuan WPA2: Time naik signifikan saat limiter aktif (+7 ms, $p=0.0333$). Latency cenderung naik ($p=0.06$).

Pada kelompok WPA2-PSK ($n=4$), penerapan RSSI limiter menunjukkan peningkatan time consumed yang signifikan dibandingkan tanpa limiter (mean selisih +7 ms, $p < 0,05$). Artinya, pada WPA2-PSK, limiter cenderung membuat perpindahan koneksi membutuhkan waktu lebih lama secara konsisten meskipun selisihnya relatif kecil.

Dari sisi latency, kelompok WPA2-PSK juga menunjukkan kecenderungan meningkat (mean selisih sekitar +48 ms, p mendekati 0,05). Walaupun belum signifikan secara statistik, pola ini mengindikasikan adanya tambahan delay ketika limiter memicu perpindahan lebih dini. Peningkatan latency ini sejalan dengan konsep bahwa saat RSSI limiter memutus keputusan roaming pada ambang tertentu, proses asosiasi ulang dan negosiasi link menyebabkan delay end-to-end bertambah.

Sementara itu, packet loss rate pada WPA2-PSK juga meningkat namun tidak signifikan. Ini dapat dijelaskan karena WPA2-PSK memiliki mekanisme autentikasi yang relatif lebih sederhana dibanding WPA3-SAE, sehingga efek limiter lebih terlihat pada waktu perpindahan dan latency, tetapi tidak selalu memunculkan kehilangan paket yang konsisten pada semua skenario.

Interpretasi teknis (WPA2): RSSI limiter pada WPA2 lebih berperan sebagai “pemicu roaming” yang memperjelas waktu perpindahan. Karena autentikasi tidak terlalu kompleks, kenaikan time dan latency terjadi tetapi masih berada pada rentang yang lebih moderat dibanding WPA3.

b. Kelompok WPA3-SAE (Stage: 2,4,6,8) — n=4

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kelompok WPA3-SAE

| Metric | Limiter (Mean±SD) | No Limiter (Mean±SD) | Mean diff (L-No) | t(df) | p | 95% CI diff | Cohen's dz |
|-----------------|------------------------|----------------------|------------------|---------------|---------------|-------------------|--------------|
| Time (ms) | 128.75 ± 82.48 | 66.25 ± 45.88 | 62.50 | 2.177 (df=3) | 0.1177 | [-28.88, 153.88] | 1.088 |
| Packet loss (%) | 21.35 ± 18.85 | 1.00 ± 1.15 | 20.35 | 2.174 (df=3) | 0.1180 | [-9.43, 50.13] | 1.087 |
| RSSI (dBm) | -66.75 ± 11.03 | -55.50 ± 5.92 | -11.25 | -1.646 (df=3) | 0.1984 | [-33.00, 10.50] | -0.823 |
| Latency (ms) | 296.50 ± 259.17 | 30.00 ± 23.41 | 266.50 | 1.958 (df=3) | 0.1451 | [-166.65, 699.65] | 0.979 |

Inti temuan WPA3: tidak signifikan ($p > 0.05$), tetapi efek (dz) cenderung besar pada time/packetloss/latency—variansi sangat tinggi.

Pada kelompok WPA3-SAE ($n=4$), penerapan RSSI limiter menghasilkan kenaikan time consumed, packet loss, dan latency yang besar secara rata-rata, namun tidak signifikan secara statistik ($p > 0,05$). Kondisi ini terutama disebabkan

oleh variansi yang sangat tinggi antar skenario (misalnya ada skenario yang menghasilkan time dan latency jauh lebih besar Time: +62.50 ms; Latency: +266.50 ms), sehingga perbedaan rata-rata belum cukup "stabil" untuk dinyatakan signifikan pada sampel kecil.

