

ANALYSIS OF WIRELESS NETWORK SIMULATION BASED ON OPENWRT AND PFSENSE WITH QUALITY OF SERVICE INDICATORS ON LOW-COST NETWORK INFRASTRUCTURE

Ahmad Mishbahuddin¹, Puspanda Hatta², Cucuk Wawan Budiyo³

^{1,2,3}Informatics and Computer Engineering Education, Faculty of Teacher Training and Education, Universitas Sebelas Maret, Indonesia

Email: ¹ahmadmishbah@student.uns.ac.id, ²hatta.puspanda@staff.uns.ac.id, ³cbudiyanto@staff.uns.ac.id

(Article received: October 24, 2024; Revision: December 06, 2024; published: December 29, 2024)

Abstract

The need for high network traffic in Indonesia with the challenge of geographical topology that is difficult to reach makes the majority of internet network users access via wireless networks with limited budgets, resulting in poor internet QoS in Indonesia. An available solution to optimize low-cost network quality is to use the OpenWRT, open source router operating system with a focus on ease of application implementation in network projects. Another solution is pfSense, which is an open source router operation with a firewall network security focus to prevent intrusion. These two operating systems have different comparison methods in performance testing, making it difficult to make decisions about the performance differences between the two operating systems. This study aims to analyze the difference in performance and significance of open source operating systems with different development focuses on low-cost wireless network services. Analysis obtained from the quality of service measurement method on OpenWRT and Pfsense router operating systems on users that connected to a simulated wireless network topology. Data was collected by sending data between a number of users to the server and vice versa using iperf3 and mtr tools. The data consisted of QoS parameters: throughput, delay, jitter, and packet loss. The data shows that there are significant differences in several QoS parameters in the service of a number of users between the OpenWRT and PfSense operating systems. The results of this study show the limitations of each operating system in its implementation in low-cost wireless networks.

Keywords: *openwrt, pfsense, QoS, wireless.*

ANALISIS SIMULASI JARINGAN NIRKABEL BERBASIS OPENWRT DAN PFSENSE DENGAN INDIKATOR QUALITY OF SERVICE PADA INFRASTRUKTUR JARINGAN BERBIAYA RENDAH

Abstrak

Kebutuhan trafik jaringan yang tinggi di Indonesia dengan tantangan topologi geografis yang sulit dijangkau membuat mayoritas pengguna jaringan internet mengakses melalui jaringan nirkabel dengan anggaran yang terbatas, mengakibatkan QoS jaringan internet di Indonesia buruk. Solusi yang tersedia untuk mengoptimalkan kualitas jaringan biaya rendah adalah dengan menggunakan sistem operasi router *open source* OpenWRT dengan fokus kemudahan implementasi aplikasi pada proyek jaringan. Solusi lainnya adalah pfSense yaitu operasi router *open source* dengan fokus keamanan jaringan *firewall* untuk mencegah intrusi. Kedua sistem operasi ini memiliki metode perbandingan yang berbeda dalam pengujian performanya sehingga sulit mengambil keputusan mengenai perbedaan performa kedua sistem operasi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan performa dan signifikansi sistem operasi *open source* dengan fokus pengembangan yang berbeda pada pelayanan jaringan nirkabel berbiaya rendah. Analisis didapat dari metode pengukuran *quality of service* oleh sistem operasi router OpenWRT dan Pfsense pada pelayanan user yang terhubung ke simulasi topologi jaringan nirkabel. Data diambil melalui pengiriman data antara sejumlah *user* menuju ke server dan sebaliknya menggunakan alat iperf3 dan mtr. Data terdiri atas parameter QoS: *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss*. Data menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan pada beberapa parameter QoS pada pelayanan sejumlah *user* antara sistem operasi OpenWRT dan PfSense. Hasil dari penelitian ini menunjukkan keterbatasan masing – masing sistem operasi dalam implementasinya pada jaringan nirkabel berbiaya rendah.

Kata kunci: *nirkabel, openwrt, pfsense, QoS.*

1. PENDAHULUAN

Jumlah pengguna internet di Indonesia sejumlah lebih dari 221 jiwa atau 79,50% dari total penduduk Indonesia, dari jumlah tersebut 74,27% pengguna internet terhubung melalui jaringan seluler dengan mayoritas trafik adalah streaming multimedia [1]. Hal ini memaksa infrastruktur jaringan untuk dapat mengatasi kebutuhan tersebut secara real time [2]. Berbalik dari kebutuhan yang tinggi, anggaran dari pengguna maupun ISP termasuk kecil, dimana 61,61% ISP di Indonesia adalah usaha mikro yang memiliki sumber daya yang terbatas. Tingginya kebutuhan, fokus pada penetrasi, dan kurangnya sumber daya infrastruktur oleh ISP di Indonesia menyebabkan minimnya kualitas internet di Indonesia [3].

Kualitas jaringan dapat ditentukan dengan parameter Quality of Service atau QoS yang direkomendasikan oleh ETSI [4] dengan parameter *throughput*, persentase *packet loss*, *delay* dan *jitter* [5]. Parameter ini memudahkan pengguna jaringan dan ISP untuk mengidentifikasi performa jaringan secara akurat [6], [7]. Kualitas internet di Indonesia jauh tertinggal dari kualitas global dengan median unduh sebesar 29,40Mbps dan median unggah sebesar 13,63Mbps pada seluler, sementara untuk broadband memiliki median 32,06 Mbps unduh dan 19,37Mbps unggah [8]. Nilai ini jauh dari median unduh internasional yaitu 22,08Mbps untuk seluler dan 93,99Mbps untuk broadband [9]. Oleh karena itu diperlukan solusi untuk meningkatkan QoS pada jaringan internet di Indonesia dengan biaya rendah.

Penelitian menunjukkan bahwa jaringan berbiaya rendah dapat memiliki kualitas mendekati performa jaringan *mainstream* [10]. Hal ini memungkinkan untuk peningkatan kualitas internet dengan menggunakan investasi yang minim terutama dalam perusahaan kecil dan menengah [11]. Penelitian [12] menunjukkan bahwa jaringan *low cost* dapat digunakan untuk melayani user dengan jangkauan yang luas. Solusi ini cocok untuk diterapkan di Indonesia karena bentuk topologi geografis Indonesia yang kepulauan menjadi tantangan dalam penetrasi jaringan di Indonesia [13] dimana jaringan lebih fleksibel dengan mobilitas yang tinggi [14].

