ANALISIS KINERJA JARINGAN WIRELESS LOCAL AREA NETWORK PADA ACCESS POINT TENDA N301 DAN RUIJIE RAP2260(G) DI HUNIAN KOS

Raihan Hadi Nafi[1], Wijdan Labib[2], Novia Adelia Ujilast[3], Bambang Sugiantoro[4]

[1,2,3,4]*Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta, Indonesia*
E-mail : jilan.raihan@gmail.com[1], wijdanlabib276@gmail.com[2], noviadelia2011@gmail.com[3], bambang.sugiantoro@uin-suka.ac.id[4]

ABSTRAK

Kualitas layanan (Quality of Service/QoS) jaringan Wireless Local Area Network (WLAN) pada hunian bersama seperti kos dipengaruhi oleh perangkat access point (AP), kondisi sinyal, dan kapasitas jalur akses internet. Penelitian ini membandingkan kinerja AP Tenda N301 dan AP enterprise Ruijie RG-RAP2260(G) yang terhubung ke router Ruijie RG-EG105G-V3 di Kost Kita lantai 1 dan 2 pada 26 Oktober hingga 1 November 2026. Kedua AP diukur dengan Speedtest pada tiga sesi per hari (21 uji per AP) untuk latensi dan kecepatan unduh; AP Ruijie juga dianalisis dari data Wireless Experience pada platform manajemen Ruijie (jangkauan, koneksi, roaming, dan throughput), dan OpenSpeedTest pada server lokal digunakan untuk memisahkan segmen WLAN dari jalur internet. Rerata kecepatan unduh AP Tenda adalah 32,31 ± 26,05 Mbps dan AP Ruijie 39,09 ± 15,06 Mbps; selisih keseluruhan tidak signifikan (Mann-Whitney, $p = 0,232$), tetapi arahnya berlawanan menurut sesi: Ruijie lebih tinggi pada pagi (57,76 terhadap 23,53 Mbps) dan siang (30,66 terhadap 7,86 Mbps), sedangkan Tenda lebih tinggi pada sore (65,55 terhadap 28,84 Mbps; $p < 0,001$ pada setiap sesi). Kecepatan unduh Ruijie lebih stabil (koefisien variasi 38,5% terhadap 80,6%) dan latensi saat unggah pada sore jauh lebih rendah (rerata 99,86 ms terhadap 651,80 ms pada Tenda). Latensi idle kedua AP berindeks TIPHON 4 (31,95 dan 39,29 ms) dan rata-rata indeks TIPHON keduanya 2,67 (Sedang). Data Wireless Experience Ruijie menunjukkan skor jangkauan 57% sampai 59% (Sedang) dengan RSSI rata-rata sekitar -69 dBm, di bawah ambang -65 hingga -67 dBm, dan skor roaming 24% sampai 29% (Buruk). Pada OpenSpeedTest lokal (satu uji per AP), AP Tenda mencapai unduh 89,3 Mbps, sejalan dengan batas port Fast Ethernet 100 Mbps, dan AP Ruijie mencapai 340,5 Mbps. Hasil mengindikasikan bahwa kendala utama AP Ruijie berada pada cakupan sinyal, roaming, dan beban pada sesi sore, bukan pada kapasitas perangkat, dan jalur WAN kecil kemungkinannya menjadi penyebab.

Kata Kunci : *Quality Of Service; Wireless LAN; Wireless Experience; RSSI; Roaming; Latensi; Throughput.*

ABSTRACT

The Quality of Service (QoS) of a Wireless Local Area Network (WLAN) in shared residences such as boarding houses depends on the access point (AP), signal conditions, and the capacity of the internet access link. This study compares a Tenda N301 AP and an enterprise Ruijie RG-RAP2260(G) AP connected to a Ruijie RG-EG105G-V3 router on floors 1 and 2 of Kost Kita from 26 October to 1 November 2026. Both APs were measured with Speedtest in three daily sessions (21 tests per AP) for latency and download speed; the Ruijie AP was additionally analyzed from Wireless Experience data on the Ruijie management platform (coverage, connection, roaming, and throughput), and OpenSpeedTest on a local server was used to separate the WLAN segment from the internet link. The mean download speed was 32.31 ± 26.05 Mbps for the Tenda AP and 39.09 ± 15.06 Mbps for the Ruijie AP; the overall difference was not significant (Mann-Whitney, $p = 0.232$), but its direction reversed by session: the Ruijie AP was faster in the morning (57.76 vs 23.53 Mbps) and at noon (30.66 vs 7.86 Mbps), whereas the Tenda AP was faster in the late afternoon (65.55 vs 28.84 Mbps; $p < 0.001$ in each session). Ruijie download speed was more stable (coefficient of variation 38.5% vs 80.6%) and its late-afternoon upload-loaded latency was far lower (mean 99.86 ms vs 651.80 ms for Tenda). Idle latency was TIPHON index 4 for both APs (31.95 and 39.29 ms), and the mean TIPHON index was 2.67 (Fair) for both. Ruijie Wireless Experience data showed a coverage score of 57% to 59% (Fair) with an average RSSI of about -69 dBm, below the -65 to -67 dBm threshold, and a roaming score of 24% to 29% (Poor). In the local OpenSpeedTest (a single run per AP), the Tenda AP reached 89.3 Mbps download, consistent with its 100 Mbps Fast Ethernet port limit, and the Ruijie AP reached 340.5 Mbps. The results indicate that the main constraints on the Ruijie AP lie in signal coverage, roaming, and late-afternoon load rather than device capacity, and that the WAN link is an unlikely cause.

Keywords : *Quality Of Service; Wireless Lan; Wireless Experience; Rssi; Roaming; Latency; Throughput.*

PENDAHULUAN

Wireless Local Area Network (WLAN) telah menjadi bagian penting dalam infrastruktur jaringan modern karena menyediakan akses nirkabel yang fleksibel dan relatif murah untuk berbagai perangkat layanan digital. Meningkatnya penggunaan aplikasi seperti *video streaming*, gim daring, *virtual reality*, dan layanan interaktif membuat kebutuhan terhadap jaringan yang cepat dan stabil semakin tinggi. Selain itu, semakin banyaknya layanan berbasis *cloud*, perangkat yang berpindah-pindah, serta penggunaan Wi-Fi untuk mengurangi beban jaringan seluler turut meningkatkan jumlah trafik yang harus ditangani oleh WLAN. Kondisi tersebut membuat WLAN perlu menjaga Quality of Service (QoS) agar *latency*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput* tetap sesuai kebutuhan pengguna.

