

LOGIKA FUZZY SUGENO UNTUK PENENTUAN ALOKASI BANDWIDTH ADAPTIF

Hafidz Irham Ar Ridlo^{1*}, Agussalim², Ardhon Rakhmadi³

^{1,3}Program Studi Informatika, UPN “Veteran” Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

²Program Studi Magister Teknologi Informasi, UPN “Veteran” Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

*Penulis korespondensi: 22081010068@student.upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Kualitas layanan jaringan sangat bergantung pada alokasi *bandwidth* yang merata. Ketidadaan mekanisme manajemen *bandwidth* sering kali memicu ketimpangan penggunaan jaringan, di mana segelintir klien dapat memonopoli trafik sehingga utilisasi menjadi tidak efisien. Untuk merespons fluktuasi jumlah klien aktif dan lonjakan trafik secara dinamis, penelitian ini merancang dan menguji sistem penentuan alokasi *bandwidth* adaptif menggunakan metode Logika Fuzzy Sugeno untuk menangani ketidakpastian kondisi jaringan. Variabel *input* sistem terdiri dari jumlah klien aktif dan beban trafik jaringan, yang diproses melalui tahapan fuzzifikasi, inferensi berbasis sembilan aturan *IF-THEN*, dan agregasi *weighted average* Sugeno orde nol untuk menghasilkan nilai alokasi *bandwidth* secara otomatis. Nilai *output* dari sistem fuzzy ini kemudian diimplementasikan sebagai parameter limit *bandwidth* menggunakan Per Connection Queue (PCQ). Pengujian dilakukan pada lingkungan jaringan virtual dengan arsitektur *closed-loop* sehingga selalu melakukan pengambilan data dan perubahan dengan interval 10 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil menyesuaikan alokasi *bandwidth* secara otomatis pada rentang 128 Kbps hingga 1024 Kbps sesuai dengan kondisi aktual jaringan. Nilai tersebut sukses diterapkan ke dalam mekanisme PCQ tanpa memerlukan konfigurasi manual dari administrator. Temuan ini menyimpulkan bahwa metode Logika Fuzzy Sugeno mampu diimplementasikan sebagai solusi manajemen *bandwidth* yang adaptif dan otonom.

Kata kunci: Logika Fuzzy Sugeno, alokasi *bandwidth* adaptif, manajemen *bandwidth*, jaringan komputer.

1 PENDAHULUAN

Manajemen *bandwidth* merupakan fondasi utama dalam pengelolaan distribusi lalu lintas jaringan untuk mewujudkan performa jaringan yang adil dan memuaskan (Nasrullah et al., 2024). Kualitas layanan dalam suatu jaringan sangat bergantung pada alokasi *bandwidth* yang merata untuk antar klien. Ketidadaan mekanisme manajemen *bandwidth* memicu terjadinya ketimpangan penggunaan jaringan, di mana segelintir klien dengan beban trafik tinggi berpotensi monopoli trafik. Akibatnya, efisiensi jaringan menurun dan alokasi untuk klien lain menjadi tidak adil (Anwar & Akbar, 2024).

Ketimpangan tersebut semakin sulit dihindari karena volume lalu lintas jaringan pada dasarnya bersifat *bursty* atau berlonjakan, di mana klien tidak selalu terhubung atau mengirimkan data secara terus-menerus. Mengingat aktivitas pengiriman data oleh klien tidak berlangsung secara konstan, karena kapasitas *bandwidth* perlu dialokasikan secara adil dan berbasis permintaan (*on-demand*) kepada seluruh klien aktif (Ain et al., 2020).

Dalam kondisi penggunaan jaringan yang dinamis, penerapan manajemen *bandwidth* yang bersifat statis menjadi kurang efektif karena alokasi *bandwidth* telah ditetapkan sebelumnya dan tidak dapat menyesuaikan perubahan kebutuhan klien secara aktual. Kondisi tersebut menyebabkan *bandwidth* yang tidak digunakan oleh suatu klien tidak dapat

dialokasikan kepada klien lain, sehingga pemerataan dan efisiensi pemanfaatan *bandwidth* menjadi kurang optimal (Ferdiansyah et al., 2020).