Meskipun tidak signifikan, besarnya selisih rata-rata mengarah pada interpretasi bahwa WPA3-SAE lebih sensitif terhadap kondisi link yang melemah saat roaming dipicu. Packet Loss & Effect Size: Meskipun $p=0.118$, Packet Loss melonjak drastis dari 1.00% menjadi 21.35% dengan effect size yang besar ($d_z=1.087$), WPA3-SAE memakai proses autentikasi yang lebih kompleks (SAE/handshake yang lebih berat), sehingga ketika RSSI limiter memicu perpindahan pada kondisi RSSI rendah, proses autentikasi dapat berlangsung lebih lama dan lebih rentan terhadap retransmisi, yang kemudian meningkatkan latency dan packet loss.

Interpretasi teknis (WPA3): WPA3 menggunakan Simultaneous Authentication of Equals (SAE) yang komputasinya lebih berat daripada PSK. Ketidaksignifikanan statistik di sini bukan berarti "tidak ada dampak", melainkan menunjukkan ketidakstabilan. Penerapan RSSI Limiter pada WPA3 cenderung menyebabkan kegagalan handshake sesekali yang mengakibatkan packet loss ekstrem atau latensi yang sangat tinggi pada sebagian percobaan, sementara sebagian lainnya berhasil normal. Ini mengindikasikan bahwa WPA3 kurang toleran terhadap pemutusan paksa (disassociation) dibandingkan WPA2.

4.4.2 Kategori Channel Band: Same Channel Band vs Different Channel Band

a. Same Channel Band (Stage: 1–4) — n=4

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kelompok Same Channel Band

| Metric | Limiter (Mean±SD) | No Limiter (Mean±SD) | Mean diff (L-No) | t(df) | p | 95% CI diff | Cohen's dz |
|-----------------|-------------------|----------------------|------------------|---------------|--------|-------------------|------------|
| Time (ms) | 60.75 ± 45.49 | 27.25 ± 14.57 | 33.50 | 1.476 (df=3) | 0.2364 | [-38.73, 105.73] | 0.738 |
| Packet loss (%) | 12.43 ± 9.27 | 0.42 ± 0.85 | 12.00 | 2.471 (df=3) | 0.0900 | [-3.45, 27.45] | 1.236 |
| RSSI (dBm) | -65.25 ± 7.18 | -55.75 ± 5.91 | -9.50 | -2.086 (df=3) | 0.1283 | [-24.00, 5.00] | -1.043 |
| Latency (ms) | 183.75 ± 205.78 | 17.25 ± 0.50 | 166.50 | 1.617 (df=3) | 0.2044 | [-161.24, 494.24] | 0.808 |

Pada konfigurasi same channel band (n=4), penerapan RSSI limiter menunjukkan kecenderungan meningkatkan packet loss dan latency dibanding tanpa limiter. Pola ini logis karena pada same channel, AP bekerja pada channel yang sama sehingga potensi co-channel interference dan kontensi medium dapat meningkat, terutama saat client berada di area overlaps dan mulai “dipaksa” berpindah. Tidak ditemukan perbedaan signifikan secara statistik pada semua parameter. Namun, Packet Loss menunjukkan tren peningkatan sebesar 12.00% (p=0.0900) dengan $d_z=1.236$. Latency juga meningkat rata-rata 166.50 ms (p=0.2044). Ketika limiter aktif, perangkat bisa melakukan roaming dalam kondisi kanal yang sedang padat, sehingga kehilangan paket dan latency cenderung naik.

Selain itu, average RSSI pada kategori same channel cenderung lebih rendah (lebih negatif) saat limiter aktif. Ini sejalan dengan mekanisme limiter: roaming dipicu ketika sinyal sudah melewati ambang (mis. -67 dBm), sehingga

pengukuran RSSI saat proses handover terjadi memang terjadi pada kualitas sinyal yang lebih lemah.