Beberapa penelitian terkini menunjukkan kualitas dan efektifitas jaringan nirkabel dalam transmisi jaringan. Dalam [15] dilakukan pengujian QoS dengan fokus *throughput* pada jaringan seluler di Indonesia, 2G, 3G dan 4G dengan hasil mirip dengan yang dilaporkan oleh [13] Sementara pada jaringan lokal, banyak digunakan standar jaringan nirkabel seperti IEEE 802.11 [16]. Pada [2], [17] menunjukkan bahwa efektifitas jaringan nirkabel dapat ditingkatkan dengan optimalisasi algoritma kongesti. Pada penelitian [18] dieksplorasi kemampuan nirkabel sebagai backhaul dalam jaringan di daerah tertinggal yang berhasil memenuhi

kriteria kunci performa dari ITU-T. Pada [19] dilakukan pengujian QoS internet pada jaringan WLAN dimana ditemukan bahwa walaupun *throughput* pada jaringan konsisten, hasil *packet loss* tidak konsisten, menunjukkan bahwa diperlukan uji QoS secara lengkap untuk mendeskripsikan kualitas jaringan secara lebih akurat. Pada [20] dan [21] dilakukan uji jaringan nirkabel dengan perangkat keras dan topologi yang sama namun dengan sistem operasi yang berbeda, yaitu dengan OpenWRT dan firmware original router, menghasilkan QoS yang sama kecuali pada *delay* mengindikasikan adanya perbedaan melalui perubahan sistem operasi router pada jaringan nirkabel.

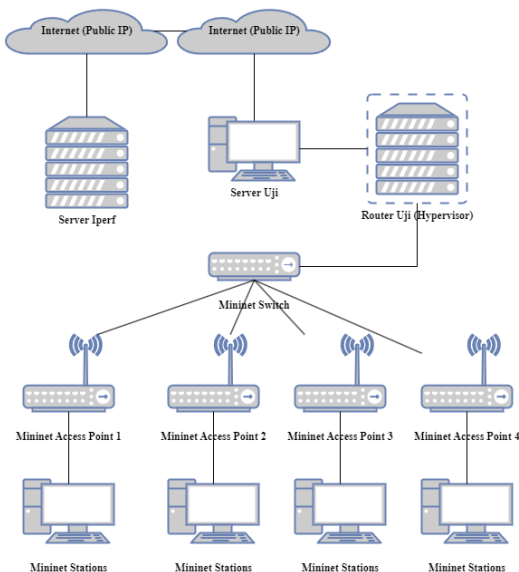
Dalam beberapa penelitian dengan implementasi sistem operasi OpenWRT, memberikan informasi mengenai QoS jaringan pada implementasinya di jaringan utamanya sebagai testbed penelitian. Pada penelitian [22] menunjukkan perbedaan performa QoS dalam koneksi VPN pada implementasinya dalam OpenWRT dibandingkan dengan beberapa sistem simulasi lainnya. Sedangkan dalam [23] OpenWRT digunakan untuk testbed dalam tunneling dalam rangka mengamankan jaringan IoT. Dalam [24] dibandingkan performa QoS SDN dalam menangani trafik antara OpenWRT dan lede pada performa SDN ONOS, Floodlight, dan Ryu. Hal yang sama dilakukan oleh [25] dimana OpenWRT digunakan sebagai platform untuk pengembangan SDN pada etherCAT. Dalam [12] OpenWRT digunakan dalam topologi wireless mesh dengan analisis performa QoS untuk meningkatkan penetrasi jangkauan jaringan nirkabel. Penelitian implementasi openWRT berbeda fokusnya dengan penelitian yang menggunakan pfSense.

Dalam beberapa penelitian dengan implementasi sistem operasi PfSense, lebih fokus pada memberikan informasi mengenai ketepatan dalam deteksi intrusi dan keamanan jaringan berbiaya rendah. Pada [26] diterapkan pfSense pada jaringan nirkabel di lingkungan universitas dengan hasil terdapat keuntungan dengan melakukan transisi ke pfSense dengan biaya yang terjangkau dan meningkatnya keamanan dengan IDS. Pada [27] dilakukan aplikasi deep neural network pada pfSense dengan fokus perbandingan pada ketepatan akurasi dan penurunan error melalui suricata dengan hasil bahwa pfSense berhasil mendeteksi serangan dengan akurasi sangat tinggi, hal ini dikonfirmasi juga dengan [28] dengan pengujian serangan ke jaringan pfSense yang berhasil dideteksi oleh snort dan berhasil dilakukan pemblokiran. Pada [29] dibandingkan beberapa solusi keamanan jaringan dengan pfSense memiliki hasil serupa dengan solusi lainnya. Sedangkan dalam [30] kualitas QoS jaringan dianalisa pada jaringan yang sedang aktif diserang, menunjukkan bahwa performa pfSense lebih stabil dalam kondisi tersebut dibandingkan dengan jaringan tanpa PfSense.

Berdasarkan studi sebelumnya, studi ini terdapat keunikan dimana difokuskan kepada komparasi QoS pada jaringan wireless antara OpenWRT dan PfSense, dimana keduanya memiliki fokus yang berbeda dalam pengembangannya sehingga dapat didefinisikan apakah perbedaan fokus ini berimbas kepada kualitas layanan jaringan. Fokus penelitian ini berbeda dengan penelitian lain dimana OpenWRT dibandingkan dengan implementasi solusi rendah biaya lainnya sedangkan pfSense dibandingkan dengan solusi penanganan intrusi jaringan lainnya. Dengan fokus perbandingan QoS pada OpenWRT dan PfSense, penelitian ini mengeksplorasi aspek yang tertinggal dari studi lainnya. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan oleh pengguna dan penyedia infrastruktur jaringan untuk mengevansi penggunaan OpenWRT dan PfSense pada topologi jaringan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan simulasi jaringan mininet wifi [31], [32] untuk mensimulasikan topologi jaringan nirkabel pada gambar 1. Kedua router yang diuji menangani user yang ada pada topologi simulasi. Topologi ini menggunakan 2 server, satu sebagai server uji dan yang lainnya server iperf3. Server uji memvirtualisasi *hardware* untuk sistem operasi router yang diuji dan melakukan proses simulasi jaringan. Konfigurasi *hardware* virtual ini identik kepada 2 router karena menurut [33] perbedaan hasil akibat perbedaan *hardware* sangat minim, jadi dengan *hardware* virtual identik maka selisih akibat emulasi *hardware* dapat diabaikan. Setiap sistem operasi router memiliki virtualisasi *hardware* pada tabel 1 dan dipasang sesuai dengan metode yang dianjurkan oleh pengembangnya. Fungsi server iperf adalah untuk menerima request koneksi yang dikirim oleh setiap user yang sedang mengadakan pengujian tanpa adanya batasan apapun.