Berbagai celah permasalahan di atas menegaskan bahwa sistem manajemen *bandwidth* menuntut tingkat adaptabilitas yang tinggi. Situasi operasional jaringan tidak pernah diam, jumlah klien aktif atau beban trafik dapat meningkat sewaktu-waktu. Mempertahankan konfigurasi *bandwidth* yang kaku atau statis hanya akan menurunkan performa jaringan. Efek dominonya sangat jelas, koneksi perlahan menjadi tidak stabil, waktu akses melambat, dan puncaknya bisa memicu kemacetan jaringan (*network congestion*) (Chirzah & Jumasa, 2025). Maka dari itu, kehadiran sistem cerdas yang mampu menentukan alokasi *bandwidth* secara adaptif menjadi sangat esensial. Sistem tersebut harus mampu menyesuaikan kembali alokasi *bandwidth* secara otomatis berdasarkan kondisi jaringan yang sedang berlangsung, sehingga penggunaan sumber daya jaringan dapat tetap optimal meskipun terjadi perubahan pola lalu lintas data (Purwodwiyogo & Subardono, 2018).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi perubahan pola trafik yang dinamis adalah Logika Fuzzy, logika ini dikembangkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 merupakan pengembangan dari logika biner tradisional yang hanya mengetahui nilai benar (1) dan salah (0) (Irawan & Herviana, 2018). Dalam mekanismenya, memiliki kemampuan untuk mengatasi ketidakpastian dan dapat menerjemahkan kondisi jaringan yang dinamis ke dalam aturan pengambilan keputusan yang lebih fleksibel berdasarkan parameter *input* tertentu (Permatasari et al., 2022). Berbeda dengan konfigurasi statis yang menggunakan nilai limit tetap saat konfigurasi di awal, Logika Fuzzy memungkinkan penentuan alokasi *bandwidth* dilakukan secara bertahap berdasarkan kondisi jaringan aktual.

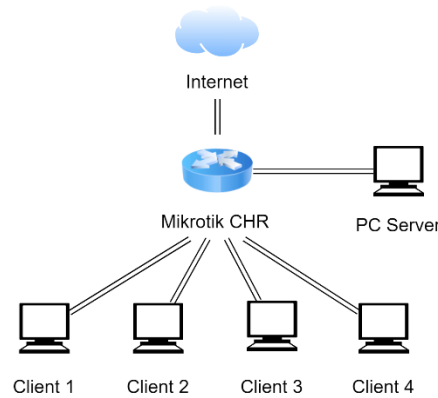
Metode Sugeno merupakan salah satu cabang Logika Fuzzy yang dikenal paling efisien dalam memproses sebuah keputusan. Alasan utama penggunaan pendekatan ini adalah kemampuannya mendeduksi sekumpulan aturan (*rule base*) *IF-THEN* untuk menghasilkan keputusan akhir yang tegas (*crisp output*) berdasarkan nilai *firing strength* (α_i). Selain itu, proses defuzzifikasi relatif sederhana karena tidak membutuhkan proses perhitungan yang rumit dan lama, sistem mampu bekerja dengan sangat cepat (Asrianto & Effendi, 2022). Kecepatan respons inilah yang sangat penting untuk mengatasi fluktuasi jaringan secara aktual.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini menerapkan Logika Fuzzy Sugeno untuk penentuan alokasi *bandwidth* adaptif dengan mempertimbangkan jumlah klien aktif dan beban trafik jaringan sebagai variabel *input*. Nilai *output* yang dihasilkan kemudian diimplementasikan pada mekanisme Per Connection Queue (PCQ) untuk melakukan penyesuaian limit *bandwidth* secara otomatis. Keunikan sistem ini terletak pada arsitektur *closed-loop*, kondisi jaringan akan terus dipantau secara berkala dalam interval 10 detik untuk memastikan alokasi selalu diperbarui sesuai kondisi aktual. Penelitian ini bertujuan menghasilkan mekanisme manajemen *bandwidth* yang adaptif, efisien, dan mampu merespons perubahan kondisi jaringan tanpa memerlukan konfigurasi manual.