Untuk menjaga kinerja WLAN bukanlah hal yang sederhana karena penurunan kualitas jaringan tidak hanya disebabkan oleh satu faktor. Beberapa faktor teknis dapat saling memengaruhi dan menyebabkan kinerja jaringan menurun dalam kondisi penggunaan yang sebenarnya. Salah satu faktor yang memengaruhi kinerja WLAN adalah *coverage*, yaitu sejauh mana sinyal Wi-Fi dapat menjangkau area yang dibutuhkan. Faktor berikutnya adalah *roaming*, yaitu proses perpindahan perangkat dari satu *access point* (AP) ke AP lainnya ketika pengguna bergerak. Selain itu, *capacity*, yaitu kemampuan WLAN dalam melayani banyak perangkat dan trafik secara bersamaan. Semakin banyak perangkat yang menggunakan jaringan, semakin besar pula beban yang harus ditangani oleh WLAN. Faktor lainnya adalah *interference* atau gangguan sinyal. Gangguan ini dapat terjadi ketika beberapa AP yang berdekatan menggunakan kanal yang sama atau kanal yang saling tumpeng tindih, terutama pada lingkungan dengan banyak perangkat. Berbagai faktor tersebut pada akhirnya dapat mempengaruhi *throughput*, yaitu jumlah data yang berhasil dikirim melalui jaringan dalam waktu tertentu. *Throughput* menjadi salah satu indikator penting karena secara langsung berkaitan dengan kemampuan jaringan dalam memberikan pengalaman penggunaan yang baik.

RSSI merupakan indikator yang menunjukkan kekuatan sinyal yang diterima perangkat dari AP[10]. Dalam WLAN, RSSI dapat digunakan untuk membantu pemilihan AP dan menyesuaikan laju data karena kondisi sinyal memengaruhi kualitas koneksi. Secara umum, RSSI yang lebih tinggi cenderung menghasilkan *throughput* yang lebih baik, sedangkan RSSI rendah dapat terjadi karena jarak, *path loss*, atau adanya halangan yang melemahkan sinyal. Namun, RSSI saja tidak cukup untuk menentukan penyebab penurunan kinerja jaringan karena throughput juga dapat dipengaruhi oleh *interference*, *noise*, dan kondisi kanal lainnya.

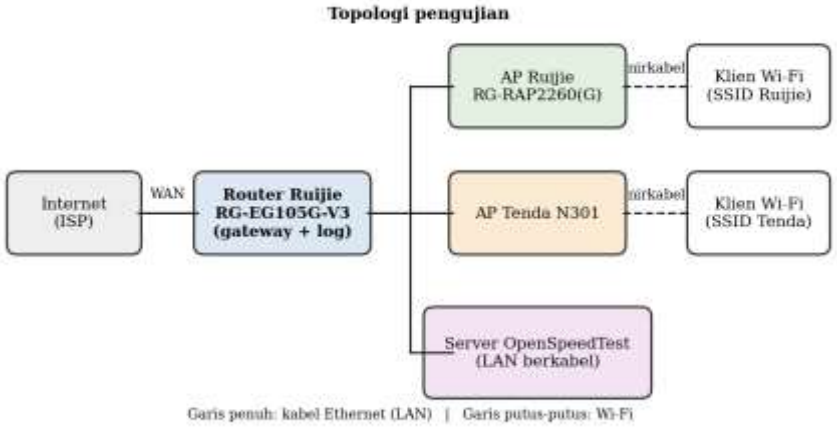
Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa evaluasi kinerja jaringan nirkabel perlu dilakukan dengan mengamati berbagai metrik secara real-time untuk mengidentifikasi anomali dan bottleneck serta mengetahui akar penyebabnya. Pada jaringan kampus, performa Wi-Fi ditemukan dapat berbeda antar lokasi sehingga analisis perlu mempertimbangkan beberapa aspek, seperti waktu, lokasi, trafik, dan perangkat. Penelitian pada jaringan enterprise juga menunjukkan bahwa monitoring lintas lapisan dapat membantu menjelaskan penyebab terjadinya penurunan performa yang dirasakan pengguna. Selain itu, penelitian lain menemukan bahwa performa aplikasi dipengaruhi oleh lokasi dan jenis perangkat, sehingga faktor-faktor tersebut dapat digunakan untuk menjelaskan degradasi performa. Penelitian lainnya menegaskan bahwa bottleneck pada bagian jaringan yang berbeda dapat menghasilkan gejala yang serupa, sehingga diperlukan analisis gabungan dari berbagai parameter dan lapisan untuk memperoleh diagnosis yang lebih akurat.

Penelitian terdahulu telah membahas evaluasi kinerja jaringan nirkabel melalui berbagai metrik dan pendekatan. Pada penelitian ini menggunakan data operasional riil selama 7 hari dari access point enterprise dan melakukan analisis secara multidimensi berdasarkan data Wireless Experience untuk menentukan dimensi kinerja paling bermasalah, akar penyebabnya, serta merumuskan metode awal yang dapat diterapkan secara teknis untuk mengurangi bottleneck tersebut.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini bersifat kuantitatif deskriptif-komparatif dengan pengamatan langsung (eksperimen lapangan) selama tujuh hari. Dua AP dioperasikan pada router dan jalur akses yang sama. Kedua AP diuji dengan Speedtest pada sesi yang sama sehingga dapat dibandingkan langsung, sedangkan AP Ruijie juga dinilai dari data Wireless Experience; hasil dari semua sumber dipadukan untuk menelusuri segmen bottleneck. Topologi pengujian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Topologi pengujian

Lokasi, Waktu, dan Perangkat

Pengujian dilakukan di Kost Kita pada lantai 1 dan 2 selama tujuh hari, yaitu 26 Oktober sampai 1 November 2026. Kedua AP terhubung ke router yang sama dan masing-masing memancarkan SSID terpisah. Spesifikasi perangkat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Jaringan Yang Diuji

Parameter	AP Ruijie RG-RAP2260(G)	AP Tenda N301	Router Ruijie RG-EG105G-V3
Peran	AP indoor (ceiling)	Router nirkabel N300 sebagai AP	Gateway/router
Standar nirkabel	Wi-Fi 6 (802.11ax), AX1800	Wi-Fi 4 (802.11b/g/n)	-
Pita frekuensi	2,4 GHz dan 5 GHz	2,4 GHz (pita tunggal)	-

Parameter	AP Ruijie RG-RAP2260(G)	AP Tenda N301	Router Ruijie RG-EG105G-V3
Laju maksimum teoretis	574 Mbps (2,4 GHz); 1.201 Mbps (5 GHz)	300 Mbps	-
Antena / MIMO	Internal 3 dBi; 2×2 pada kedua pita	2 antena eksternal 5 dBi	-
Port jaringan	2 × 10/100/1000 Base-T	1 WAN + 3 LAN 10/100 Mbps	5 × 10/100/1000 Base-T (maks. 2 WAN)
Kapasitas	Maks./rekomendasi klien: 512/100	-	600 Mbps (NAT + flow audit); rekomendasi 100 klien
Manajemen	Ruijie Cloud, aplikasi Reyee, web perangkat	Web perangkat	Ruijie Cloud, aplikasi Reyee

Sumber: lembar data produsen [9], [10], [12].

Jalur akses internet menggunakan layanan Biznet dengan kecepatan maksimum 100 Mbps dari ISP. Pengujian sisi klien memakai laptop Acer Spin 3 dan iPhone 11, dan OpenSpeedTest lokal dijalankan pada 1 November 2026.