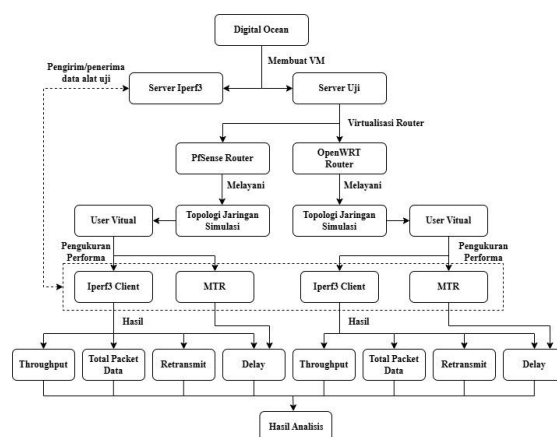


Gambar 1. Topologi Jaringan Simulasi

Tabel 1. Spesifikasi Virtual Hardware Router

Spesifikasi	Ukuran
CPU	1 Core
RAM	512 MB
HardDisk	5GB
Network Controller 1	Virtio (NAT)
Network Controller 1	Virtio (Isolated)

Pengumpulan data dilakukan dengan flowchart pada gambar 2. Setelah membuat topologi pada gambar 1, metode pengujian dilakukan melalui user virtual yang terhubung. Pengujian secara linear dilakukan pada user dengan jumlah 10-50 untuk menentukan pengaruh bertambahnya beban pada kedua router tersebut. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali setiap tingkat linearitas jumlah user untuk mendapat nilai rata rata dari parameter uji.



Gambar 2. Flowchart Pengujian

Pengujian ini menggunakan alat iperf3 dan MTR. Iperf3 memiliki kemampuan untuk melakukan request kepada server iperf untuk mengirim atau menerima data tergantung pada konfigurasi yang dikirimkan sehingga dapat dilakukan uji unduh dan unggah. Iperf3 menghasilkan file json berisi parameter QoS pada pengujian. Dalam pengujian pada penelitian sebelumnya [22], [23], [24], [30], [34], [35] juga digunakan iperf untuk uji QoS.

Sementara MTR digunakan untuk menguji round trip time atau RTT pada saat yang bersamaan dengan iperf3 melakukan uji unduh atau unggah. MTR mengukur *delay* pada maksimum, minumum dan average, serta standar deviasinya sehingga memenuhi standar pengukuran *delay* oleh [4].

Data hasil pengujian dianalisa untuk mendapatkan paramater kunci QoS yaitu *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *paket loss*. Untuk *throughput*, *delay*, dan *jitter* telah ada pada laporan Iperf3 dan MTR. Untuk menentukan jumlah packet loss, diambil dari perbandingan antara total paket data dan jumlah paket retransmit karena pengujian menggunakan koneksi TCP.

Selanjutnya, dari hasil yang didapat dalam parameter QoS kedua sistem operasi dibandingkan dan didefinisikan apakah terdapat perbedaan signifikan pada QoS sistem operasi openWRT dan PfSense dalam menangani jumlah user tertentu atau tidak melalui uji T. Uji T dilakukan karena uji ini

memasukkan deviasi setiap data pada pertimbangan signifikansi sehingga efektif dalam menentukan signifikansi data pada jumlah sampel yang besar pada penelitian ini..

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan jaringan nirkabel berbiaya rendah yang dicapai dengan menggunakan SDN dan perbandingan performa antara 2 sistem operasi open source yang memiliki fokus berbeda dalam pengembangannya yaitu OpenWRT dan PfSense.

Masing - masing sistem operasi pada router ini melayani simulasi jaringan nirkabel yang ditunjukkan pada gambar 1. Hasil data diambil dengan alat iperf3 dan MTR pada sudut pandang user dalam topologi simulasi.

3.1. Data Hasil Uji

Hasil rata rata dari 10 kali pengujian troughput pada 10 sampai 50 user antara router dengan sistem operasi OpenWRT dan PfSense dijabarkan dalam tabel 2.

Tabel 2. Hasil Troughput Unduh

Tabel 2. Hasil Throughput Unduh				
Total User	OpenWRT		PfSense	
	Throughput (bit/s)			
	Unduh	Unggah	Unduh	Unggah
10	20527286	31517012	19136180	19837218
20	6733810	11163648	6660921	10031426
30	3864906	5684822	3636957	5369676
40	2742352	3745598	2439804	3475280
50	2162027	2481989	1860364	2681254

Adapun hasil RTT pada uji unduh dalam pengujian iperf3 ditunjukkan pada tabel 3. Data diambil dari rata rata 10 kali pengujian setiap jumlah user. Hasil pada uji iperf3 unggah tidak merekam RTT dimana nilai maksimum, minimum, dan mean adalah 0 sehingga tidak disertakan dalam analisis. Sebagai gantinya digunakan hasil MTR untuk analisis hal tersebut.

Tabel 3. Hasil Round Trip Time Unduh Iperf3

User	Round Trip Time (milisekon)					
	OpenWRT			PfSense		
	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean
10	265,29	178,40	209,81	213,47	175,94	187,09
20	301,00	188,73	238,92	241,52	180,42	205,46
30	353,43	197,08	269,57	302,50	188,56	236,15
40	440,52	219,66	324,04	342,92	209,40	271,11
50	505,15	247,52	369,82	421,65	236,85	323,79

Adapun hasil RTT pada uji unduh dalam pengujian MTR ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Round Trip Time Unduh MTR

User	OpenWRT			PfSense		
	Round Trip Time (milisekon)					
	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean
10	295,81	173,35	193,44	234,81	173,43	184,11
20	348,83	173,46	215,54	270,57	173,73	200,78
30	435,52	174,40	257,90	365,41	175,21	231,80
40	541,62	184,50	320,39	415,37	180,47	262,29
50	625,77	199,09	367,52	521,76	197,74	319,42

Hasil RTT pada uji unggah dalam pengujian MTR ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Round Trip Time Unggah MTR

User	OpenWRT			PfSense		
	Round Trip Time (milisekon)					
	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean
10	232,59	173,33	187,81	201,87	173,38	179,20
20	270,61	173,65	202,61	225,46	174,07	192,82
30	285,92	176,33	217,74	277,12	178,98	214,91
40	322,99	183,53	244,27	311,03	188,33	241,49
50	372,67	198,61	276,39	404,94	203,39	281,55