2 METODE

2.1 Topologi Jaringan

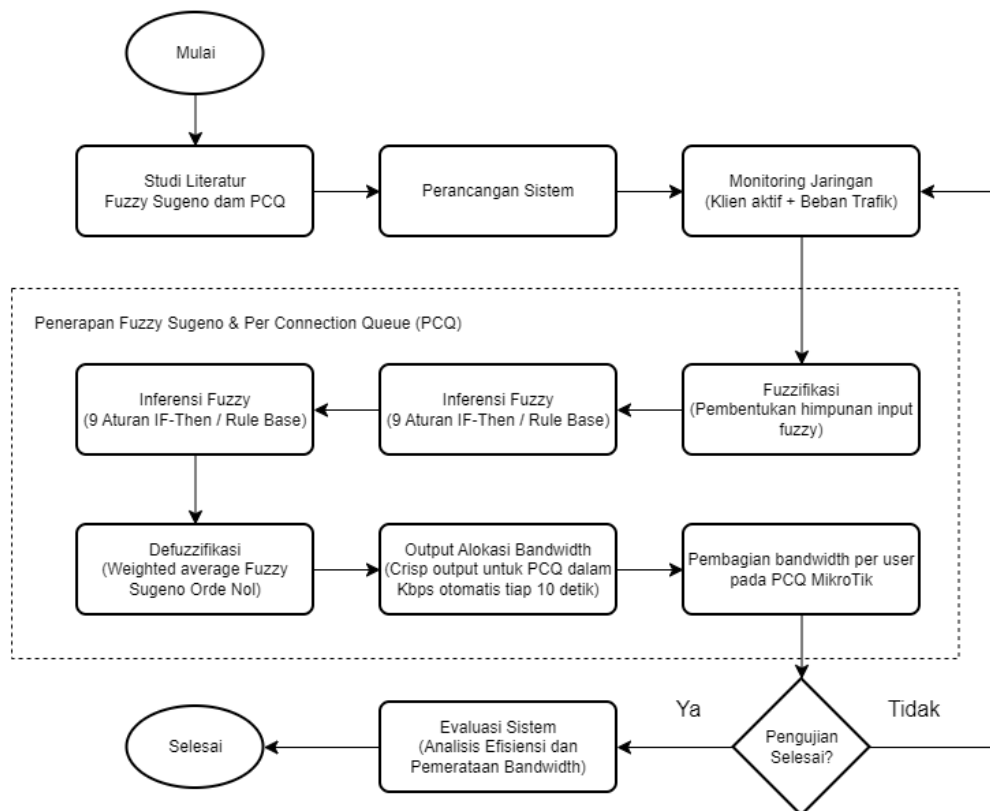
Penelitian ini menggunakan arsitektur jaringan virtual yang mencakup PC Server sebagai otak pengambil keputusan dan router MikroTik mengambil peran sebagai pusat pengendali alokasi *bandwidth*. Sementara itu, keberadaan klien-klien virtual secara khusus difungsikan untuk menyimulasikan fluktuasi jumlah pengguna aktif dan menghasilkan variasi beban trafik selama proses evaluasi sistem berlangsung, sebagaimana topologi jaringan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Topologi Jaringan

2.2 Arsitektur Sistem

Penelitian ini dirancang menggunakan arsitektur sistem *closed-loop* dengan pendekatan Logika Fuzzy Sugeno yang bekerja secara adaptif dan otomatis dalam menentukan alokasi *bandwidth* untuk diinputkan ke Per Connection Queue (PCQ). Secara keseluruhan, arsitektur sistem terdiri dari beberapa tahapan utama yang saling berkesinambungan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

Penerapan arsitektur sistem *closed-loop* menjadi fondasi penting agar sistem dapat beroperasi secara otonom. Secara konsep, sistem *closed-loop* bekerja dengan cara mengontrol berbagai parameter operasional secara otomatis yang didasarkan pada umpan balik (*feedback*) dari *output* sebelumnya. Seperti yang dibuktikan oleh (Sucipto et al., 2024), pendekatan ini sangat krusial untuk menciptakan sistem yang sanggup beradaptasi secara langsung terhadap

perubahan dinamis selama proses berlangsung. Jika diadaptasikan dalam manajemen *bandwidth*, siklus pemantauan interval 10 detik pada sistem ini bertindak sebagai *feedback*. Kondisi aktual jaringan terus dievaluasi ulang oleh sistem, sehingga porsi alokasi *bandwidth* selalu terkoreksi dan diperbarui sesuai kebutuhan klien tanpa perlu adanya konfigurasi manual dari administrator.

2.3 Fuzzy Sugeno

Perbedaan pada metode Fuzzy Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto menunjukkan bahwa setiap metode menghasilkan nilai keluaran yang berbeda. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh mekanisme inferensi, representasi *output*, serta teknik defuzzifikasi yang diterapkan pada masing-masing metode (Rumfot et al., 2024).

Logika Fuzzy Sugeno digunakan sebagai mekanisme pengambilan keputusan untuk menentukan besaran alokasi *bandwidth* berdasarkan kondisi jaringan yang sedang berlangsung. Karena metode ini bisa mengatasi ketidakpastian, seperti penelitian yang dilakukan (Margiyono & Wicaksono, 2020). Pada penelitian tersebut, Logika Fuzzy Sugeno terbukti andal dalam memecahkan masalah ketidakpastian atau kurangnya presisi data untuk menghasilkan sebuah keputusan tunggal yang tegas (*crisp output*). Mereka memanfaatkan algoritma ini untuk mengolah data yang bervariasi, seperti durasi pelanggan, tunggakan, dan riwayat gangguan, agar dapat menentukan prioritas pemulihan jaringan secara tepat sasaran.

Karena karakteristik Fuzzy Sugeno mampu mendeduksi situasi yang ambigu ketidakpastian maka metode ini sangat relevan untuk diadaptasikan pada penelitian ini. Proses perhitungan pada metode Fuzzy Sugeno ini terdiri dari beberapa langkah utama yang harus dilakukan secara berurutan (Saputri et al., 2019), yang dijelaskan sebagai berikut:

2.3.1. Penentuan Variabel

Dalam mengimplementasikan Logika Fuzzy Sugeno, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menetapkan variabel yang akan digunakan. Penelitian ini merumuskan dua variabel *input* dan satu variabel *output*. Variabel *input* terdiri atas jumlah klien aktif merepresentasikan banyaknya perangkat yang terhubung, serta beban trafik menunjukkan persentase utilisasi jaringan. Sementara itu, variabel *output* dari sistem fuzzy ini berupa limitasi alokasi *bandwidth* pcq-rate yang nantinya diterapkan pada mekanisme PCQ.