Interpretasi teknis (same channel): limiter mempercepat keputusan roaming pada kondisi sinyal lemah, tetapi pada same channel efeknya bisa “bertabrakan” dengan kondisi kanal yang lebih kompetitif sehingga packet loss/latency cenderung meningkat.

b. Different Channel Band (Stage: 5–8) — n=4

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kelompok Different Channel Band

| Metric | Limiter (Mean±SD) | No Limiter (Mean±SD) | Mean diff (L-No) | t(df) | p | 95% CI diff | Cohen's dz |
|--------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| Time (ms) | 103.00 ± 97.92 | 67.00 ± 44.83 | 36.00 | 1.253 (df=3) | 0.2989 | [-55.42, 127.42] | 0.627 |
| Packet loss (%) | 12.35 ± 22.18 | 1.43 ± 0.96 | 10.92 | 1.003 (df=3) | 0.3898 | [-23.74, 45.59] | 0.502 |
| RSSI (dBm) | -62.75 ± 12.50 | -62.50 ± 5.07 | -0.25 | -0.030 (df=3) | 0.9783 | [-27.20, 26.70] | -0.015 |
| Latency (ms) | 197.50 ± 235.35 | 49.50 ± 22.58 | 148.00 | 1.167 (df=3) | 0.3275 | [- 255.60, 551.60] | 0.583 |

Pada konfigurasi different channel band (n=4), pengaruh RSSI limiter cenderung lebih “tidak konsisten” dan seluruh metrik tidak menunjukkan signifikansi. Serupa dengan skenario Same Band, skenario lintas band tidak menghasilkan perbedaan signifikan. Peningkatan waktu roaming tercatat sebesar 36.00 ms (p=0.2989). Menariknya, RSSI pada skenario ini sangat identik antara Limiter dan No Limiter (p=0.9783), menunjukkan bahwa pada skenario lintas band, keputusan roaming mungkin lebih didominasi oleh faktor atenuasi sinyal fisik saat

berpindah frekuensi. Namun secara rata-rata masih terlihat kecenderungan kenaikan time/latency pada kondisi limiter.

Secara teknis, different channel berpotensi mengurangi interferensi langsung antar AP karena kanal berbeda, sehingga proses roaming dapat lebih bersih dari co-channel contention. Akan tetapi, ketika limiter memutus koneksi pada ambang tertentu, client tetap harus melakukan scanning/negosiasi ulang—terutama jika terjadi perbedaan karakteristik kanal (mis. noise floor, level interferensi, atau coverage berbeda). Ini dapat membuat efek limiter tidak selalu sama pada semua skenario, menghasilkan variasi tinggi.

Interpretasi teknis (different channel): Tidak adanya signifikansi statistik pada kedua kategori ini menyiratkan bahwa dampak RSSI Limiter bersifat independen terhadap jenis perpindahan pita frekuensi. Baik berpindah di frekuensi yang sama maupun berbeda, RSSI Limiter tetap memberikan penalti kinerja (kenaikan latensi dan loss), namun variansi yang tinggi antar percobaan mengaburkan signifikansi statistik.

4.4.3 Kategori Channel Width: 40 MHz vs 80 MHz

a. Channel Width 40 MHz (Stage: 1,2,5,6) — n=4

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Kelompok Channel Width 40 MHz

| Metric | Limiter (Mean±SD) | No Limiter (Mean±SD) | Mean diff (L-No) | t(df) | p | 95% CI diff | Cohen's dz |
|-----------------|-------------------|----------------------|------------------|---------------|--------|-------------------|------------|
| Time (ms) | 105.50 ± 104.95 | 45.50 ± 53.49 | 60.00 | 2.013 (df=3) | 0.1376 | [-34.87, 154.87] | 1.006 |
| Packet loss (%) | 19.80 ± 20.02 | 0.93 ± 1.08 | 18.88 | 1.917 (df=3) | 0.1511 | [-12.46, 50.21] | 0.958 |
| RSSI (dBm) | -67.25 ± 12.97 | -57.00 ± 5.60 | -10.25 | -1.125 (df=3) | 0.3426 | [-39.25, 18.75] | -0.562 |
| Latency (ms) | 301.25 ± 254.62 | 24.25 ± 11.98 | 277.00 | 2.118 (df=3) | 0.1244 | [-139.16, 693.16] | 1.059 |