Hasil standar deviasi RTT pada uji pengujian MTR ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Standar Deviasi RTT MTR

Total user	OpenWRT		PfSense	
	Standar Deviasi (milisekon)			
	Unduh	Unggah	Unduh	Unggah
10	30,00	14,81	13,95	6,63
20	45,72	25,18	24,41	12,63
30	67,59	28,92	44,64	22,59
40	89,93	36,01	55,68	30,41
50	101,20	44,59	75,05	48,61

Hasil *packet loss* diambil dari pembagian jumlah packet yang mengalami retransmit dan total paket yang dikirim. Hasil rata rata dari *packet loss* dari 10 kali pengujian ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Persentase Packet Loss

Total User	OpenWRT		PfSense	
	%Packet Loss			
	Unduh	Unggah	Unduh	Unggah
10	4,76	0,12	3,46	2,76
20	4,16	0,30	3,24	1,72
30	4,05	0,52	4,71	2,22
40	5,93	0,69	5,76	3,38
50	5,71	1,06	6,93	4,85

Signifikansi didapat dari uji T pada semua data hasil penelitian. Hasil signifikansi pada parameter QoS dijabarkan pada tabel 8. adapun pada tabel berwarna tidak signifikan karena standar deviasi keduanya adalah 0.

Tabel 8. Hasil Uji T dan Signifikansi

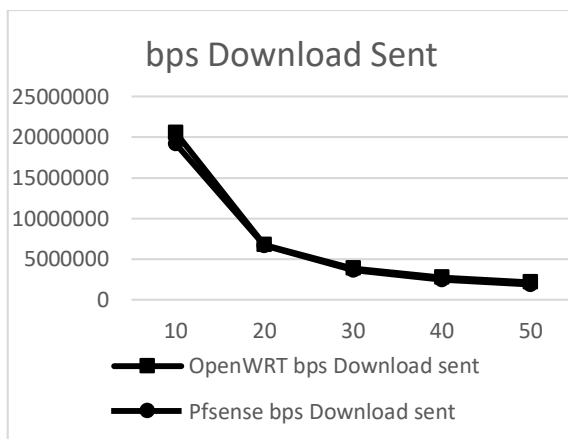
Jumlah User	10		20		30		40		50	
	Sig	P	Sig	P	Sig	P	Sig	P	Sig	P
Upload	Ya	0,00	Tidak	0,41	Tidak	0,59	Tidak	0,45	Tidak	0,28
Troughput Download	Tidak	0,58	Tidak	0,92	Tidak	0,47	Tidak	0,17	Ya	0,03
Troughput Iperf3 Max	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00
Iperf3 Min	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00
Iperf3	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00

Avg											
MTR	Max	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00
Download											
MTR	Min	Tidak	0,00	Tidak	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Tidak	0,42
Download											
MTR	Avg	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00
Download											
MTR	Max	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00
Upload											
MTR	Min	Tidak	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00
Upload											
MTR	Avg	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00
Upload											
Upload	STD	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00
RTT											
Download		Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00
RTT STD											
Upload		Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,00
Packet Loss											
Download		Ya	0,00	Ya	0,00	Ya	0,01	Tidak	0,57	Ya	0,00
Packet Loss											

3.2. Troughput

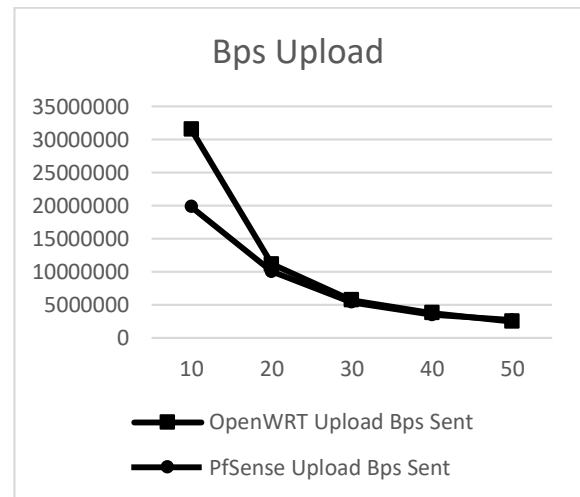
Dalam uji *troughput*, dilakukan analisa dengan menghitung besar rata rata data dikirim per satuan waktu. Nilai lebih besar menunjukkan hasil yang lebih baik.

Dari pengujian iperf selama 10 detik pada sejumlah user terlihat dari gambar 3, ukuran transfer data yang diterima oleh OpenWRT dan PfSense besarnya identik. Jumlah ini mengecil seiring dengan bertambahnya jumlah user yang terhubung dengan jaringan router. Penurunan paling besar terjadi pada peningkatan jumlah user dari 10 user ke 20 user. Tidak ada perbedaan signifikan pada penanganan 10-40 user. Dalam penanganan pada 50 user terdapat perbedaan signifikan dimana OpenWRT mengirim data 301,66Kbps lebih cepat daripada PfSense.



Gambar 3. Grafik Throughput Unduh

Dalam pengujian unggah, melalui gambar 4 terlihat dari kecepatan transfer unggah ini OpenWRT memimpin secara signifikan pada pelayanan 10 user dengan rata rata perbedaan 11,67 Mbps. Selisih rata rata ini menurun seiring dengan bertambahnya user. Performa pada 20-50 user identik tanpa adanya perbedaan yang signifikan pada kedua router.



Gambar 4. Grafik Throughput Unggah.

3.3. Delay

Pada analisa *delay* pada jaringan dilakukan dengan identifikasi rata rata lama round trip time. Nilai RTT lebih kecil menunjukkan hasil lebih baik..

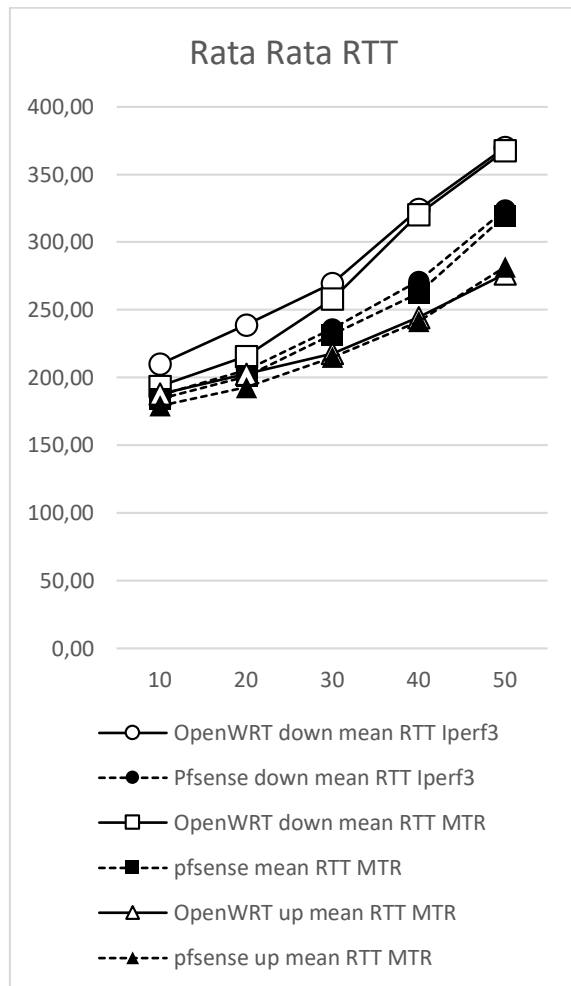
3.3.1. Rata Rata RTT

Dari gambar 5 terlihat bahwa dari hasil uji iperf3 dalam pelayanan semua jumlah user, pfSense secara signifikan memiliki RTT lebih kecil dari OpenWRT dengan selisih rata rata 37,70 ms. Hal ini mengindikasikan responsifitas koneksi pada PfSense yang lebih tinggi dari OpenWRT. Hal yang sama ditunjukkan pada rata rata RTT unduh pada uji MTR.

Performa yang dilaporkan oleh mtr menunjukkan bahwa selisih performa membesar seiring dengan jumlah user yang dilayani dengan selisih dari 10 – 50 user adalah 9, 12, 26, 58, dan 48ms. Hal ini menguatkan hasil pembahasan sebelumnya karena dalam uji mtr ini, pfSense memiliki keunggulan lebih dalam menangani user lebih banyak.

Pada uji unggah MTR menunjukkan bahwa hanya terdapat sedikit perbedaan dalam semua

jumlah user. Perbedaan pada 10 - 40 user, PfSense secara signifikan memiliki rata rata lebih rendah dari OpenWRT sebesar 6,00 ms. Pada 50 user, OpenWRT berbalik memiliki rata rata *delay* lebih rendah 5,15ms. Signifikansi ini disebabkan konsistensi data yang tinggi dengan standar deviasi hanya 1,77ms sehingga perbedaan kecil dalam rata rata data dapat membuat perbedaan menjadi signifikan.



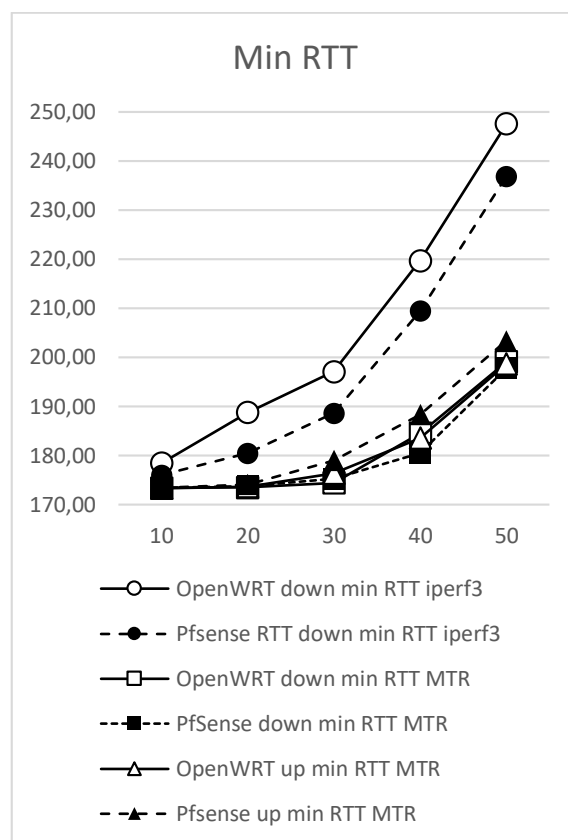
Gambar 5. RTT Rata Rata OpenWRT dan PfSense

3.3.2. Minimum RTT

Skala gambar 6 dimulai dari 170-250 ms karena hasil perbedaan minimum RTT sangat tipis. Dari gambar 8 terlihat pada uji iperf3 bahwa pada semua jumlah user, kedua sistem operasi memiliki perbedaan minimum RTT yang tipis dengan selisih rata rata hanya 8,04 ms. Walaupun begitu pada semua jumlah user, PfSense memiliki performa yang lebih baik secara signifikan dibandingkan OpenWRT. Signifikansi ini terjadi karena standar deviasi pada minimum RTT sangat kecil dengan rata rata 6,25 ms. Hal ini mengindikasikan bahwa PfSense lebih baik dalam transmisi paket data pada kondisi kongesti minimal.

Sementara hasil RTT unduh antara OpenWRT dan PfSense pada uji MTR sangat tipis pada semua user. Hal ini sejalan dengan hasil yang ditunjukkan

oleh iperf3 namun dengan konsistensi yang berbeda. Pada tes ini, pfSense tidak lagi secara konsisten memiliki minimum RTT lebih rendah dari OpenWRT. Pada pelayanan 10,20, dan 50 user, tidak terdapat perbedaan performa yang signifikan. Namun dalam 30 dan 40 user terdapat perbedaan signifikan. Minimum RTT OpenWRT lebih besar dalam penanganan 30 user dengan selisih rata rata 0,82 ms, sementara pfsense kembali unggul pada 40 user dengan selisih rata rata 4,03 ms. Signifikansi ini terjadi karena standar deviasi yang minim dengan selisih deviasi rata rata adalah 2,96 ms, ditambah sampel dengan jumlah besar menjadikan hasil menjadi signifikan walau dengan perbedaan rata rata kecil.



Gambar 6. RTT Minimum RTT pada OpenWRT dan PfSense

Terakhir untuk minimum RTT pada unggah, OpenWRT memiliki selisih semakin besar seiring dengan bertambahnya jumlah user. Perbedaan ini memiliki selisih yang sangat tipis. Pada uji ini tidak ada perbedaan signifikan pada 10 user, namun terdapat perbedaan signifikan pada 20-50 user dengan rata rata selisih 3,16ms dengan rata rata standar deviasi 1,03 ms. Perbedaan standar deviasi yang kecil ini membuat pengaruh perbedaan rata rata menjadi lebih signifikan..