2.3.2. Fuzzifikasi

Tahap fuzzifikasi pada dasarnya adalah sebuah proses transformasi data. Nilai-nilai *input* yang awalnya bersifat tegas dan numerik (*crisp input*) diubah ke dalam format fuzzy. Dalam proses ini, angka-angka pasti tersebut diterjemahkan menjadi variabel linguistik, di mana derajat keanggotaannya dipetakan secara matematis melalui sebuah fungsi keanggotaan. Berikut adalah rumusan fungsi keanggotaan untuk tiap himpunan fuzzy:

1) Himpunan klien aktif

Variabel input pertama adalah jumlah klien aktif, yaitu banyaknya perangkat yang sedang terhubung dan menggunakan jaringan pada satu waktu tertentu. Mengacu pada rancangan sistem yang digunakan, rentang nilai ditetapkan antara 0 hingga 4 klien dan dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu Sedikit, Sedang, dan Banyak.

Representasi Himpunan Sedikit, 0-2 Klien:

$$\mu_{Sedikit}(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 1 \\ \frac{2-x}{2-1}, & 1 < x < 2 \\ 0, & x \geq 2 \end{cases}$$

Representasi Himpunan Sedang, 1-3 Klien:

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1 \text{ atau } x \geq 3 \\ \frac{x-1}{2-1}, & 1 < x < 2 \\ \frac{3-x}{3-2}, & 2 < x < 3 \end{cases}$$

Representasi Himpunan Banyak, 2-4 Klien:

$$\mu_{Banyak}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 2 \\ \frac{x-2}{3-2}, & 2 < x < 3 \\ 1, & 3 \leq x \leq 4 \end{cases}$$

2) Himpunan beban trafik

Variabel beban trafik merepresentasikan tingkat utilisasi jaringan yang diperoleh dari pembacaan trafik *Receive* (RX) dan *Transmit* (TX) pada *interface* MikroTik. Nilai tersebut kemudian dinormalisasi menjadi persentase utilisasi jaringan terhadap kapasitas maksimum sebesar 2 Mbps, dan diukur dalam satuan persen (0% - 100%). Variabel ini dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu Ringan, Sedang, dan Padat.

Representasi Himpunan Ringan, 0-50%:

$$\mu_{Ringan}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 25 \\ \frac{50-x}{50-25}, & 25 < x < 50 \\ 0, & x \geq 50 \end{cases}$$

Representasi Himpunan Sedang, 25-75%:

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 25 \text{ atau } x \geq 75 \\ \frac{x-25}{50-25}, & 25 < x < 50 \\ \frac{75-x}{75-50}, & 50 < x < 75 \end{cases}$$

Representasi Himpunan Padat, 50-100%:

$$\mu_{Padat}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 50 \\ \frac{x-50}{75-50}, & 50 < x < 75 \\ 1, & x \geq 100 \end{cases}$$

2.3.3. Pembentukan Aturan Dasar (*Rule Base*)

Setelah menetapkan variabel-variabel yang akan digunakan, langkah selanjutnya adalah membentuk aturan dasar (*rule base*) yang berfungsi sebagai acuan sistem dalam menentukan alokasi *bandwidth*. Aturan tersebut diperoleh dari kombinasi tiga himpunan fuzzy pada variabel jumlah klien aktif (Sedikit, Sedang, Banyak) dan tiga himpunan fuzzy pada variabel beban trafik jaringan (Rendah, Sedang, Tinggi). Kombinasi ini menghasilkan 9 (sembilan) aturan *IF-THEN* yang digunakan dalam proses inferensi.

Tabel 1. Matriks Basis Aturan Fuzzy Sugeno

Klien/Trafik	Ringan	Sedang	Padat
Sedikit	2048 Kbps	2048 Kbps	2048 Kbps
Sedang	1024 Kbps	1024 Kbps	1024 Kbps
Banyak	512 Kbps	512 Kbps	512 Kbps

Apabila dituliskan secara rinci ke dalam bentuk aturan logika *IF-THEN*, maka kesembilan aturan tersebut dijabarkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Daftar Aturan *IF-THEN* Fuzzy Sugeno