Pada lebar kanal 40 MHz (n=4), Pada lebar kanal 40 MHz, tidak ada metrik yang menunjukkan perbedaan signifikan ($p > 0.05$). Packet Loss: Terjadi peningkatan besar (+18.88%) dengan $p=0.1511$. Latency: Meningkat drastis (+277.00 ms), namun variansi data yang besar ($SD \pm 254.62$) menyebabkan interval kepercayaan melebar luas.. Secara teknis, 40 MHz memiliki bandwidth lebih sempit sehingga biasanya lebih tahan terhadap interferensi lebar dan memiliki peluang SNR yang lebih stabil pada kondisi tertentu. Akibatnya, dampak limiter tidak selalu ekstrem, walaupun tetap dapat menambah overhead karena roaming dipicu pada kondisi RSSI lemah.

Interpretasi teknis (40 MHz): limiter menambah overhead roaming, tetapi karakteristik 40 MHz yang lebih “stabil” dalam beberapa lingkungan dapat membuat dampaknya tidak selalu tajam.

b. Channel Width 80 MHz (Stage: 3,4,7,8) — n=4

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Kelompok Channel Width 80 MHz

| Metric | Limiter (Mean±SD) | No Limiter (Mean±SD) | Mean diff (L-No) | t(df) | p | 95% CI diff | Cohen's dz |
|-----------------|-------------------|----------------------|------------------|---------------------|---------------|----------------|--------------|
| Time (ms) | 58.25 ± 18.59 | 48.75 ± 20.17 | 9.50 | 1.809 (df=3) | 0.1682 | [-7.21, 26.21] | 0.904 |
| Packet loss (%) | 4.98 ± 5.53 | 0.93 ± 1.08 | 4.05 | 1.363 (df=3) | 0.2661 | [-5.40, 13.50] | 0.682 |
| RSSI (dBm) | -60.75 ± 3.95 | -61.25 ± 6.90 | 0.50 | 0.238 (df=3) | 0.8273 | [-6.19, 7.19] | 0.119 |
| Latency (ms) | 80.00 ± 19.85 | 42.50 ± 28.94 | 37.50 | 4.038 (df=3) | 0.0273 | [7.94, 67.06] | 2.019 |

Inti temuan channel width: pada 80 MHz, Latency rata-rata latency meningkat secara signifikan sebesar 37.50 ms ($t(3)=4.038$, $p=0.0273$) saat RSSI Limiter aktif. Effect size untuk metrik ini sangat besar ($d_z=2.019$), menunjukkan dampak yang konsisten dan kuat.

Dan ditemukan bahwa average latency meningkat signifikan saat RSSI limiter diterapkan (mean selisih sekitar +37,5 ms, $p < 0,05$). Ini adalah temuan penting karena menunjukkan bahwa pada kanal lebar, limiter cenderung menambah delay end-to-end secara konsisten.

Secara teknis, 80 MHz memberi throughput lebih tinggi, tetapi juga lebih rentan terhadap interferensi spektral dan variasi SNR karena lebar spektrum yang digunakan lebih besar. Ketika perangkat berada di tepi coverage dan limiter memicu roaming, kondisi link pada 80 MHz bisa lebih "fluktuatif". Akibatnya, retransmisi frame, penurunan MCS, serta proses asosiasi ulang dapat meningkatkan latency lebih nyata. Selain itu, jika scanning atau re-association terjadi di

lingkungan yang sensitif terhadap interferensi, waktu pemulihan trafik real-time akan lebih lama.