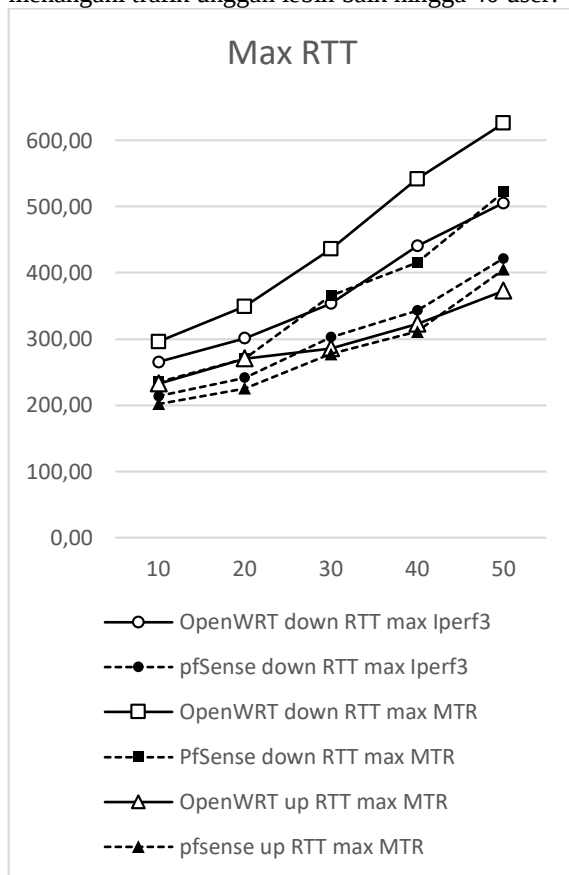
3.3.3. Maksimum RTT

Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa maksimum RTT OpenWRT pada saat unduh pada iperf3 konsisten lebih tinggi secara signifikan dari PfSense dengan rata rata 68,66 ms lebih tinggi. Ini

mengindikasikan PfSense lebih efisien menangani transmisi ketika terjadi kongesti.

Hal ini juga dikonfirmasi pada hasil MTR dimana RTT OpenWRT konsisten lebih tinggi secara signifikan daripada PfSense pada semua jumlah user dengan selisih rata rata 87,93 ms.

Pada saat unggah, maksimum unggah RTT dari OpenWRT menunjukkan waktu lebih lama yang signifikan daripada PfSense pada pelayanan 10-40 user, dengan perbedaan besar pada 10 dan 20 user dengan selisih 30,72 dan 45,15 ms. Perbedaan ini berkurang pada layanan 30 dan 40 user dengan hanya 8,80ms dan 11,96ms namun selisih ini tetap signifikan. Pada pelayanan 50 user, pfSense berganti memiliki maksimum *delay* lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa dalam kondisi kongesti, pfSense menangani trafik unggah lebih baik hingga 40 user.



Gambar 7. RTT Maksimum RTT pada OpenWRT dan PfSense.

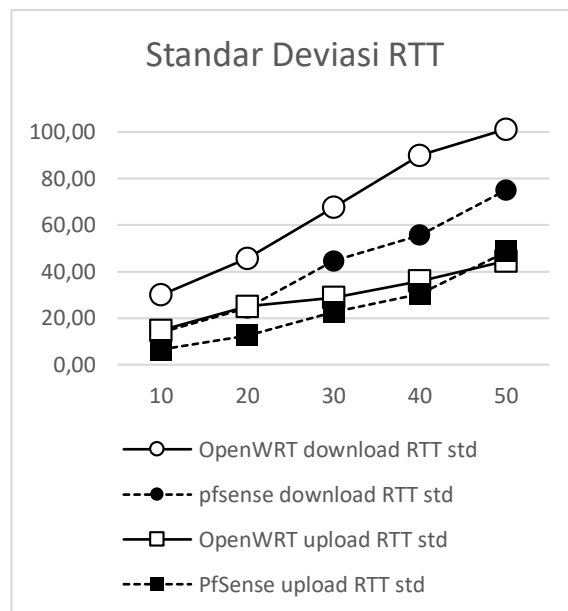
3.4. Jitter

Jitter diambil dari rata rata standar deviasi RTT. Nilai jitter lebih rendah menunjukkan lama antar delay lebih konsisten.

Pada gambar 8, Dari gambar terlihat bahwa semua jumlah user, standar deviasi unduh OpenWRT secara signifikan lebih besar dari PfSense dengan rata rata selisih 24,14 ms. Hal ini menunjukkan bahwa PfSense memiliki RTT yang jauh lebih konsisten dari OpenWRT.

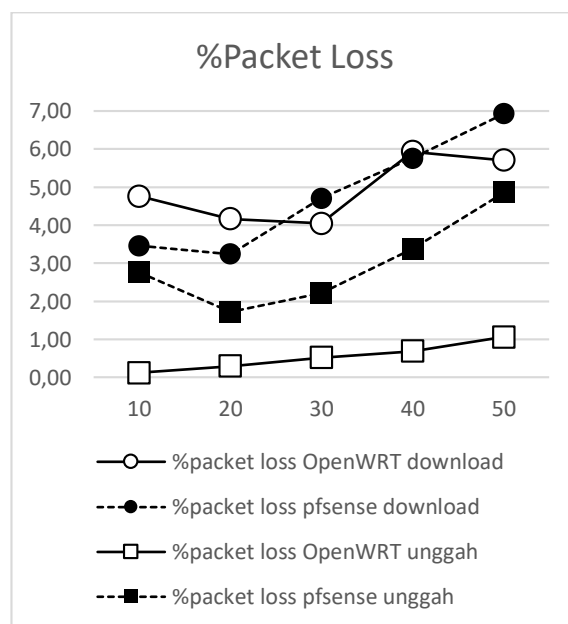
Sedangkan pada unggah, terlihat bahwa kedua router memiliki perbedaan yang signifikan dalam

standar deviasi RTT. Pada pelayanan 10 – 40 user, PfSense unggul dengan rata rata selisih 8,16 ms. Pada 50 user, OpenWRT menjadi unggul dengan selisih *jitter* 4,01 ms lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pfSense lebih stabil dalam lama RTT hingga 40 user.



Gambar 8. Standar Deviasi RTT

3.5. Packet loss



Gambar 9. Persentase Packet Loss

Parameter *Packet loss* ditentukan dari rata rata persentase perbandingan antara paket yang mengalami retransmit dibagi dengan jumlah total semua paket yang dikirim.

Pada gambar 9 terlihat bahwa pada saat unduh, OpenWRT memiliki jumlah persentase *packet loss* lebih besar secara signifikan dari PfSense pada 10 dan 20 user dengan selisih 1,30% dan 0,92%. Kemudian pada pelayanan 30 dan 50 user terlihat bahwa *packet*

loss OpenWRT menjadi lebih rendah secara signifikan dari PfSense dengan selisih 0,65% dan 1,22%. Dalam pelayanan 40 user, tidak terdapat perbedaan signifikan pada *packet loss*. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan performa dalam persentase *packet loss* unduh pada kedua router tidak konsisten.

Pada uji unggah terdapat hasil dimana OpenWRT secara konsisten memiliki persentase upload *packet loss* lebih rendah secara signifikan daripada PfSense dalam pelayanan semua jumlah user dengan rata rata selisih 2,44%. Tingginya *packet loss* pada uji unggah ini mungkin terjadi karena sistem firewall dari pfSense, namun hal tersebut diluar batas masalah dari penelitian ini.

4. DISKUSI

Analisis jaringan nirkabel biaya rendah antara OpenWRT dan PfSense menggunakan parameter uji *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss*. Hasil dari penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya agar dapat melihat gambar yang lebih jelas.

Untuk OpenWRT, nilai *throughput* total tertinggi dengan mengalikan rata rata *throughput* dengan jumlah user adalah 315,17Mbps saat unggah dan 205,27Mbps pada unduh, nilai ini jauh lebih kecil dari [24] yang memiliki hasil 200 hingga 850 Mbps. Hal ini terjadi karena dalam [24] pengukuran dilakukan secara lokal dengan hanya 1 pengguna. Hasil rata rata *throughput* unggah terbaik pada setiap user 20,52Mbps dan unduh 31,51Mbps lebih tinggi dibandingkan dengan hasil terbaik pada [12] dimana hanya terdapat 1 hop ke *user* dengan 18,21Mbps, sementara untuk *delay* memiliki bentuk grafik seperti rata rata unggah pada gambar 7, namun dengan nilai yang jauh lebih rendah, 7-31ms karena diuji pada lokal. Pada *packet loss*, penelitian ini lebih buruk pada unduh dimana pada [12] memiliki kurang dari 2% *packet loss*, namun setara pada hasil unggah.

Sementara pada PfSense, *throughput* rata rata pada unduh dan unggah 10 *user* yaitu 19,13Mbps dan 19,83Mbps lebih tinggi dari hasil *throughput* [30] yang memiliki 12Mbps – 14Mbps, namun hasil *packet loss* pengujian ini jauh lebih besar dengan persentase *packet loss* 3,46-6,93% pada unduh dan 1,72 – 3,79% untuk unggah dibandingkan dengan kurang dari 0,01% pada [30].

Hasil dari penelitian ini lebih baik pada *throughput* dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, kecuali pada penelitian dengan jaringan *wired*. *Delay* pada penelitian ini lebih buruk karena jarak dari *user* ke server sangat jauh dibandingkan dengan penelitian lainnya. *Packet loss* lebih tinggi pada penelitian ini dibandingkan dengan penelitian lain menunjukkan batasan kemampuan dari pelayanan masing masing router.

5. KESIMPULAN

Pada penelitian ini disajikan analisa komparasi performa antara sistem operasi OpenWRT dan PfSense dalam penanganan simulasi jaringan nirkabel berbiaya rendah dengan parameter Quality of Service. Penelitian ini dilakukan untuk menjembatani perbandingan antara sistem operasi yang difokuskan untuk kemudahan implementasi dan sistem operasi yang difokuskan pada keamanan pada jaringan komputer yang diabaikan oleh penelitian terkini. Disajikan perbedaan QoS pada pelayanan 10-50 user dengan signifikansi dan keterbatasan masing masing sistem operasi sehingga pengguna jaringan dan ISP dapat memutuskan penggunaan sistem operasi ini dalam implementasi pada jaringan. Solusi dalam penelitian ini tidak hanya dapat diaplikasikan pada jaringan simulasi saja namun juga dapat diaplikasikan pada jaringan fisik, misalnya dalam router suatu instansi untuk melayani jaringan lokal. Untuk hasil penelitian yang lebih detil, penelitian berikutnya berencana untuk melakukan uji terhadap koneksi UDP sehingga lebih merepresentasikan koneksi yang sensitif terhadap waktu dengan eksplorasi alat uji lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Sebelas Maret, Indonesia melalui Hibah Grup Riset, dengan Nomor Kontrak 228/UN27.22/PT.01.03/2023..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] APJII, "Survey Penetrasi Internet Indonesia 2024," 2024. Accessed: Oct. 07, 2024. [Online]. Available: <https://survei.apjii.or.id/>
- [2] S. Duraimurugan and P. J. Jayarin, Analysis and Study of Multimedia Streaming and Congestion Evading Algorithms in Heterogeneous Network Environment. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019. doi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8663163>.
- [3] APJII, "SURVEI ISP MARKET PROFILE," 2024. Accessed: Oct. 07, 2024. [Online]. Available: <https://survei.apjii.or.id/>
- [4] ETSI, "Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 4: Internet access," 2008. [Online]. Available: http://portal.etsi.org/chairecor/ETSI_support.asp
- [5] ETSI, "Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS)," 1999. [Online]. Available: <http://www.etsi.org>