Variabel dan Pengendalian Kondisi

Variabel bebas adalah jenis AP dan sesi waktu pengujian. Variabel terikat adalah latensi, kecepatan unduh, jitter, dan skor Wireless Experience. Router, jalur akses, dan lokasi dijaga sama untuk kedua AP. Server Speedtest dipilih otomatis oleh aplikasi sehingga bervariasi (Telkomsel, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, dan PT Telemedia Cakra Nusantara, seluruhnya di Yogyakarta); hal ini dibahas sebagai keterbatasan. Komposisi server berbeda antar-AP: pada AP Tenda 13 uji memakai server Telkomsel dan 8 uji memakai server UIN Sunan Kalijaga, sedangkan pada AP Ruijie 5 uji memakai Telkomsel, 14 uji UIN Sunan Kalijaga, dan 2 uji PT Telemedia Cakra Nusantara.

Prosedur Pengumpulan Data

Pengambilan data memakai tiga sumber yang dijelaskan pada Tabel 2. Pada setiap AP, Speedtest dijalankan satu kali pada setiap sesi (pagi, siang, sore) selama tujuh hari sehingga diperoleh 21 uji per AP (42 uji seluruhnya). Pada AP Ruijie, data Wireless Experience juga diambil dari platform manajemen Ruijie dalam tiga periode, yaitu 26-28 Oktober, 28-30 Oktober, dan 30 Oktober-1 November 2026. Dimensi yang dicatat adalah jangkauan, koneksi berhasil, roaming, dan throughput (keluaran). OpenSpeedTest dijalankan dari klien Wi-Fi pada SSID masing-masing AP ke server yang terhubung kabel ke router, satu kali per AP.

Tabel 2. Sumber Data, Keluaran, Dan Segmen Jaringan Yang Diukur

Sumber data	Alat dan keluaran	Cakupan	Segmen yang diukur
Speedtest	Speedtest; kecepatan unduh, latensi idle, latensi saat unduh dan unggah	Kedua AP; 3 sesi × 7 hari = 21 uji per AP	Klien, AP, router, ISP, server internet (end-to-end)

Sumber data	Alat dan keluaran	Cakupan	Segmen yang diukur
Wireless Experience Ruijie	Platform Ruijie; skor dan penyebab jangkauan, koneksi, roaming, throughput; RSSI	AP Ruijie; 3 periode dua harian (26 Okt-1 Nov)	Sisi nirkabel AP Ruijie
OpenSpeedTest lokal	Server OpenSpeedTest di LAN berkabel; ping, jitter, unduh, unggah	Kedua AP; satu uji per AP	Klien, AP, router, server LAN (tanpa ISP)

Skor Wireless Experience merupakan ringkasan per periode sehingga tidak tersedia pada tingkat sesi. Tangkapan layar Speedtest tidak memuat nilai jitter dan kecepatan unggah akhir pada sebagian besar uji, sehingga jitter dirujuk dari OpenSpeedTest. Variasi latensi antar-uji pada Speedtest dihitung dengan Persamaan (2) sebagai ukuran pelengkap, bukan sebagai jitter tingkat paket.

Parameter dan Penilaian

Speedtest melaporkan latensi idle serta latensi saat unduh dan saat unggah (latensi berbeban). Latensi rata-rata dihitung dari n uji, sedangkan jitter dihitung sebagai rata-rata selisih absolut latensi berurutan, mengikuti konsep variasi delay paket [6]:

$$L_{rata} = (1/n)\ \Sigma\ L_i \quad (1)$$

$$J = (1/(n-1))\ \Sigma\ |L_i - L_{i-1}| \quad (2)$$

Efisiensi throughput terhadap kapasitas acuan dinyatakan sebagai:

$$\eta = (T_{terukur} / T_{acuan}) \times 100\% \quad (3)$$

dengan T acuan berupa kecepatan paket langganan (100 Mbps) untuk Speedtest dan batas port kabel AP untuk OpenSpeedTest (1.000 Mbps untuk Ruijie dan 100 Mbps untuk Tenda). Nilai hasil pengukuran dipetakan ke indeks TIPHON pada Tabel 3. Nilai yang berada di antara dua kategori dimasukkan ke kategori yang lebih rendah.

Tabel 3. Indeks kualitas berdasarkan standar TIPHON

Indeks	Kategori	Latensi (delay)	Jitter	Throughput (% dari bandwidth)
4	Sangat bagus	< 150 ms	0 ms	100%
3	Bagus	150 - 300 ms	> 0 - 75 ms	75%
2	Sedang	300 - 450 ms	> 75 - 125 ms	50%
1	Jelek	> 450 ms	> 125 - 225 ms	< 25%

Sumber: diadaptasi dari rujukan TIPHON [1] sebagaimana lazim dipakai pada kajian QoS di Indonesia [3], [4].

Teknik Analisis

Data Speedtest diringkas dengan statistik deskriptif (rerata, simpangan baku, minimum, dan maksimum). Normalitas diuji dengan Shapiro-Wilk. Karena data tidak berdistribusi normal ($p < 0,05$ untuk kecepatan unduh dan latensi idle pada kedua AP), perbedaan antar-sesi waktu pada setiap AP diuji dengan Kruskal-Wallis pada taraf signifikansi 0,05. Perbedaan antar-AP pada data Speedtest diuji dengan Mann-Whitney U dua arah, baik untuk seluruh uji maupun untuk setiap sesi, serta dengan Wilcoxon signed-rank pada pasangan hari dan sesi yang sama (n = 21 pasangan).

Karena perbandingan per sesi dilakukan tiga kali, taraf signifikansi per sesi dikoreksi Bonferroni menjadi 0,0167. Data Wireless Experience dianalisis secara deskriptif karena hanya tersedia untuk AP Ruijie dalam bentuk ringkasan per periode dan tidak dibandingkan dengan Tenda. Penentuan segmen bottleneck mengikuti aturan pada Tabel 4, dengan kategori rendah berarti indeks TIPHON throughput kurang dari atau sama dengan 2.

Tabel 4. Aturan Penentuan Segmen Bottleneck

Kondisi pengukuran	Interpretasi	Segmen
OpenSpeedTest tinggi, Speedtest rendah	Kapasitas WLAN memadai, penurunan terjadi setelah router	WAN/ISP
Skor jangkauan Sedang atau Buruk, RSSI di bawah -67 dBm [3], penyebab terbesar sinyal lemah	Cakupan sinyal tidak memadai	WLAN (cakupan)
Skor roaming Buruk, RSSI sebelum roaming sangat rendah	Keputusan handover terlambat atau tidak optimal	WLAN (roaming)
OpenSpeedTest rendah, RSSI baik	Kapasitas kanal, interferensi, atau keterbatasan AP	WLAN (kapasitas)
Latensi naik pada sesi tertentu saat unduh atau unggah	Antrean atau kongesti pada beban tinggi	WAN/ISP atau router
Speedtest satu AP rendah, sedangkan AP lain pada sesi yang sama jauh lebih tinggi	Penurunan khas AP tersebut (pita, sinyal, atau beban klien), bukan keterbatasan jalur WAN bersama	WLAN (spesifik AP)

Kondisi dievaluasi per AP dan per sesi atau periode.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Speedtest pada AP Tenda N301

Speedtest dijalankan pada tiga sesi per hari selama tujuh hari sehingga diperoleh 21 uji. Ringkasan per sesi disajikan pada Tabel 5 dan data mentah pada Lampiran A (Tabel A1).