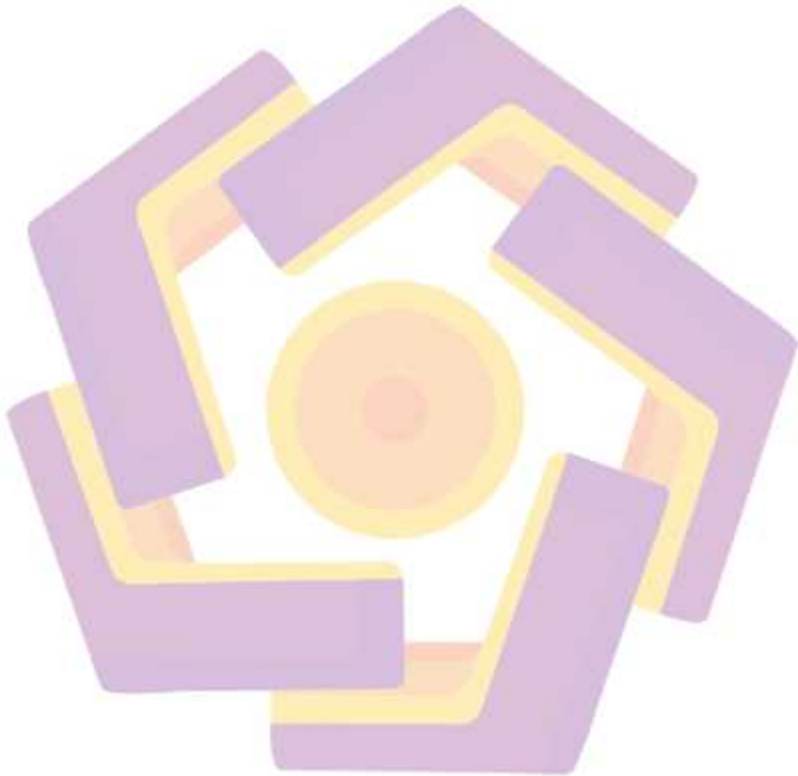
Interpretasi teknis (80 MHz): Signifikansi latensi pada 80 MHz dapat dijelaskan melalui teori Noise Floor. Kanal yang lebih lebar (80 MHz) memiliki noise floor yang lebih tinggi (sekitar 3 dB lebih buruk) dibandingkan 40 MHz. Saat RSSI Limiter memotong koneksi tepat di angka -67 dBm, Effective SNR pada kanal 80 MHz lebih rendah dibandingkan pada 40 MHz. Akibatnya, klien mengalami kesulitan lebih besar untuk mendecoding frame manajemen (Beacon/Probe Response) dari AP tujuan saat batas ambang tercapai, menyebabkan lonjakan latensi yang nyata sebelum koneksi baru terbentuk.

4.4.4 Ringkasan Temuan Analisis Per Kategori

Berdasarkan analisis per kategori, dapat disimpulkan bahwa:

1. WPA2-PSK menunjukkan dampak limiter yang lebih “stabil” pada time consumed (signifikan meningkat), dan kecenderungan menaikkan latency.
2. WPA3-SAE menunjukkan kenaikan rata-rata time/packet loss/latency yang lebih besar, tetapi tidak signifikan karena variasi antar skenario tinggi—mengindikasikan WPA3 lebih sensitif terhadap kualitas link saat roaming.
3. Pada same channel band, limiter cenderung meningkatkan packet loss/latency akibat kemungkinan kontensi medium dan interferensi ko-kanal.
4. Pada different channel band, dampak limiter lebih bervariasi karena kondisi radio antar kanal berbeda sehingga hasil antar skenario tidak seragam.

5. Pada 80 MHz, limiter meningkatkan latency secara signifikan, menguatkan indikasi bahwa kanal lebar lebih rentan terhadap penurunan kualitas sinyal saat keputusan roaming dipicu oleh threshold dibandingkan kanal sempit 40 MHz.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan pada Bab IV, penelitian ini menunjukkan bahwa performa handover pada jaringan Wi-Fi 5 GHz sangat dipengaruhi oleh konfigurasi kebijakan roaming (RSSI limiter) dan protokol keamanan yang digunakan. Pada skenario tanpa pembatas RSSI (No RSSI Limiter), parameter QoS cenderung lebih rendah dan stabil di berbagai tahapan pengujian, sehingga dapat menjadi baseline performa roaming “alami” perangkat ketika berpindah Access Point tanpa intervensi ambang sinyal tertentu.