Rule No	Rules	Hasil
R1	<i>IF</i> Klien Sedikit <i>AND</i> Trafik Rendah	<i>THEN</i> Alokasi = 2048 Kbps
R2	<i>IF</i> Klien Sedikit <i>AND</i> Trafik Sedang	<i>THEN</i> Alokasi = 1536 Kbps
R3	<i>IF</i> Klien Sedikit <i>AND</i> Trafik Tinggi	<i>THEN</i> Alokasi = 1024 Kbps
R4	<i>IF</i> Klien Sedang <i>AND</i> Trafik Rendah	<i>THEN</i> Alokasi = 1024 Kbps
R5	<i>IF</i> Klien Sedang <i>AND</i> Trafik Sedang	<i>THEN</i> Alokasi = 512 Kbps
R6	<i>IF</i> Klien Sedang <i>AND</i> Trafik Tinggi	<i>THEN</i> Alokasi = 256 Kbps
R7	<i>IF</i> Klien Banyak <i>AND</i> Trafik Rendah	<i>THEN</i> Alokasi = 512 Kbps
R8	<i>IF</i> Klien Banyak <i>AND</i> Trafik Sedang	<i>THEN</i> Alokasi = 256 Kbps
R9	<i>IF</i> Klien Banyak <i>AND</i> Trafik Tinggi	<i>THEN</i> Alokasi = 128 Kbps

2.3.4. Inferensi

Proses inferensi merupakan tahapan di mana aturan-aturan fuzzy yang telah dibentuk pada bagian sebelumnya dikombinasikan untuk menghasilkan keputusan. Pada penelitian ini, metode inferensi yang digunakan adalah Fuzzy Sugeno Orde Nol. Operasi logika yang menghubungkan antara variabel *input* menggunakan operator *AND*, di mana nilai *firing strength* (α_i) dicari dengan menggunakan fungsi nilai minimum (*MIN*) dari derajat keanggotaan kedua *input*, seperti yang dirumuskan secara matematis pada persamaan berikut:

$$\alpha_i = \min (\mu_{Klien}(x), \mu_{Trafik}(y))$$

2.3.5. Defuzzifikasi

Tahap akhir dalam sistem inferensi Logika Fuzzy Sugeno adalah defuzzifikasi. Karena penelitian ini menggunakan model Sugeno Orde Nol, proses pencarian keputusan akhir (*crisp output*) tidak memerlukan perhitungan luasan area geometri seperti pada metode Mamdani. Penentuan nilai akhir cukup dilakukan menggunakan metode rata-rata berbobot (*Weighted Average*), dengan persamaan berikut:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n a_i z_i}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

Karena penelitian ini menggunakan 9 buah aturan *IF-THEN*, maka persamaan tersebut dapat dijabarkan menjadi bentuk berikut:

$$Z = \frac{a_1 z_1 + a_2 z_2 + \dots + a_9 z_9}{a_1 + a_2 + \dots + a_9}$$

2.4 Per Connection Queue (PCQ)

Metode Per Connection Queue (PCQ) merupakan teknik manajemen *bandwidth* yang bertujuan untuk memastikan setiap pengguna yang terhubung ke dalam jaringan mendapatkan alokasi *bandwidth* yang sama rata. Metode ini beroperasi secara dinamis dalam mendistribusikan lalu lintas data apabila hanya satu pengguna yang terhubung, maka pengguna tersebut akan mendapatkan seluruh kapasitas *bandwidth* yang tersedia. Apabila terdapat beberapa pengguna tambahan yang terhubung ke dalam jaringan, maka total *bandwidth* tersebut akan otomatis dibagi sama rata kepada setiap penggunaanya (Ridobillah et al., 2024).

Penelitian ini memanfaatkan PCQ sebagai mekanisme eksekutor untuk mengimplementasikan hasil alokasi *bandwidth* dari Fuzzy Sugeno ke jaringan. Limit *bandwidth* PCQ pada *router* MikroTik diatur melalui parameter *pcq-rate* yang nilainya diambil dari *crisp output* hasil dari defuzzifikasi. PCQ dipilih karena fitur MikroTik RouterOS ini terbukti mampu mengelola dan mendistribusikan *traffic rate* secara adil bagi seluruh klien. Seperti yang

dijelaskan pada penelitian oleh (Tangelangi, 2024), PCQ memiliki sifat yang dinamis dalam membagi *bandwidth* secara merata membuat metode sangat ideal untuk menangani jaringan yang jumlah penggunaanya terus berubah-ubah secara otomatis tanpa melakukan konfigurasi ulang secara manual oleh administrator.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Lingkungan Jaringan

Sistem manajemen *bandwidth* ini disimulasikan menggunakan perangkat lunak *VirtualBox*, namun arsitektur jaringannya dirancang secara utuh untuk merepresentasikan topologi jaringan fisik yang sesungguhnya. Seperti yang telah dijelaskan pada sebelumnya, proses pertukaran data dilakukan secara periodik dengan interval 10 detik menggunakan arsitektur *closed-loop*, sehingga sistem dapat memperbarui alokasi *bandwidth* secara otomatis berdasarkan kondisi jaringan yang sedang berlangsung. Detail konfigurasi jaringan yang menghubungkan setiap perangkat virtual tersebut diuraikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Konfigurasi Alamat IP