Tabel 5. Ringkasan Hasil Speedtest AP Tenda N301 Per Sesi (Rerata ± Simpangan Baku, N = 7 Per Sesi)

Sesi	Unduh (Mbps)	Latensi idle (ms)	Latensi saat unduh (ms)	Latensi saat unggah (ms)
Pagi	23,53 ± 9,74	41,43 ± 26,74	68,57 ± 42,41	69,83 ± 37,73
Siang	7,86 ± 5,88	35,43 ± 10,29	47,00 ± 7,44	44,83 ± 19,83
Sore	65,55 ± 7,45	41,00 ± 12,57	132,14 ± 44,36	651,80 ± 432,74
Semua sesi	32,31 ± 26,05	39,29 ± 17,36	82,57 ± 50,18	232,18 ± 354,20

Latensi saat unggah: n = 6 (pagi), 6 (siang), 5 (sore), dan 17 (semua sesi) karena sebagian tangkapan layar tidak memuat nilainya.

Kecepatan unduh rata-rata 32,31 ± 26,05 Mbps dengan simpangan baku besar karena kinerjanya sangat bergantung pada sesi: 23,53 Mbps pada pagi, hanya 7,86 Mbps pada siang (3,86 sampai 16,45 Mbps), dan 65,55 Mbps pada sore (nilai tertinggi 79,81 Mbps). Latensi idle relatif stabil pada kisaran 25 sampai 100 ms, sedangkan latensi berbeban meningkat tajam pada sesi sore, terutama saat unggah (rerata 651,80 ms). Terhadap kecepatan maksimum Biznet 100 Mbps, rerata unduh setara 32,31% (indeks TIPHON throughput 1).

Hasil Speedtest pada AP Ruijie RAP2260(G)

Speedtest pada AP Ruijie dijalankan dengan jadwal yang sama, yaitu tiga sesi per hari selama tujuh hari sehingga diperoleh 21 uji. Ringkasan per sesi disajikan pada Tabel 6 dan data mentah pada Lampiran A (Tabel A2).

Tabel 6. Ringkasan Hasil Speedtest AP Ruijie RAP2260 (G) Per Sesi (Rerata ± Simpangan Baku, N = 7 Per Sesi)

Sesi	Unduh (Mbps)	Latensi idle (ms)	Latensi saat unduh (ms)	Latensi saat unggah (ms)
Pagi	57,76 ± 3,73	33,43 ± 8,36	111,00 ± 30,90	172,14 ± 89,34
Siang	30,66 ± 10,20	33,83 ± 9,83	80,71 ± 48,76	141,57 ± 79,12
Sore	28,84 ± 5,12	28,86 ± 5,61	123,29 ± 74,67	99,86 ± 35,15
Semua sesi	39,09 ± 15,06	31,95 ± 7,93	105,00 ± 54,85	137,86 ± 74,60

Latensi Idle: N = 7 (Pagi), 6 (Siang), 7 (Sore), Dan 20 (Semua Sesi) Karena Nilai Pada Hari 1 Siang Tertutup Overlay Aplikasi.

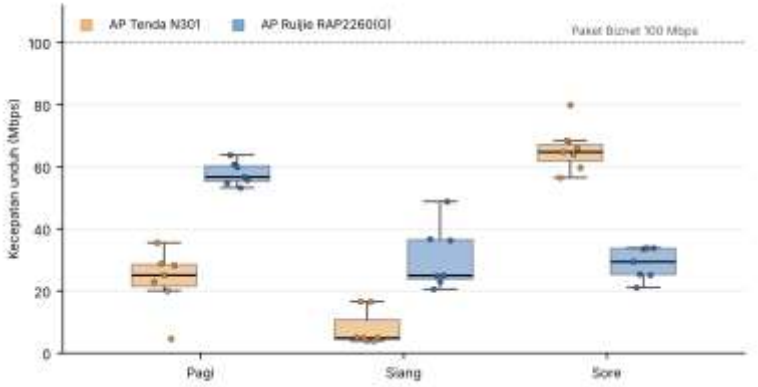
Kecepatan unduh rata-rata 39,09 ± 15,06 Mbps (rentang 20,47 sampai 63,72 Mbps), setara 39,09% dari paket Biznet 100 Mbps (indeks TIPHON throughput 1). Kecepatan tertinggi terjadi pada pagi (57,76 ± 3,73 Mbps) dan turun hampir separuh pada siang (30,66 Mbps) dan sore (28,84 Mbps); perbedaan antar-sesi signifikan (Kruskal-Wallis H = 13,37; p = 0,001). Berbeda dengan Tenda, kecepatan unduh Ruijie tidak naik pada sore. Latensi idle stabil pada kisaran 25 sampai 50 ms (rerata 31,95 ms; indeks TIPHON 4) dan tidak berbeda nyata antar-sesi (p = 0,088). Latensi saat unduh (rerata 105,00 ms) dan saat unggah (137,86 ms) juga tidak berbeda nyata antar-sesi (p = 0,258 dan 0,261); latensi saat unggah tertinggi 309 ms, dan pada sore hanya 99,86 ms. Variasi latensi idle antar-uji (Persamaan 2) sebesar 8,47 ms pada Ruijie, dibandingkan 19,30 ms pada Tenda.

Perbandingan Speedtest AP Tenda dan AP Ruijie

Tabel 7. Perbandingan Kecepatan Unduh Speedtest AP Tenda N301 Dan AP Ruijie RAP2260 (G) Per Sesi

Sesi	Tenda (Mbps)	Ruijie (Mbps)	Selisih Ruijie − Tenda (Mbps)	p (Mann-Whitney)
Pagi	23,53 ± 9,74	57,76 ± 3,73	+34,24	< 0,001
Siang	7,86 ± 5,88	30,66 ± 10,20	+22,80	< 0,001
Sore	65,55 ± 7,45	28,84 ± 5,12	−36,71	< 0,001
Semua sesi	32,31 ± 26,05	39,09 ± 15,06	+6,78	0,232

Rerata ± simpangan baku; n = 7 per sesi dan 21 untuk semua sesi. Taraf signifikansi per sesi dikoreksi Bonferroni (0,0167).