Sebaliknya, ketika RSSI limiter diterapkan pada -67 dBm, proses handover cenderung terjadi pada kondisi sinyal yang lebih lemah (lebih negatif) karena perangkat “bertahan lebih lama” di AP lama sebelum berpindah, yang kemudian memperbesar risiko gangguan selama transisi.

Dampak yang paling menonjol muncul pada metrik packet loss: penerapan RSSI limiter menyebabkan kenaikan packet loss yang signifikan dibandingkan kondisi tanpa limiter, dan lonjakan paling jelas terlihat pada kombinasi WPA3-SAE. Pada tahap 2 (WPA3-SAE, channel band sama, 40 MHz) packet loss meningkat hingga 25,5% saat limiter aktif, mengindikasikan bahwa mekanisme keamanan WPA3-SAE cenderung lebih rentan terhadap gangguan handover ketika sinyal dibatasi.

Selain itu, penelitian ini juga menegaskan bahwa memperlebar channel width (misalnya 80 MHz) tidak otomatis mengurangi packet loss apabila

pembatasan RSSI tetap digunakan; pada tahapan 80 MHz, packet loss tetap lebih tinggi saat limiter aktif dibandingkan tanpa limiter.

Puncak gangguan terjadi pada kombinasi WPA3-SAE dengan channel band berbeda ($AP1=38$ dan $AP2=46$) pada 40 MHz, di mana packet loss mencapai 45,6% ketika limiter diterapkan, sehingga memperlihatkan bahwa perpaduan “WPA3-SAE + RSSI limiter + channel band berbeda” merupakan kondisi paling tidak menguntungkan bagi kualitas handover.

Secara keseluruhan, faktor yang paling dominan menaikkan packet loss dalam penelitian ini adalah penerapan RSSI limiter dan penggunaan WPA3-SAE, terutama ketika dipadukan dengan channel band yang berbeda; implikasinya, desain Wi-Fi yang mengutamakan mobilitas perlu sangat berhati-hati dalam menetapkan kebijakan pembatas sinyal, khususnya ketika menerapkan WPA3-SAE.

5.2. Saran

Berdasarkan temuan tersebut, saran implementatif yang dapat diberikan adalah agar pengelola jaringan tidak mengandalkan RSSI limiter statis sebagai satu-satunya strategi pemicu roaming, terutama pada jaringan yang menerapkan WPA3-SAE dan skenario perpindahan antar-AP dengan channel band berbeda, karena kombinasi ini terbukti meningkatkan packet loss secara drastis dan berpotensi menurunkan kualitas layanan aplikasi real-time.

Pengelola jaringan disarankan mempertimbangkan pendekatan ambang sinyal yang lebih adaptif (misalnya penyesuaian threshold sesuai kepadatan klien,

interferensi, dan mobilitas) serta memastikan perencanaan kanal (channel planning) dan konfigurasi roaming selaras dengan kondisi lapangan, sehingga perpindahan AP tidak terjadi pada saat kualitas link sudah terlalu buruk. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan pengujian dengan variasi threshold RSSI yang lebih beragam (misalnya -65, -70, hingga -75 dBm), menambah jumlah pengulangan pengujian dan variasi perangkat klien (karena perbedaan chipset/driver dapat memengaruhi perilaku roaming), serta memperluas metrik evaluasi dengan memasukkan throughput, jitter, dan success rate handover agar penilaian performa handover menjadi lebih komprehensif dan kuat secara statistik.