Perangkat	Interface	Alamat IP
PC Server	Host-Only Adapter	192.168.68.10
MikroTik CHR	Ether1 (NAT)	10.0.2.15
MikroTik CHR	Ether2 (DHCP Server)	192.168.168.1/24
Client 1	Host-Only Adapter	192.168.68.101
Client 2	Host-Only Adapter	192.168.68.102
Client 3	Host-Only Adapter	192.168.68.103
Client 4	Host-Only Adapter	192.168.68.104

Konfigurasi tersebut memungkinkan seluruh perangkat berada pada satu segmen jaringan sehingga proses monitoring dan pengendalian *bandwidth* dapat dilakukan secara terpusat, layaknya infrastruktur kabel dan perangkat keras fisik yang saling terintegrasi.

3.2 Hasil Pengujian Sistem

Dalam pelaksanaannya, perangkat lunak *VirtualBox* digunakan sebagai wadah simulasi dengan perancangan yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Sistem dibiarkan merekam data hingga mencapai 90 kali polling dengan interval 10 detik. Skenario ini dibuat agar semirip mungkin dengan lalu lintas jaringan yang sebenarnya, yaitu dengan cara memanipulasi jumlah perangkat yang terhubung sekaligus menaik-turunkan beban trafik secara berkala. Prosesnya sendiri dipecah menjadi tiga periode pengujian. Periode awal berjalan pada polling 1-30 dengan satu klien aktif. Kemudian, masuk ke periode pertengahan pada polling 31-60 yang melibatkan dua hingga tiga klien. Pada akhirnya, pengujian ditutup lewat periode ketiga pada polling 61-90 dengan total empat klien yang beroperasi.

Rekap sebagian hasil pengujian dari ketiga fase tersebut disajikan pada Tabel 4. Setiap baris merepresentasikan satu siklus *polling* yang mencakup kondisi jaringan aktual, *rule* yang aktif pada interval tersebut, nilai *firing strength* masing-masing *rule*, serta nilai alokasi *bandwidth* yang dihasilkan sistem dan diterapkan ke mekanisme PCQ.

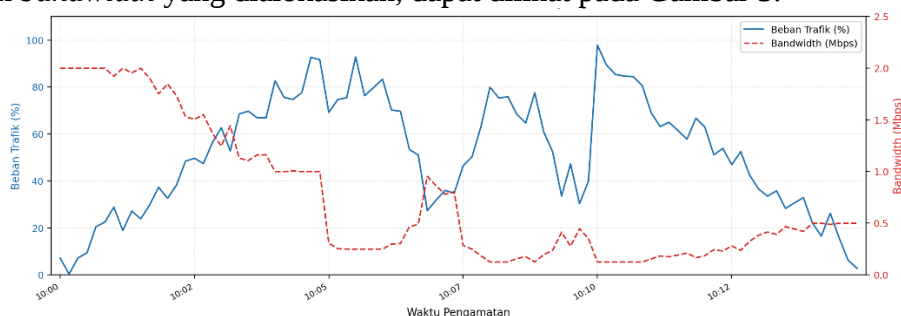
Tabel 4. Rekap Hasil Pengujian Sistem

Polling ke-	Jumlah Klien	Beban Trafik (%)	Rule Aktif	Firing Strength	Output (Kbps)
1	1	7,23	R1	1,0	2048
10	1	20,51	R1	1,0	2048
18	1	57,14	R2;R3	0,716;0,284	1374
25	1	79,43	R3	1,0	1024
31	2	64,22	R5;R6	0,431;0,569	378

38	2	47,83	R4;R5	0,086; 0,914	555
46	3	71,55	R8;R9	0,138; 0,862	145
55	3	58,30	R8;R9	0,668; 0,332	213
61	4	83,47	R9	1,0	128
90	4	2,75	R7	1,0	512

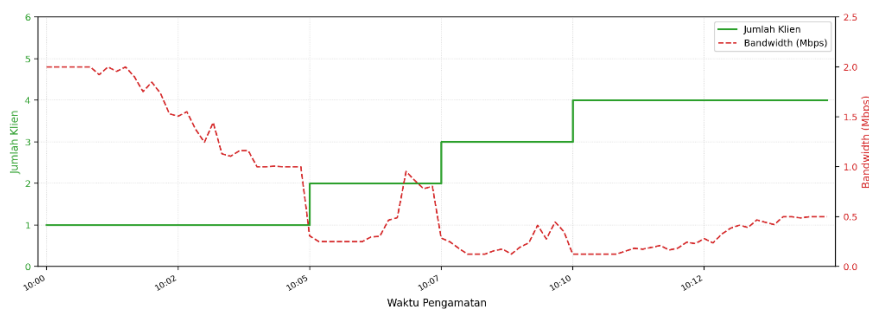
Secara keseluruhan, sistem berhasil menghasilkan nilai alokasi *bandwidth* yang bervariasi secara dinamis pada rentang 128 Kbps hingga 2048 Kbps sesuai dengan kondisi jaringan aktual pada setiap intervalnya. Seluruh nilai *output* tersebut berhasil diterapkan ke dalam parameter *pcq-rate* pada *router* MikroTik CHR tanpa kegagalan konfigurasi maupun intervensi manual dari administrator.