Gambar 2. Kecepatan Unduh Speedtest AP Tenda N301 Dan AP Ruijie RAP2260 (G) Per Sesi (N = 7 Per Kotak; Titik Menunjukkan Uji Individual)

Tabel 7 dan Gambar 2 membandingkan kecepatan unduh kedua AP pada sesi yang sama. Secara keseluruhan, selisih rerata 6,78 Mbps (Ruijie lebih tinggi) tidak signifikan (Mann-Whitney U, p = 0,232; Wilcoxon berpasangan pada 21 pasangan hari dan sesi, p = 0,412), tetapi angka ini menutupi pola yang berlawanan menurut sesi. Pada pagi dan siang, Ruijie lebih tinggi pada seluruh tujuh pasangan hari (selisih rerata +34,24 dan +22,80 Mbps), sedangkan pada sore Tenda lebih tinggi pada seluruh tujuh pasangan (selisih −36,71 Mbps). Ketiga perbedaan per sesi signifikan pada taraf yang dikoreksi Bonferroni (p < 0,001; n = 7 terhadap 7). Kecepatan unduh Ruijie juga lebih stabil, dengan koefisien variasi 38,5% terhadap 80,6% pada Tenda.

Pada latensi, tidak ada perbedaan antar-AP yang signifikan secara keseluruhan (latensi idle p = 0,094; saat unduh p = 0,105; saat unggah p = 0,120). Per sesi, latensi saat unggah Ruijie lebih tinggi daripada Tenda pada pagi (172,14 terhadap 69,83 ms) dan siang (141,57 terhadap 44,83 ms), tetapi jauh lebih rendah pada sore (99,86 terhadap 651,80 ms). Setelah koreksi Bonferroni hanya perbedaan pada siang yang bertahan (p = 0,005), sedangkan pagi (p = 0,035) dan sore (p = 0,018) tidak, sehingga perbandingan latensi per sesi bersifat indikatif.

Hasil Wireless Experience pada AP Ruijie

Data Wireless Experience AP Ruijie RG-RAP2260(G) dari platform manajemen Ruijie dirangkum per periode pada Tabel 8, dan distribusi penyebab pada Tabel 9.

Tabel 8. Ringkasan Wireless Experience AP Ruijie per periode

Indikator	26-28 Okt	28-30 Okt	30 Okt-1 Nov
Skor jangkauan	57% (Sedang)	58% (Sedang)	59% (Sedang)
RSSI rata-rata (dBm)	-69	-69,2	-69,1
Skor koneksi berhasil	-	-	98% (Baik)
Skor roaming	29% (Buruk)	24% (Buruk)	-
Klien roaming	23	18	-
Jumlah roaming	367	286	-
RSSI sebelum roaming (dBm)	-82	-80	-
RSSI sesudah roaming (dBm)	-75	-76	-
Waktu roaming rata-rata (ms)	-	42	-
Skor throughput	100% (Baik)	100% (Baik)	-
Keluaran rata-rata (Mbps)	13,2	19,9	-

Tanda hubung menunjukkan nilai tidak tercantum pada tangkapan layar. Grafik throughput periode 30 Okt-1 Nov tidak memuat interval buruk.

Tabel 9. Distribusi penyebab pada AP Ruijie (%)

Dimensi dan penyebab	26-28 Okt	28-30 Okt	30 Okt-1 Nov
Jangkauan: sinyal lemah	96,60	95,48	96,29
Jangkauan: uplink jelek	3,40	4,52	3,71
Roaming: suboptimal	52,85	56,25	59,67
Roaming: inter-band	30,35	29,69	25,97
Roaming: klien menempel	14,91	9,77	12,71
Roaming: ping-pong	1,36	2,73	1,10
Roaming: latensi roaming umum	0,54	1,56	0,55
Koneksi: klien dengan RSSI rendah	-	13,04	82,35
Koneksi: alamat IP tidak tersedia	-	69,57	11,76
Koneksi: batas waktu handshake 4-arah	-	17,39	5,88
Throughput: kapasitas dan interferensi	21,95	21,84	20,83

Dimensi dan penyebab	26-28 Okt	28-30 Okt	30 Okt-1 Nov
Throughput: beban band tidak seimbang	21,95	21,84	20,83
Throughput: klien Wi-Fi 1/2/3	21,95	21,84	20,83
Throughput: klien stream tunggal	21,95	21,84	20,83
Throughput: jangkauan	12,20	12,64	16,67

Skor jangkauan stabil pada kategori Sedang (57% sampai 59%) dengan RSSI rata-rata sekitar -69 dBm, dan hampir seluruh interval buruk disebabkan sinyal lemah. Skor roaming berada pada kategori Buruk (29% dan 24%) dengan ratusan kejadian roaming oleh belasan klien. Koneksi berhasil mencapai 98% pada periode terakhir, dan throughput berkategori Baik dengan keluaran rata-rata 13,2 dan 19,9 Mbps.

Hasil OpenSpeedTest Lokal

OpenSpeedTest pada server berkabel mengukur segmen WLAN tanpa pengaruh ISP, dan hasilnya dirangkum pada Tabel 10. AP Tenda diuji satu kali (n = 1) pada 1 November 2026 dengan hasil unduh 89,3 Mbps, unggah 55,7 Mbps, ping 29 ms, dan jitter 0,3 ms. Unduh tersebut setara 89,3% dari batas port Fast Ethernet 100 Mbps (Persamaan 3). AP Ruijie diuji satu kali (n = 1) pada 1 November 2026 dengan unduh 340,5 Mbps, ping 10 ms, dan jitter 0,4 ms. Unduh tersebut setara 34,05% dari batas port Gigabit 1.000 Mbps. Kecepatan unggah terbaca 206,2 Mbps sebagai pembacaan sesaat karena tangkapan layar diambil sebelum uji selesai.

Tabel 10. Hasil OpenSpeedTest lokal pada 1 November 2026 (satu uji per AP)

Metrik	AP Ruijie RAP2260(G)	AP Tenda N301
Ping (ms)	10	29
Jitter (ms)	0,4	0,3
Unduh (Mbps)	340,5	89,3
Unggah (Mbps)	206,2	55,7
Batas port kabel (Mbps)	1.000	100
Efisiensi unduh terhadap batas port (%)	34,05	89,30

Satu uji per AP (n = 1), sehingga simpangan baku dan rentang tidak dapat dihitung.

* Pembacaan sesaat pada fase unggah karena tangkapan layar diambil sebelum uji selesai.

Port LAN AP Tenda N301 hanya Fast Ethernet 10/100 Mbps, sedangkan AP Ruijie RG-RAP2260(G) dan router EG105G-V3 memakai port Gigabit [9], [10], [12]. Hasil OpenSpeedTest pada Tenda karena itu diharapkan tidak melampaui sekitar 100 Mbps, dan pada Ruijie tidak melampaui 1.000 Mbps. Perbedaan kapasitas lokal kedua AP perlu dibaca sebagai batas perangkat keras, bukan semata kualitas radio. Pada satu uji, AP Ruijie mencatat ping 10 ms dan jitter 0,4 ms, sedangkan AP Tenda 29 ms dan 0,3 ms; selisih latensi dan jitter keduanya kecil dan tidak dapat disimpulkan dari satu uji. Unduh Ruijie (340,5 Mbps) sekitar 3,8 kali Tenda (89,3 Mbps), sejalan dengan perbedaan port Gigabit dan Fast Ethernet serta standar Wi-Fi 6 dan Wi-Fi 4. Tenda mencapai 89,30% dari batas portnya, sedangkan Ruijie baru 34,05%, sehingga kapasitas Ruijie

tidak dibatasi port dan faktor yang mungkin berperan adalah kondisi sinyal, perangkat klien, atau hasil satu uji tunggal.

Penilaian Berdasarkan Indeks TIPHON dan Uji Statistik

Tabel 11. Rekapitulasi nilai dan indeks TIPHON per AP

Parameter	Tenda: nilai	Tenda: indeks	Ruijie: nilai	Ruijie: indeks
Latensi idle, Speedtest (ms)	39,29	4	31,95	4
Latensi saat unduh (ms)	82,57	4	105,00	4
Latensi saat unggah (ms)	232,18	3	137,86	4
Ping, OpenSpeedTest (ms)	29	4	10	4
Jitter, OpenSpeedTest (ms)	0,3	3	0,4	3
Throughput Speedtest (% dari paket 100 Mbps)	32,31	1	39,09	1
Throughput OpenSpeedTest (% dari batas port)	89,30	-	34,05	-
Rata-rata indeks	-	2,67 (Sedang)	-	2,67 (Sedang)

Rata-rata indeks dihitung dari latensi idle, jitter OpenSpeedTest, dan throughput Speedtest: (4 + 3 + 1)/3 = 2,67 untuk kedua AP. Throughput OpenSpeedTest tidak diindeks karena acuannya batas port, bukan paket langganan. Data Wireless Experience tidak memuat latensi.

Tabel 12. Uji Kruskal-Wallis antar-sesi pada AP Tenda N301 dan AP Ruijie RAP2260 (G)

Parameter	Tenda: H	Tenda: p	Ruijie: H	Ruijie: p
Unduh	16,19	< 0,001	13,37	0,001
Latensi idle	0,93	0,628	4,86	0,088
Latensi saat unduh	10,63	0,005	2,71	0,258
Latensi saat unggah	10,19	0,006	2,69	0,261

Berbeda signifikan pada $\alpha = 0,05$: kecepatan unduh (kedua AP) serta latensi saat unduh dan saat unggah (hanya Tenda).

Kecepatan unduh berbeda nyata antar-sesi pada kedua AP (Tenda H = 16,19; Ruijie H = 13,37), sedangkan latensi berbeban berbeda nyata antar-sesi hanya pada Tenda. Pada Ruijie,

latensi idle, saat unduh, dan saat unggah tidak berbeda nyata antar-sesi ($p \geq 0{,}088$), dengan catatan bahwa n = 7 per sesi membatasi daya uji.

Pembahasan

Cakupan sinyal. Pada AP Ruijie, RSSI rata-rata sekitar -69 dBm pada ketiga periode berada 2 sampai 4 dB di bawah ambang -65 hingga -67 dBm [3], dan skor jangkauan hanya 57% sampai 59% (Sedang). Hampir seluruh interval jangkauan buruk disebabkan sinyal lemah (95,48% sampai 96,60%), sedangkan uplink jelek hanya 3,40% sampai 4,52% (Tabel 9). Dibandingkan studi pendahuluan (skor 47%, RSSI -73,6 dBm), kondisi tujuh hari ini lebih baik tetapi tetap di bawah ambang. Karena utilisasi CPU (6%) dan memori (37%) pada studi pendahuluan rendah, kendala diduga bersumber dari cakupan dan penempatan, bukan sumber daya AP.

Roaming. Skor roaming 29% dan 24% (Buruk) disertai 367 dan 286 kejadian roaming oleh 23 dan 18 klien. RSSI sebelum roaming rata-rata -82 dan -80 dBm, jauh di bawah ambang, dan hanya membaik menjadi -75 dan -76 dBm setelah roaming, yang masih di bawah ambang. Roaming suboptimal mendominasi (52,85% sampai 59,67%), diikuti roaming inter-band (25,97% sampai 30,35%) dan klien yang menempel (9,77% sampai 14,91%), sedangkan ping-pong kecil (1,10% sampai 2,73%). Pola ini sesuai dengan masalah sticky client dan keputusan handover yang terlambat [2], [4], sehingga penyetelan ambang mobilitas dan pemanfaatan 802.11k/v/r [5] relevan.

Koneksi dan throughput Ruijie. Koneksi berhasil 98% pada periode terakhir dengan penyebab kegagalan terbesar klien ber-RSSI rendah (82,35%), yang kembali menunjuk pada cakupan sinyal. Pada periode 28-30 Oktober, kegagalan terutama berasal dari alamat IP tidak tersedia (69,57%), yang berkaitan dengan ketersediaan alamat pada server DHCP dan perlu diperiksa pada router. Throughput berkategori Baik dengan keluaran rata-rata 13,2 dan 19,9 Mbps; faktor pembatas yang dilaporkan terbagi hampir merata (sekitar 21% untuk kapasitas dan interferensi, beban band tidak seimbang, klien Wi-Fi 1/2/3, dan klien stream tunggal) dengan jangkauan 12,20% sampai 16,67%. Keluaran rata-rata menggambarkan trafik aktual, bukan kapasitas maksimum AP.

AP Ruijie (Speedtest). Kecepatan unduh Ruijie turun dari 57,76 Mbps pada pagi menjadi 30,66 dan 28,84 Mbps pada siang dan sore, padahal kapasitas lokal AP pada OpenSpeedTest mencapai 340,5 Mbps (sekitar 8,7 kali rerata Speedtest) dan batas port kabelnya 1.000 Mbps. Pada sore, Tenda pada router dan jalur Biznet yang sama mencapai 56,39 sampai 79,81 Mbps (Tabel A1), sehingga jalur WAN mampu menyalurkan jauh lebih dari 34 Mbps pada sesi tersebut. Dugaan bahwa kecepatan end-to-end Ruijie yang di bawah 100 Mbps dibatasi jalur ISP atau WAN karenanya tidak didukung pada sesi sore. Penjelasan yang lebih konsisten berada di sisi nirkabel Ruijie, yaitu RSSI rata-rata sekitar -69 dBm, roaming yang buruk, dan beban klien: data Wireless Experience mencatat 18 sampai 23 klien roaming dan faktor pembatas throughput berupa beban band yang tidak seimbang. Beban klien per sesi tidak dicatat sehingga penjelasan ini masih berupa dugaan.

AP Tenda N301. Latensi idle rata-rata 39,29 ms (indeks TIPHON 4), tetapi kecepatan unduh berbeda nyata antar-sesi (Kruskal-Wallis $H = 16{,}19$; $p < 0{,}001$): 23,53 Mbps pada pagi, 7,86 Mbps pada siang, dan 65,55 Mbps pada sore. Nilai tertinggi 79,81 Mbps mendekati batas wajar port Fast Ethernet 100 Mbps pada N301 [12], sehingga pada sesi sore batas atas diduga berasal dari kapasitas kabel, bukan radio. Rendahnya kecepatan pada siang (3,86 sampai 16,45 Mbps) pada pita tunggal 2,4 GHz yang rentan padat dan berinterferensi perlu ditelusuri lebih

lanjut, misalnya dengan pemindaian kanal Wi-Fi. Sebagai pembanding, AP Ruijie pada router dan jalur Biznet yang sama mencapai 30,66 Mbps pada sesi siang, sekitar 3,9 kali Tenda.