Penelitian ini dilaksanakan dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya yang tersedia yang dalam ini perangkat testing sederhana, khususnya pada aspek perangkat pengujian dan lingkungan eksperimen. Perangkat access point, klien nirkabel, serta alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini merepresentasikan konfigurasi perangkat komersial yang umum digunakan, namun belum mencakup variasi perangkat profesional dengan kemampuan radio measurement dan roaming optimization yang lebih canggih. Keterbatasan ini berpotensi memengaruhi tingkat presisi pengukuran, terutama dalam menangkap dinamika proses handover secara lebih detail pada lapisan fisik dan medium access control.

Selain itu, seluruh skenario pengujian dilakukan pada lingkungan eksperimen indoor dengan karakteristik tertentu, seperti kondisi propagasi sinyal yang dipengaruhi oleh pantulan (multipath), redaman dinding, serta interferensi terbatas dari jaringan lain. Lingkungan indoor tersebut mencerminkan kondisi

penggunaan WLAN yang umum dijumpai pada gedung perkantoran dan kampus, namun belum sepenuhnya merepresentasikan variasi lingkungan lain seperti area semi-outdoor atau outdoor dengan tingkat mobilitas dan interferensi yang berbeda. Oleh karena itu, hasil penelitian ini perlu dipahami sebagai gambaran performa handover pada kondisi lingkungan indoor yang terkontrol.

Berkaitan dengan hal tersebut, generalisasi hasil penelitian ini ke lingkungan dan skenario yang lebih luas perlu dilakukan secara hati-hati. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan perangkat pengujian dengan spesifikasi yang lebih beragam, termasuk *access point* kelas enterprise dan alat survei Wi-Fi profesional, serta memperluas lingkungan eksperimen ke skenario outdoor atau *high-density environment*. Dengan demikian, hasil penelitian di masa mendatang diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai performa handover dan dampak protokol keamanan terhadap QoS WLAN pada berbagai kondisi jaringan yang lebih heterogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, M., Ali, J., Ayadi, M., Elmannai, H., Almuqren, L., & Amin, R. (2023). Leveraging Software-Defined Networking for a QoS-Aware Mobility Architecture for Named Data Networking. *Electronics (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/electronics12081914>
- Bandyopadhyay, D., De, S., Hom Roy, S., Biswas, D., Bhose, M., & Karmakar, R. (2023). Network Throughput Improvement in Wi-Fi 6 over Wi-Fi 5: A Comparative Performance Analysis. *ICCECE 2023 - International Conference on Computer, Electrical and Communication Engineering*. <https://doi.org/10.1109/ICCECE51049.2023.10085684>
- Bensky, A. (2019). Wireless local area networks. In *Short-range Wireless Communication* (pp. 273–315). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815405-2.00011-7>
- Calle, L., Castel, J., & Amaya, M. (2023). Implementation of a ROS Node for Roaming between APs for an Autonomous Mobile Robot. *2023 IEEE Latin American Electron Devices Conference, LAEDC 2023*. <https://doi.org/10.1109/LAEDC58183.2023.10209140>
- Chadda, A., Stojanova, M., Begin, T., Busson, A., & Guérin Lassous, I. (2021). Assigning channels in WLANs with channel bonding: A fair and robust strategy. *Computer Networks*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108200>
- Chen, B., Ma, J., Zhang, L., Zhou, J., Fan, J., & Lan, H. (2024). Research Progress of Wireless Positioning Methods Based on RSSI. In *Electronics (Switzerland)*

- (Vol. 13, Number 2). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
<https://doi.org/10.3390/electronics13020360>
- Emran, M. (2020). Performance Analysis of Traditional and SDN Based Handovers in Wireless LAN Networks. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.
<https://doi.org/10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216435>
- European Environment Agency (EEA). (2022). Publications Office.
<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022>
- Fahmy, H. M. A. (2010). *ICCES'2010 : proceedings : The 2010 International Conference on Computer Engineering & Systems : November 30-December 1, 2010 : Ain Shams Univesity Guest House, Cairo, Egypt*. IEEE.
- Fauzan Prasetyo Eka Putra, Ekawati Ekawati, Akhmad Vidyan, & Moh. Ali. (2025). Evaluasi Kualitas Layanan (QoS) pada Jaringan Wi-Fi 6 Dibandingkan dengan Wi-Fi 5. *Jurnal Informatika Dan Teknologi Komputer (JITEK)*, 5(1), 102–108. <https://doi.org/10.55606/jitek.v5i1.6010>
- Gherman, A. G., & Marcu, M. (2022). Instrumentation and Analyzis of Handover in Wi-Fi Networks. *2022 15th International Symposium on Electronics and Telecommunications, ISETC 2022 - Conference Proceedings*.
<https://doi.org/10.1109/ISETC56213.2022.10010306>
- Goutam, S., & Unnikrishnan, S. (2019). Handoff decision algorithm in WiFi zone using Fuzzy Logic. *2019 Women Institute of Technology Conference on Electrical and Computer Engineering (WITCON ECE)*, 123–128.
<https://doi.org/10.1109/WITCONECE48374.2019.9092939>

- Ito, K., & Izuka, N. (2023). Proposal of Client-Server Based Vertical Handover Scheme Using Virtual Routers for Edge Computing in Local 5G Networks and WLANs. *2023 IEEE 13th Annual Computing and Communication Workshop and Conference, CCWC 2023*, 999–1004. <https://doi.org/10.1109/CCWC57344.2023.10099150>
- Kumar, A., & Om, H. (2020). Design of a USIM and ECC based handover authentication scheme for 5G-WLAN heterogeneous networks. *Digital Communications and Networks*, 6(3), 341–353. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2019.07.003>
- Mandal, B. K., & Tewari, B. P. (2022). *Interference Aware Handoff Through Dynamic Channel Switching in High Speed 802.11ac WLAN*. 358–363. <https://doi.org/10.1109/ocit53463.2021.00077>
- Rifki, M. I., Iksan, M., Nasution, R. H., & Handira, D. (2022). *Analysis Of Wlan Network Handover Performance Using Rssi And Threshold On Mobile Devices*. <http://infor.seaninstitute.org/index.php/infokum/index>
- Saputro, V. A., & Raharjo, S. (2022). Pengaruh Penggunaan Beacon Interval Dalam Meningkatkan Throughput Jaringan Wireless IEEE 802.11ax. In *Jurnal Sistem Komputer dan Kecerdasan Buatan: VI* (Number 1). <https://doi.org/10.47970/siskom-kb.v6i1.324>
- Saputro, V. A., Raharjo, S., & Pramono, E. (2021). Pengaruh Wireless Security Protocol Pada Throughput Jaringan Wireless 802.11ax. *Paradigma - Jurnal Komputer Dan Informatika*, 23(2). <https://doi.org/10.31294/p.v23i2.10947>

- Shao, S., Zheng, J., Zhong, C., Lu, P., Guo, S., & Bu, X. (2023). IEEE 802.11ax Meet Edge Computing: AP Seamless Handover for Multi-Service Communications in Industrial WLAN. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 20(3), 3396–3412. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2023.3239404>
- Tang, J., & Han, J. (2021). An improved received signal strength indicator positioning algorithm based on weighted centroid and adaptive threshold selection. *Alexandria Engineering Journal*, 60(4), 3915–3920. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.02.031>
- Toulson, R., Wilmshurst, T., & Spink, T. (2025). Further Aspects of the IoT. In *Fast and Effective Embedded Systems Design* (pp. 395–420). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95197-5.00013-9>
- Wahyudin Hasyim, A. L. B. S. R. (2024). *Analisis Jaringan Internet Menggunakan Parameter Quality Of Service (Qos) Di Universitas Muhammadiyah Gorontalo*. <https://doi.org/10.51401/jinteks.v6i2.4156>
- WPA3™ Specification Version 3.3, (2024).