- [6] ETSI, "User Group User's Quality of Service Criteria for Internet Access in Europe," 2003.
- [7] Y. A. Al-Sbou, "Wireless Networks Performance Monitoring Based On Passive-Active Quality Of Service Measurements," *International Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 12, no. 6, pp. 14–32, 2020, doi: 10.5121/ijcnc.2020.12602.
- [8] Ookla, "Indonesia's Mobile and Broadband Internet Speeds - Speedtest Global Index." Accessed: Oct. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.speedtest.net/global-index/indonesia>
- [9] Ookla, "Speedtest Global Index – Internet Speed around the world – Speedtest Global Index." Accessed: Oct. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.speedtest.net/global-index>
- [10] L. Csikor, L. 'o Toka, M. Szalay, G. Pongracz, D. P. Pezaros, and G. R 'etv 'ari, HARMLESS: Cost-Effective Transitioning to SDN for Small Enterprises. IEEE, 2018. doi: <https://doi.org/10.23919/IFIPNetworking.2018.8696504>.
- [11] N. Rawindaran, A. Jayal, E. Prakash, and C. Hewage, "Cost benefits of using machine learning features in NIDS for cyber security in UK small medium enterprises (SME)," *Future Internet*, vol. 13, no. 8, Aug. 2021, doi: 10.3390/fi13080186.
- [12] N. S. Aminah, M. R. R. Raharjo, and M. Budiman, "Low-cost wireless mesh communications based on openWRT and voice over internet protocol," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 11, no. 6, pp. 5119–5126, 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i6.pp5119-5126.
- [13] Ookla, "As Indonesia's Mobile Speeds Accelerate, Access Remains a Barrier to Many." Accessed: Oct. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.ookla.com/articles/indonesia-mobile-speeds-q1-q2-2021>
- [14] N. Elhilali, M. Badri, M. Filali Bouami, and M. Premier Oujda, "Evaluation of QoS over IEEE 802.11 Wireless Network in the Implementation of Internet Protocols Mobility Supporting," 2023. [Online]. Available: www.ijacsa.thesai.org
- [15] A. S. Arifin, Performance of Broadband Wireless Services in Indonesia Toward Nawacita. IEEE, 2019. doi: <https://doi.org/10.1109/ICECTA48151.2019.8959722>.
- [16] B. P. Crow, I. Widjaja, J. G. Kim, and P. T. Sakai, "IEEE 802.11 Wireless Local Area Network (WLAN)," 1997. doi: <https://doi.org/10.1109/35.620533>.
- [17] M. Alaei, P. Sabbagh, and F. Yazdanpanah, "A QoS-aware congestion control mechanism for wireless multimedia sensor networks," *Wireless Networks*, vol. 25, no. 7, pp. 4173–4192, Oct. 2019, doi: 10.1007/s11276-018-1738-8.
- [18] B. Aditya, G. Nugraha Nurkahfi, and C. I. Samuels, "Wireless Last Mile Study in Rural Areas," *TELKA*, vol. 7, no. 2, pp. 100–107, 2021, doi: <https://www.doi.org/10.15575/TELKA.V7N2.100-107>.
- [19] A. N. W. Wardhana, Muh. Yamin, and L. F. Aksara, "ANALISIS QUALITY of SERVICE (QoS) JARINGAN INTERNET BERBASIS WIRELESS LAN PADA LAYANAN INDIHOME," *semanTIK*, vol. 3, no. 2, pp. 49–58, 2017.
- [20] M. Syarif Hidayatullah and Kusnawi, "ANALISIS PERBANDINGAN QUALITY OF SERVICE (QoS) FIRMWARE ORIGINAL TL-WR841ND DENGAN FIRMWARE OPENWRT BERBASIS OPEN SOURCE," *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, vol. 2, no. 2, 2016.
- [21] Y. Pratama, R. Mohamad, and A. K. Rasyid, "PERBANDINGAN KUALITAS LAYANAN KINERJA PERANGKAT JARINGAN TP-LINK WIRELESS N ROUTER DAN GL-INET WIRELESS ROUTER BERBASIS FIRMWARE OPENWRT," 2022.
- [22] A. F. Gentile, D. Macrì, F. De Rango, M. Tropea, and E. Greco, "A VPN Performances Analysis of Constrained Hardware Open Source Infrastructure Deploy in IoT Environment," *Future Internet*, vol. 14, no. 9, 2022, doi: 10.3390/fi14090264.
- [23] A. F. Gentile, D. Macrì, E. Greco, and P. Fazio, "IoT IP Overlay Network Security Performance Analysis with Open Source Infrastructure Deployment," *Journal of Cybersecurity and Privacy*, vol. 4, no. 3, pp. 629–649, Aug. 2024, doi: 10.3390/jcp4030030.
- [24] J. B. Silva, F. S. D. Silva, E. P. Neto, M. Lemos, and A. Neto, "Benchmarking of mainstream SDN controllers over open off-the-shelf software-switches," *Internet Technology Letters*, vol. 3, no. 3, 2020, doi: 10.1002/itl2.152.
- [25] I. Smolka and J. Stój, "Utilization of SDN Technology for Flexible EtherCAT Networks Applications," *Sensors (Basel)*, vol. 22, no. 5, Mar. 2022, doi: 10.3390/s22051944.
- [26] J. Coquis-Flames, H. Flor-Cunza, and A.

- Alva-Mantari, "Design of a pfSense-based Wireless Network to Transition from the Use of Proprietary Software in the Campus of the University of Sciences and Humanities, Lima, Peru," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 72, no. 8, pp. 62–72, Aug. 2024, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V72I8P108.
- [27] K. Fotiadou, T.-H. Velivassaki, A. Voulkidis, D. Skias, S. Tsekeridou, and T. Zahariadis, "Network traffic anomaly detection via deep learning," *Information (Switzerland)*, vol. 12, no. 5, 2021, doi: 10.3390/info12050215.
- [28] M. Arman and N. Rachmat, "IMPLEMENTASI SISTEM KEAMANAN WEB SERVER MENGGUNAKAN PFSense," 2020. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://dx.doi.org/10.32767/jusikom.v5i1.752>
- [29] R. R. H. Amin and D. H. Ahmed, "Comparative Analysis of Flexiwan, OPNSense, and pfSense Cybersecurity Mechanisms in MPLS / SD-WAN Architectures," *Passer Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 27–32, Jun. 2024, doi: 10.24271/PSR.2023.390989.1295.
- [30] S. Praptodiyono, T. Firmansyah, M. H. Anwar, C. A. Wicaksana, A. S. Pramudyo, and A. Al-Allawee, "DEVELOPMENT OF HYBRID INTRUSION DETECTION SYSTEM BASED ON SURICATA WITH PFSense METHOD FOR HIGH REDUCTION OF DDOS ATTACKS ON IPV6 NETWORKS," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5, no. 9(125), pp. 75–84, 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.285275.
- [31] Information & Networking Technologies Research & Innovation Group, "Get Started | Mininet-WiFi." Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://mininet-wifi.github.io/get-started/>
- [32] Bob Lantz, "Download/Get Started With Mininet - Mininet." Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://mininet.org/download/>
- [33] D. Capriglione, G. Cerro, L. Ferrigno, and G. Miele, "The Effect of Hardware/Software Features on the Performance of an Open-Source Network Emulator," 2019. doi: https://www.doi.org/10.1007/978-3-030-30523-9_19.
- [34] H. Jiang, Q. Wang, G. Zhang, and J. Fan, "Design and Implementtationg of an IPsec VPN Gateway Base on OpenWRT," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Mar. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1176/4/042007.
- [35] A. F. Gentile, D. Macrì, E. Greco, and P. Fazio, "Overlay and Virtual Private Networks Security Performances Analysis with Open Source Infrastructure Deployment," *Future Internet*, vol. 16, no. 8, Aug. 2024, doi: 10.3390/fi16080283.