Latensi berbeban. Latensi saat unggah AP Tenda pada sesi sore mencapai rerata 651,80 ms (107 sampai 1.163 ms; tiga dari lima pengukuran melebihi 450 ms) dan masuk kategori Jelek menurut Tabel 3, sehingga berpotensi mengganggu aplikasi real-time seperti VoIP dan video conference ketika ada unggahan. Bersamaan dengan kecepatan unduh tertinggi, pola ini mengindikasikan antrean yang tidak terkelola saat tautan penuh, dan sejalan dengan laporan kajian terdahulu bahwa pengelolaan bandwidth memperbaiki delay dan jitter [3]. Pada Ruijie, latensi saat unggah pada sore hanya 99,86 ms (56 sampai 155 ms) dan tidak pernah melebihi 309 ms pada seluruh sesi, sehingga antrean berat saat unggah khas pada Tenda sore. Namun Ruijie tidak pernah mencapai kecepatan unduh setinggi Tenda pada sore, sehingga perbedaan ini mungkin juga mencerminkan tingkat pemakaian tautan, dan perlu diuji dengan beban yang sama.

Perbandingan kedua AP dan literatur. Karena kedua AP diukur dengan Speedtest pada sesi yang sama, keduanya dapat dibandingkan langsung, sedangkan data Wireless Experience hanya tersedia untuk Ruijie sehingga dibahas terpisah. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada AP yang unggul pada semua sesi: Ruijie unggul pada pagi dan siang, Tenda pada sore, dan selisih keseluruhan tidak signifikan ($p = 0,232$). Hasil ini tidak mendukung anggapan bahwa AP enterprise Wi-Fi 6 otomatis memberi kecepatan end-to-end lebih tinggi pada jalur 100 Mbps yang sama. Dari sisi kestabilan dan latensi berbeban, Ruijie lebih baik: koefisien variasi unduh 38,5% terhadap 80,6%, variasi latensi idle antar-uji 8,47 terhadap 19,30 ms, dan latensi saat unggah sore 99,86 terhadap 651,80 ms. Rata-rata indeks TIPHON kedua AP sama (2,67; Sedang) karena indeks throughput terhadap paket 100 Mbps pada keduanya 1. Kajian terdahulu umumnya melaporkan nilai indeks per parameter [3], [4]; penelitian ini memisahkan latensi idle dan berbeban sehingga memperlihatkan bahwa indeks latensi dapat tampak baik pada kondisi idle (indeks 4) walaupun turun pada kondisi berbeban (indeks 3 hingga 1 pada Tenda sore).

Pada pemisahan segmen, satu uji OpenSpeedTest AP Tenda (89,3 Mbps) jauh di atas rerata Speedtest (32,31 Mbps) dan terutama sesi siang (7,86 Mbps). Berdasarkan Tabel 4 hal ini mengarah ke WAN/ISP, tetapi data kedua AP menambah nuansa. Kecepatan unduh turun dari pagi ke siang pada kedua AP (Tenda sekitar 67%, Ruijie sekitar 47%), yang menunjukkan adanya komponen bersama, misalnya jalur WAN/ISP atau tingkat penggunaan gedung. Namun pada siang Ruijie tetap mencapai 30,66 Mbps, empat kali Tenda, dan pada sore Tenda mencapai 65,55 Mbps sedangkan Ruijie hanya 28,84 Mbps. Arah yang berlawanan pada sore menunjukkan penyebab yang khas AP (Tabel 4, baris terakhir), yaitu pita tunggal 2,4 GHz Tenda pada siang dan kondisi sinyal serta beban klien Ruijie pada sore, bukan jalur WAN bersama. Jitter OpenSpeedTest Tenda 0,3 ms termasuk indeks TIPHON 3. Pada AP Ruijie, OpenSpeedTest menunjukkan ping 10 ms, jitter 0,4 ms (indeks TIPHON 3), dan unduh 340,5 Mbps, jauh di atas batas 100 Mbps Tenda dan paket Biznet 100 Mbps, sehingga kapasitas lokal Ruijie bukan penghambat. Semua kesimpulan ini bersandar pada satu uji OpenSpeedTest per AP dan Speedtest yang tidak dijalankan bersamaan, sehingga perlu dikonfirmasi pada pengujian lanjutan.

Usulan Metode Penyelesaian Awal

Usulan berikut disusun bertahap dari yang paling mudah diterapkan.

1. Penempatan atau penambahan AP serta penyesuaian daya pancar agar RSSI pada area pengguna di lantai 1 dan 2 berada pada kisaran -65 hingga -67 dBm atau lebih baik [3].
2. Penyetelan ambang mobilitas dan penonaktifan data rate rendah untuk mengurangi sticky client [2], serta pemanfaatan 802.11k/v/r bila didukung perangkat [5].

3. Penyeimbangan beban band dengan mengarahkan klien berkemampuan 5 GHz ke AP Ruijie dan membatasi klien pada pita 2,4 GHz AP Tenda.
4. Pemeriksaan dan perluasan pool alamat DHCP pada router untuk mengurangi kegagalan koneksi akibat alamat IP tidak tersedia.
5. Penerapan manajemen bandwidth dan pengendalian antrean pada router, khususnya untuk menekan latensi saat unggah pada sesi sore [3].
6. Pengulangan pengujian dengan server Speedtest tetap, Speedtest kedua AP yang dijalankan bersamaan, pencatatan jitter, jumlah klien, dan pita frekuensi pada setiap uji, serta OpenSpeedTest berulang pada setiap sesi agar pemisahan segmen WLAN dan WAN dapat dipastikan.