Untuk mempermudah analisis visual terhadap perilaku sistem terhadap beban trafik jaringan dan *bandwidth* yang dialokasikan, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Fluktuasi Beban Trafik dan *Bandwidth* yang Dialokasikan

Berdasarkan Gambar 3, terlihat jelas bagaimana sistem mampu menyesuaikan diri dengan keadaan jaringan yang sedang berlangsung. Sistem secara otomatis memangkas alokasi *bandwidth* begitu mendeteksi adanya lonjakan beban trafik. Sebaliknya, jatah *bandwidth* akan kembali dinaikkan secara bertahap. Pola ini membuktikan bahwa persentase kepadatan trafik memiliki sifat yang berbanding terbalik terhadap ukuran *bandwidth* yang dialokasikan oleh sistem.



Gambar 4. Grafik Jumlah Klien dan *Bandwidth* yang Dialokasikan

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa peningkatan jumlah klien aktif menyebabkan sistem secara bertahap menurunkan alokasi *bandwidth* yang diberikan. Pada fase pertama, ketika hanya terdapat satu klien aktif, *bandwidth* yang diberikan masih berada pada rentang yang relatif tinggi. Ketika jumlah klien meningkat menjadi dua hingga tiga perangkat, sistem mulai mengurangi *bandwidth* yang dialokasikan. Penurunan paling signifikan terjadi pada fase akhir pengujian, yaitu ketika empat klien aktif beroperasi secara bersamaan.

Pola tersebut menunjukkan bahwa sistem tidak hanya mempertimbangkan beban trafik, tetapi juga memperhatikan jumlah perangkat yang sedang menggunakan jaringan. Dengan demikian, keputusan yang dihasilkan menjadi lebih proporsional dan mampu menjaga pemerataan distribusi *bandwidth* di antara seluruh klien yang terhubung.

4 KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengimplementasikan sistem manajemen *bandwidth* adaptif berbasis Logika Fuzzy Sugeno yang bekerja secara otomatis dalam merespons kondisi jaringan. Dengan mengolah variabel *input* jumlah klien aktif dan beban trafik melalui sembilan aturan inferensi, sistem ini sukses menghasilkan nilai alokasi dinamis pada rentang 128 Kbps hingga 2048 Kbps. Selama 90 siklus pengujian, nilai keluaran tersebut berhasil dieksekusi secara langsung ke dalam parameter *pcq-rate* pada fitur PCQ MikroTik tanpa memerlukan campur tangan manual dari administrator. Kemampuan adaptasi sistem terbukti sangat responsif, yang ditandai dengan kemampuannya memangkas porsi *bandwidth* secara proporsional saat mendeteksi adanya lonjakan lalu lintas data maupun penambahan jumlah pengguna yang terhubung.

Secara keseluruhan, integrasi Logika Fuzzy Sugeno dan metode PCQ terbukti efektif menjadi solusi pengelolaan jaringan komputer yang otonom. Agar dapat menyempurnakan kinerja sistem pada penelitian mendatang, sangat direkomendasikan untuk penambahan parameter jaringan yang lebih beragam, penentuan *rule base* dapat disesuaikan dengan otomatis bukan berdasarkan pengaturan saat awal konfigurasi dan mengevaluasi dengan indikator *Quality of Service* (QoS). Dengan demikian, sistem diharapkan mampu menghasilkan keputusan alokasi *bandwidth* yang lebih akurat, adaptif, dan efisien dalam menghadapi perubahan kondisi jaringan yang semakin kompleks.