KESIMPULAN

1. AP Tenda N301 mencapai kecepatan unduh rata-rata 32,31 ± 26,05 Mbps dan latensi idle 39,29 ms (indeks TIPHON 4), dengan kinerja sangat bergantung pada sesi: 7,86 Mbps pada siang, 65,55 Mbps pada sore, dan latensi saat unggah sore rata-rata 651,80 ms. Terhadap paket 100 Mbps, unduh setara 32,31% (indeks throughput 1), dengan rata-rata indeks TIPHON 2,67 (Sedang). Jitter pada OpenSpeedTest 0,3 ms (satu uji).
2. AP Ruijie RAP2260(G) mencapai kecepatan unduh rata-rata 39,09 ± 15,06 Mbps (indeks throughput 1) dan latensi idle 31,95 ms (indeks TIPHON 4), lebih stabil daripada Tenda tetapi turun dari 57,76 Mbps pada pagi menjadi 28,84 Mbps pada sore. Data Wireless Experience menunjukkan skor jangkauan 57% sampai 59% (Sedang) dengan RSSI rata-rata sekitar -69 dBm dan skor roaming 24% sampai 29% (Buruk) dengan RSSI sebelum roaming -80 sampai -82 dBm.
3. Tidak ada AP yang unggul pada semua sesi: Ruijie lebih cepat pada pagi dan siang (selisih +34,24 dan +22,80 Mbps), Tenda lebih cepat pada sore (selisih −36,71 Mbps), dan selisih keseluruhan tidak signifikan ($p = 0,232$). Rata-rata indeks TIPHON keduanya sama (2,67; Sedang), sedangkan Ruijie lebih stabil dan memiliki latensi saat unggah sore yang jauh lebih rendah (99,86 terhadap 651,80 ms). Bottleneck Ruijie berada di sisi nirkabel (cakupan sinyal, roaming, dan kemungkinan beban klien), bukan pada kapasitas lokal (340,5 Mbps pada satu uji OpenSpeedTest) maupun jalur WAN pada sesi sore, sedangkan Tenda dibatasi port Fast Ethernet 100 Mbps dan pita tunggal 2,4 GHz.
4. Perbaikan awal diusulkan secara bertahap sebagaimana Subbab 4.8, meliputi penataan cakupan, penyetelan roaming, penyeimbangan band, pemeriksaan DHCP, dan pengendalian antrean.

DAFTAR PUSTAKA

K. Košťál, R. Bencel, M. Ries, P. Trúchly, and I. Kotuliak, “High Performance SDN WLAN Architecture,” *Sensors*, vol. 19, no. 8, p. 1880, Apr. 2019, doi: 10.3390/s19081880.

D. Bankov, E. Khorov, A. Lyakhov, and M. Sandal, “Enabling real-time applications in Wi-Fi networks,” *Int. J. Distrib. Sens. Netw.*, vol. 15, no. 5, p. 155014771984531, May 2019, doi: 10.1177/1550147719845312.

S. M. M. Gilani, T. Hong, W. Jin, G. Zhao, H. M. Heang, and C. Xu, “Mobility management in IEEE 802.11 WLAN using SDN/NFV technologies,” *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2017, no. 1, p. 67, Dec. 2017, doi: 10.1186/s13638-017-0856-9.

A. Alnazir, R. A. Mokhtar, H. Alhumyani, E. S. Ali, R. A. Saeed, and S. Abdel-khalek, "Quality of Services Based on Intelligent IoT WLAN MAC Protocol Dynamic Real-Time Applications in Smart Cities," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2021, no. 1, Jan. 2021, doi: 10.1155/2021/2287531.

I. J. Umoren and S. B. Okon, "A Multidimensional Fuzzy Knowledge-based System for Optimizing Wireless Local Area Networks Performance," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 183, no. 1, pp. 8–19, May 2021, doi: 10.5120/ijca2021921238.

M. Merluzzi, G. Di Poce, and P. Di Lorenzo, "Semantic and Goal-Oriented Wireless Network Coverage: The Area of Effectiveness," *IEEE Communications Magazine*, vol. 64, no. 6, pp. 142–147, Jun. 2026, doi: 10.1109/MCOM.001.2500280.

Y. Ullah *et al.*, "A survey on AI-enabled mobility and handover management in future wireless networks: key technologies, use cases, and challenges," *Journal of King Saud University Computer and Information Sciences*, vol. 37, no. 4, p. 47, Jun. 2025, doi: 10.1007/s44443-025-00048-9.

J. V. Cervantes-Bazán *et al.*, "Proactive Cross-Layer Framework Based on Classification Techniques for Handover Decision on WLAN Environments," *Electronics (Basel).*, vol. 11, no. 5, p. 712, Feb. 2022, doi: 10.3390/electronics11050712.

F. Akhter, N. Funabiki, E. E. Htet, B. Wu, D. Kong, and S. Fang, "An Interface Setup Optimization Method Using a Throughput Estimation Model for Concurrently Communicating Access Points in a Wireless Local Area Network," *Sensors*, vol. 23, no. 14, p. 6367, Jul. 2023, doi: 10.3390/s23146367.

R. Azoulay, E. Edery, Y. Haddad, and O. Rozenblit, "Machine learning techniques for received signal strength indicator prediction," *Intelligent Data Analysis*, vol. 27, no. 4, pp. 1167–1184, Jul. 2023, doi: 10.3233/IDA-226750.

Q. Xia and M. Hamdi, "Smart sender: a practical rate adaptation algorithm for multirate IEEE 802.11 WLANs," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 7, no. 5, pp. 1764–1775, May 2008, doi: 10.1109/TWC.2008.061047.

Z. Zhou and H.-W. Huang, "Closed-Loop Transmission Power Control for Reliable and Low-Power BLE Communication in Dynamic IoT Settings," *IEEE Internet Things J.*, vol. 13, no. 1, pp. 1216–1228, Jan. 2026, doi: 10.1109/JIOT.2025.3627414.

H. F. Mohsin, K. A. Kadhim, and Z. N. Khudhier, "Study and performance analysis of received signal strength indicator (RSSI) in wireless communication systems," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 6, no. 4, pp. 195–200, Jul. 2019, doi: 10.14419/ijet.v6i4.29558.

D. Halperin, W. Hu, A. Sheth, and D. Wetherall, "Predictable 802.11 packet delivery from wireless channel measurements," in *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2010 conference*, New York, NY, USA: ACM, Aug. 2010, pp. 159–170. doi: 10.1145/1851182.1851203.

O. Ibidunmoye, F. Hernández-Rodriguez, and E. Elmroth, "Performance Anomaly Detection and Bottleneck Identification," *ACM Comput. Surv.*, vol. 48, no. 1, pp. 1–35, Sep. 2015, doi: 10.1145/2791120.

C. Miao, J. Wang, H. Wang, J. Zhang, W. Zhou, and S. Liu, "A Multi-dimension Measurement Study of a Large Scale Campus WiFi Network," in *2018 IEEE 43rd Conference on Local Computer Networks (LCN)*, IEEE, Oct. 2018, pp. 351–359. doi: 10.1109/LCN.2018.8638246.

Y.-C. Cheng, J. Bellardo, P. Benkö, A. C. Snoeren, G. M. Voelker, and S. Savage, "Jigsaw," in *Proceedings of the 2006 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, New York, NY, USA: ACM, Aug. 2006, pp. 39–50. doi: 10.1145/1159913.1159920.

W. Dang, T. Yu, H. Wang, J. Xue, F. Li, and J. Wang, "PerfMon: Measuring application-level performance in a large-scale campus wireless network," *China Communications*, vol. 20, no. 3, pp. 316–335, Mar. 2023, doi: 10.23919/JCC.2023.03.021.

G. Patounas, X. Foukas, A. Elmokashfi, and M. K. Marina, "Characterization and Identification of Cloudified Mobile Network Performance Bottlenecks," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 17, no. 4, pp. 2567–2583, Dec. 2020, doi: 10.1109/TNSM.2020.3018538.