UCAPAN TERIMA KASIH

Layaknya sebuah sistem yang dapat berjalan lancar berkat integrasi berbagai komponen yang solid, selesainya penelitian ini juga merupakan hasil dari sinergi banyak pihak. Rasa terima kasih dan apresiasi yang paling tulus penulis kepada semua pihak terkait dalam proses penyelesaian artikel ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ain, N. ul, Memon, K. A., Abbas, M., Hussaini, N. N., Bhutto, Z. A., & Soothar, K. K. (2020). A Visualization Based Analysis on Dynamic Bandwidth Allocation Algorithms for Optical Networks. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, 7(28), 1–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.4108/eai.13-7-2018.164665>
- Anwar, I. D., & Akbar, Y. (2024). Manajemen Bandwidth Jaringan dengan Metode Per Connection Queue (PCQ) Pada Mikrotik di Masterpiece Family Karaoke Tebet. *Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, 5(3), 3125–3137. <https://doi.org/https://doi.org/10.35870/jimik.v5i3.986>
- Asrianto, R., & Effendi, A. (2022). Penerapan Logika Fuzzy Dengan Metode Sugeno Untuk Menentukan Besaran Komisi Pada Layanan Jastip Plgd.Store. *Journal of Software Engineering and Information System (SEIS)*, 2(1), 101–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.37859/seis.v2i1.3298>
- Chirzah, D., & Jumasa, H. M. (2025). Strategi Pengelolaan Bandwidth Adaptif Pada Jaringan Komputer Berbasis Virtualisasi. *Jurnal INTEK (Informatika Dan Teknologi Informasi)*, 8(1), 33–43.
- Ferdiansyah, P., Indrayani, R., & Subektiningsih. (2020). Analisis Manajemen Bandwidth Menggunakan Hierarchical Token Bucket Pada Router dengan Standar Deviasi. *Jurnal Nasional Teknologi Dan Sistem Informasi*, 01, 38–45. <https://doi.org/https://doi.org/10.25077/TEKNOSI.v6i1.2020.38-45>
- Irawan, M. D., & Herviana. (2018). IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY DALAM MENENTUKAN JURUSAN BAGI SISWA BARU SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN (SMK) NEGERI 1 AIR PUTIH. *Jurnal Teknologi Informasi*, 2(2), 129–

137. <https://jurnal.una.ac.id/index.php/jurti/article/view/427>
- Margiyono, A., & Wicaksono, H. (2020). Metode Fuzzy Sugeno untuk Pemilihan Data Pelanggan Indihome Unit DCS pada PT . Telkom Indonesia STO Kranji. *JURNAL MAHASISWA BINA INSANI*, 5(1), 43–52.
- Nasrullah, M. G., Heryana, N., & Solehudin, A. (2024). MANAJEMEN BANDWITH MENGGUNAKAN METODE HIRARCHICAL TOKEN BUCKET PADA PEMBATAAN KECEPATAN INTERNET (STUDI KASUS: KANTOR KELURAHAN CIPARAGE JAYA). *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(2), 2291–2296. <https://doi.org/https://doi.org/10.36040/jati.v8i2.9476>
- Permatasari, A., Trisnawan, P. H., & Bakhtiar, F. A. (2022). Implementasi Algoritme Dijkstra dan Logika Fuzzy untuk Pencarian Jalur pada Arsitektur Jaringan Software Defined Network (SDN). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 6(4), 1685–1692.
- Purwodwiyogo, Y., & Subardono, A. (2018). Kontrol Bandwidth Dinamis Berbasis Algoritma Logika Fuzzy pada Jaringan Wireless Ad-Hoc. *JURNAL RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 2(3), 728–735. <https://doi.org/10.29207/resti.v2i3.577>
- Ridobillah, R., Indrayana, D., & Az-zahra, F. F. (2024). MENGGUNAKAN METODE QUEUE TREE DAN PCQ DI ICT UMMI. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(5), 10147–10154. <https://doi.org/https://doi.org/10.36040/jati.v8i5.11021>
- Rumfot, R., Lesnussa, Y. A., Rahakbauw, D. L., & Program. (2024). PERBANDINGAN METODE FUZZY MAMDANI, SUGENO DAN TSUKAMOTO UNTUK MENENTUKAN JUMLAH PRODUKSI BATU PECAH Rindyani. *MATH Unesa Jurnal Ilmiah Matematika*, 12(1), 157–168. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/mathunesa.v12n1.p157-168>
- Saputri, A. D., Ramadhani, R. D., & Adhitama, R. (2019). Logika Fuzzy Sugeno untuk Pengambilan Keputusan dalam Penjadwalan dan Pengingat Service Sepeda Motor. *Journal of Informatics, Information System, Software Engineering and Applications*, 2(1), 49–55. <https://doi.org/https://doi.org/10.20895/inista.v2i1.95>
- Sucipto, D., Qomaruddin, M., & Marwanto, A. (2024). Sistem Kendali Closed Loop Pada Mesin Extruder Straw Berbasis Logika Fuzzy. *JTE (Jurnal Teknologi Elektro)*, 15(01), 1–6. <https://doi.org/10.22441/jte.2024.v15i1.001>
- Tangkelangi, F. M. (2024). Optimasi Kinerja Internet Dengan Implementasi Metode Peer Connection Queue (PCQ) Untuk Manajemen Bandwidth di Yayasan Bina Darma. *Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi)*, 8(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.35870/jti.k.v8i4.2302>. Keywords: