

PENENTUAN PENINGKATAN BESARAN BANDWIDTH INTERNET MENGGUNAKAN METODE FUZZY AHP DAN TOPSIS

Rizka Hadiwiyan¹⁾

Abrianto Nugraha²⁾

E-mail : ¹⁾rzhadiwiyan¹⁾.si@upnjatim.ac.id , ²⁾abriantonugraha@gmail.com

^{1,2}Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Industri, UPN “Veteran” Jawa Timur

Abstrak

Berdasarkan hasil laporan riset pada kuartal ketiga tahun 2015 dari Akamai Technologies, kecepatan koneksi internet tertinggi di Indonesia menempati peringkat ke-72 di dunia. Peningkatan kecepatan koneksi internet tersebut dimungkinkan karena banyaknya penyedia jasa layanan internet nirkabel yang bermunculan. Agar dapat memberikan pelayanan maksimal kepada masyarakat, khususnya dalam hal pengaturan besaran bandwidth internet, sebuah perusahaan telekomunikasi harus selalu memantau dan menjaga performa kecepatan *access point* yang tersebar di berbagai wilayah. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi terhadap *access point* di beberapa lokasi yang mengalami penurunan besaran *bandwidth* internet. Penelitian ini mengimplementasikan kombinasi metode fuzzy AHP dan TOPSIS, dimana metode fuzzy AHP digunakan untuk mengetahui tingkat kepentingan setiap parameter penilaian dan TOPSIS digunakan untuk mengevaluasi alternatif *access point*. Penelitian ini diharapkan dapat membantu teknisi dalam melakukan perbaikan-perbaikan dengan cepat dan tepat agar dapat meningkatkan kualitas pelayanan yang baik sesuai kebutuhan.

Kata kunci: MCDM, fuzzy logic, AHP, TOPSIS, access point

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan hasil laporan riset pada kuartal ketiga tahun 2015 dari sebuah perusahaan layanan penyedia *content delivery network*, Akamai Technologies, kecepatan koneksi internet tertinggi di Indonesia menempati peringkat ke-72 di dunia dengan dengan kecepatan maksimal mencapai 31 Mbps. Pada kuartal keempat di tahun yang sama, kecepatan koneksi internet tertinggi di Indonesia mengalami peningkatan sebesar 157% sehingga menempatkan Indonesia di peringkat ke-6 dunia. Peningkatan kecepatan koneksi internet tersebut dimungkinkan karena banyaknya penyedia jasa layanan internet yang bermunculan, khususnya jasa layanan internet nirkabel.

Sebuah perusahaan BUMN yang bergerak di bidang telekomunikasi di Indonesia menyediakan jasa layanan internet nirkabel untuk masyarakat di berbagai wilayah. Layanan yang diberikan oleh perusahaan tersebut memiliki tujuan untuk mendukung program percepatan dan perluasan pembangunan ekonomi Indonesia di bidang ICT (*Information and Communication Technologies*) yang sebelumnya telah dicanangkan oleh pemerintah Republik Indonesia. Untuk dapat memenuhi tujuan tersebut, dibutuhkan kecepatan akses internet yang cepat sehingga perusahaan perlu memaksimalkan pelayanannya, khususnya dalam hal pengaturan besaran bandwidth internet di beberapa wilayah di Indonesia.

Banyaknya *access point* yang tersebar di seluruh Indonesia, khususnya di wilayah Surabaya, mengakibatkan perusahaan ini harus selalu memantau dan menjaga performa kecepatannya. Untuk memantau besaran *bandwidth* internet, bagian teknisi tidak menggunakan metode tertentu dan hanya dilakukan secara manual berdasarkan keputusan langsung dari manajer. Kondisi yang kurang efektif ini membuat bagian teknisi kesulitan mencari tahu lokasi *access point* yang mengalami penurunan besaran *bandwidth*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi agar dapat

mengetahui lokasi *access point* yang mengalami penurunan besaran *bandwidth* sehingga bagian teknisi dapat menentukan *access point* mana yang perlu diperbaiki terlebih dahulu.

Penelitian ini mengimplementasikan gabungan metode fuzzy AHP dan TOPSIS yang dikembangkan oleh Kilic, dkk [1] dan Patil dan Kant [2]. Metode fuzzy AHP digunakan untuk menghitung bobot setiap kriteria. Metode ini dipilih karena adanya ketidakpastian terhadap data yang akan dijadikan penilaian. Nilai bobot yang diperoleh dari perhitungan fuzzy AHP dijadikan sebagai input bobot pada metode TOPSIS. Berdasarkan hasil diskusi dengan manager bagian teknisi, parameter penilaian yang akan digunakan adalah jenis lokasi *access point*, jumlah pengguna, waktu pengiriman dan umpan balik paket data (ping), kecepatan mengunduh (*download*), dan kecepatan mengunggah (*upload*). Jumlah alternatif *access point* yang akan dievaluasi sebanyak 130 *access point* di wilayah Surabaya. Penelitian ini diharapkan dapat membantu teknisi dalam melakukan perbaikan-perbaikan dengan cepat dan tepat agar dapat meningkatkan kualitas pelayanan yang baik sesuai kebutuhan.

Penggabungan beberapa metode, umumnya disebut metode *hybrid* (campuran), untuk menyelesaikan permasalahan *multi-criteria decision making* (MCDM) telah banyak dikembangkan. Choudhary dan Shankar [3] mengembangkan gabungan metode STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS untuk melakukan seleksi dan evaluasi lokasi pembangunan pembangkit listrik termal di India. Metode fuzzy AHP digunakan untuk menentukan bobot kriteria kualitatif dan kuantitatif yang berdampak pada pemilihan lokasi pembangunan, sedangkan TOPSIS digunakan untuk menentukan peringkat alternatif lokasi berdasarkan pada nilai kinerja masing-masing alternatif. Büyüközkan dan Çifçi [4] mengembangkan pendekatan *hybrid* berdasarkan metode fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP, dan fuzzy TOPSIS untuk mengevaluasi "*green*" *supplier*. Implementasi metode *hybrid* lainnya dilakukan oleh Zolfani, dkk [5]. Dalam penelitian tersebut, metode Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) dan Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) digunakan untuk memilih lokasi pembangunan pusat perbelanjaan baru dengan memperhatikan perspektif masa depan keberlangsungan bisnis. Metode SWARA digunakan untuk menghitung prioritas tingkat kepentingan relatif semua kriteria dan metode WASPAS digunakan untuk mengevaluasi alternatif-alternatif potensial. Kombinasi metode Fuzzy ANP, Fuzzy TOPSIS, dan Fuzzy ELECTRE dikembangkan oleh Kabak, dkk [6] untuk melakukan seleksi pegawai. Kombinasi metode-metode tersebut bertujuan untuk menggabungkan penilaian faktor kualitatif dan kuantitatif.

2. FUZZY AHP

Analytic Hierarchy Process (AHP) yang dikembangkan oleh Saaty [7] telah menjadi salah satu teknik yang paling banyak digunakan untuk menyelesaikan tipe permasalahan *multi-criteria decision making* (MCDM). Teknik ini menguraikan masalah multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hirarki. Hirarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi level. Level pertama adalah tujuan, level berikutnya adalah faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya hingga level terakhir yaitu alternatif.

Karena nilai-nilai yang digunakan dalam metode AHP kurang mampu menangani ketidakjelasan dalam lingkungan pengambilan keputusan yang samar-samar, metode *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (fuzzy AHP) yang memanfaatkan teori himpunan fuzzy dikembangkan oleh Zadeh [8]. Fuzzy AHP menutupi kelemahan yang terdapat pada AHP, yaitu permasalahan terhadap kriteria yang memiliki sifat subjektif yang lebih banyak. Ketidakpastian bilangan dipresentasikan dengan urutan skala dalam bentuk bilangan segitiga fuzzy atau *Triangular Fuzzy Number* (TFN). Tabel 1 menunjukkan skala tingkat kepentingan bilangan segitiga fuzzy.

Tabel 1 Skala Perbandingan Tingkat Kepentingan Fuzzy

Tingkat Skala Fuzzy	Invers Skala Fuzzy	Definisi Variabel Linguistik
(1 , 1 , 1)	(1 , 1 , 1)	Perbandingan dua kriteria yang sama
1 = (1/2 , 1 , 3/2)	(2/3 , 1 , 2)	Sama Penting
3 = (1 , 3/2 , 2)	(1/2 , 2/3 , 1)	Hampir Cukup Penting
5 = (3/2 , 2 , 5/2)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	Cukup penting
7 = (2 , 5/2 , 3)	(1/3 , 2/5 , 1/2)	Hampir Lebih Penting
9 = (5/2 , 3 , 7/2)	(2/7 , 1/3 , 2/5)	Lebih Penting
1/3=(1/2 , 2/3 , 1)	(1 , 3/2 , 2)	Hampir Cukup tidak Penting
1/5=(2/5 , 1/2 , 2/3)	(3/2 , 2 , 5/2)	Cukup Tidak Penting
1/7=(1/3 , 2/5 , 1/2)	(2 , 5/2 , 3)	Hampir Lebih Tidak Penting
1/9=(2/7 , 1/3 , 2/5)	(5/2 , 3 , 7/2)	Lebih Tidak Penting

Beberapa pendekatan fuzzy AHP telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Pendekatan paling awal diperkenalkan oleh van Laarhoven & Pedrycz [9], dimana pada pendekatan ini membandingkan rasio fuzzy yang digambarkan dengan *triangular membership functions*. Metode lainnya dikembangkan oleh Chang [10] yang memperkenalkan metode *extent analysis* untuk nilai sintesis pada perbandingan berpasangan pada *fuzzy AHP*. Penelitian yang dilakukan oleh Calabrese [11] menggunakan metode fuzzy AHP untuk melakukan evaluasi terhadap aset *Intellectual Capital* (IC) pada sebuah perusahaan yang bergerak di bidang layanan ICT.

Pada penelitian ini, metode fuzzy AHP digunakan untuk menghitung bobot dari masing-masing kriteria dalam menentukan peningkatan besaran *bandwidth* internet di setiap *access point*. Adapun langkah-langkah penyelesaian fuzzy AHP model Chang [10] adalah sebagai berikut:

1. Hitung *fuzzy synthetic extents* (\tilde{S}_x) dari *matrik pairwise comparison* (TFN) antar kriteria/subkriteria pada kriteria/subkriteria ke x dengan persamaan:

$$\tilde{S}_x = \sum_{y=1}^n \tilde{C}_{xy} \otimes \left[\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n \tilde{C}_{ky} \right]^{-1}; x = 1, 2, \dots, n \tag{1}$$

Dimana n adalah ukuran *matrik pairwise comparison* antar kriteria/subkriteria, k adalah gabungan kriteria dari baris ke- i dimana $i=1$ sampai n

$$\sum_{y=1}^n \tilde{C}_{xy} = (\sum_{y=1}^n l_{xy}, \sum_{y=1}^n m_{xy}, \sum_{y=1}^n u_{xy}); x = 1, 2, \dots, n \tag{2}$$

Dimana l adalah baris bawah, m adalah batas tengah, dan u adalah batas atas.

$$\left[\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n \tilde{C}_{ky} \right]^{-1} = \left[\frac{1}{\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n u_{ky}}, \frac{1}{\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n m_{ky}}, \frac{1}{\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n l_{ky}} \right] \tag{3}$$

$$\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n \tilde{C}_{ky} = (\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n l_{ky}, \sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n m_{ky}, \sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n u_{ky}) = \left[(\sum_{y=1}^n l_{1y}, \sum_{y=1}^n m_{1y}, \sum_{y=1}^n u_{1y}) + \dots + (\sum_{y=1}^n l_{ny}, \sum_{y=1}^n m_{ny}, \sum_{y=1}^n u_{ny}) \right] \tag{4}$$

2. Membandingkan nilai *fuzzy synthetic extents* (\tilde{S}_x) kriteria / subkriteria yang satu dengan *fuzzy synthetic extents* (\tilde{S}_y) kriteria / subkriteria yang lain, yang disebut *degree of possibility* dengan persamaan:

$$V(\tilde{S}_x \geq \tilde{S}_y) = \begin{cases} 0, & \text{jika } m_x \geq m_y \\ 1, & \text{jika } l_y \geq u_x \\ \frac{l_y - u_x}{(m_x - u_x) - (m_y - l_y)}, & \text{jika tidak memenuhi } m_x \geq m_y \text{ dan } l_y \geq u_x \end{cases} \quad (5)$$

Dimana $V(\tilde{S}_x \geq \tilde{S}_y | y = 1, \dots, n; y \neq x)$ dan banyak kemungkinan $(n - 1)$.

3. Menentukan *minimum degree of possibility* dari $V(\tilde{S}_x \geq \tilde{S}_y)$.
4. Tentukan vektor bobot kepentingan yang dinormalisasikan $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$ dari *matriks pairwise comparison* dengan persamaan:

$$W_x = \frac{V(\tilde{S}_x \geq \tilde{S}_y | y=1, \dots, n; y \neq x)}{\sum_{k=1}^n V(\tilde{S}_k \geq \tilde{S}_y | y=1, \dots, n; y \neq k)} ; x = 1, \dots, n \quad (6)$$

Dimana W_x adalah angka-angka *nonfuzzy*.

3. TOPSIS

Salah satu metode yang sering digunakan dalam menyelesaikan masalah MCDM adalah TOPSIS, yang pertama kali diperkenalkan oleh Hwang and Yoon [12]. Metode ini memberikan solusi dari beberapa alternatif dengan cara membandingkan setiap alternatif dengan alternatif terbaik dan alternatif terburuk yang terdapat diantara alternatif-alternatif permasalahan. TOPSIS menggunakan jarak untuk melakukan perbandingan tersebut.

Pada metode ini diasumsikan setiap kriteria akan dimaksimalkan atau diminimalkan sehingga nilai solusi ideal positif dan solusi ideal negatif dari setiap kriteria akan ditentukan, dan setiap alternative akan dipertimbangkan berdasarkan informasi tersebut. Solusi ideal positif didefinisikan sebagai jumlah dari seluruh nilai terbaik yang dapat dicapai untuk setiap atribut, sedangkan solusi ideal negatif terdiri dari seluruh nilai terburuk yang dicapai untuk setiap atribut. Langkah-langkah penyelesaian masalah dengan metode TOPSIS adalah sebagai berikut:

1. Membuat matriks keputusan yang ternormalisasi dengan persamaan:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

Dimana x_{ij} adalah nilai setiap alternatif i pada setiap kriteria j dan r_{ij} merepresentasikan rating kriteria ternormalisasi dari alternatif i pada kriteria j .

2. Membuat matriks keputusan yang ternormalisasi terbobot dengan persamaan:

$$v_{ij} = r_{ij} * w_j, i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

Dimana v_{ij} merepresentasikan rating bobot ternormalisasi dan w_j merepresentasikan bobot setiap kriteria.

3. Menentukan matriks solusi ideal positif (A^*) dan matriks solusi ideal negatif (A^-) dengan persamaan:

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\} \text{ nilai maksimum} \quad (9)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} \text{ nilai minimum} \quad (10)$$

4. Menentukan jarak antara nilai setiap alternatif dengan matriks solusi ideal positif (d^*) dan matriks solusi ideal negatif (d^-) dengan persamaan:

$$d_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, i = 1, \dots, m \quad (11)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, \dots, m \quad (12)$$

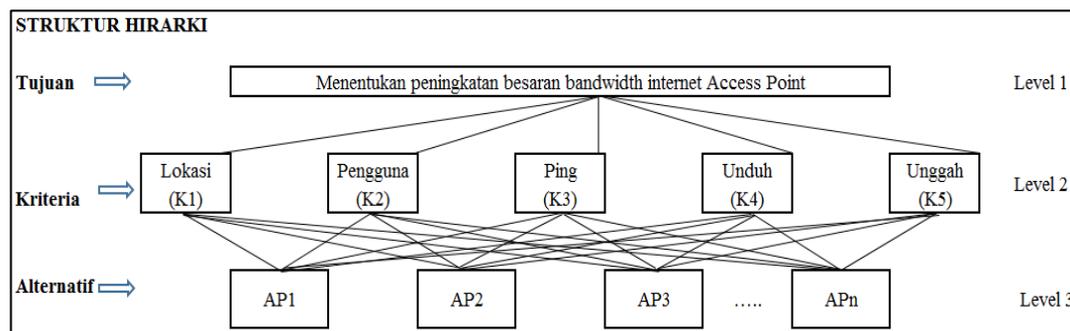
5. Menentukan nilai relatif kedekatan untuk setiap alternatif terhadap solusi ideal dengan persamaan:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, i = 1, \dots, m \quad (13)$$

6. Alternatif diurutkan sesuai dengan nilai CC_i dan nilai yang tertinggi dipilih sebagai alternatif terbaik.

4. IMPLEMENTASI METODE FUZZY AHP DAN TOPSIS

Implementasi gabungan metode fuzzy AHP dan TOPSIS difokuskan untuk menentukan *access point* di lokasi mana yang harus diperbaiki terlebih dahulu ketika mengalami penurunan besaran *bandwidth* internet. Metode fuzzy AHP digunakan untuk menghitung bobot setiap kriteria yang sudah ditentukan berdasarkan hasil diskusi antara manager bagian teknis dan stafnya. Metode ini dipilih karena adanya ketidakpastian terhadap data yang akan dijadikan penilaian. Nilai bobot yang diperoleh dari perhitungan fuzzy AHP dijadikan sebagai input bobot pada metode TOPSIS. Struktur hirarki yang menjadi dasar dalam proses penentuan peningkatan besaran *bandwidth* internet yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Struktur Hirarki Penentuan Peningkatan Besaran *Bandwidth* Internet

Level 1 merupakan tujuan dari sistem yang akan dibangun yaitu menentukan *access point* di lokasi mana yang harus diperbaiki terlebih dahulu untuk meningkatkan besaran *bandwidth* internetnya. Pada level 2 permasalahan tersebut dibagi menjadi lima kriteria, yaitu lokasi (K1), Pengguna (K2), Ping (K3), Unduh (K4), dan Unggah (K5). Deskripsi masing-masing kriteria dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kriteria Penilaian Penentuan Besaran *Bandwidth* Internet

No	KRITERIA	DESKRIPSI
1	Lokasi (K1)	Merupakan kriteria jenis lokasi <i>access point</i> berada (Tempat Terbuka, Kampus, Mall, Cafe, Kantor)
2	Pengguna (K2)	Merupakan kriteria berdasarkan banyaknya pengguna jasa layanan internet nirkabel

3	Ping (K3)	Merupakan kriteria berdasarkan waktu pengiriman dan umpan balik paket data (ms)
4	Unduh (K4)	Merupakan kriteria berdasarkan besarnya kecepatan download (Mbps)
5	Unggah (K5)	Merupakan kriteria berdasarkan besarnya kecepatan Upload (Mbps)

Setiap kriteria ditentukan tingkat kepentingan menggunakan skala Saaty [7]. Tingkat kepentingan pada masing-masing kriteria ditunjukkan pada Tabel 3. Pada level 3, alternatif *access point* (AP) yang akan menghasilkan nilai keputusan akhir ditentukan, kemudian dibuat perankingan berdasarkan nilai preferensi yang diperoleh. Nilai preferensi pada *access point* yang paling tinggi akan dipilih untuk diperbaiki terlebih dahulu. Jumlah sampel alternatif *access point* yang dinilai sebanyak 130 *access point*, dihitung berdasarkan rumus Slovin sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{(1 + N e^2)} = \frac{192}{(1 + 192 \times 0,05^2)} = 129,73 = 130$$

Dimana:

n = jumlah sampel (banyaknya lokasi *access point*)

N = jumlah populasi (lokasi *access point* di Surabaya)

e = batas toleransi kesalahan (5% = 0,05)

Data *access point* diperoleh dari hasil survei di beberapa lokasi di Surabaya menggunakan aplikasi speedtest. Contoh data alternatif *access point* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3 Tingkat Kepentingan Setiap Kriteria

KRITERIA		TINGKAT KEPENTINGAN	
LOKASI (K1)	Kantor	1	(Kurang Penting)
	Cafe	3	(Cukup Penting)
	Mall	5	(Penting)
	Kampus	7	(Lebih Penting)
	Tempat Umum	9	(Sangat Penting)
PENGGUNA (K2)	0 - 5 orang	1	(Kurang Penting)
	6 - 10 orang	3	(Cukup Penting)
	11 - 15 orang	5	(Penting)
	16 - 20 orang	7	(Lebih Penting)
	>21 orang	9	(Sangat Penting)
PING (K3)	>81 ms	1	(Kurang Penting)
	61 - 80 ms	3	(Cukup Penting)
	41 - 60 ms	5	(Penting)
	21 - 40 ms	7	(Lebih Penting)
	0 - 20 ms	9	(Sangat Penting)
UNDUH (K4)	0 - 5 Mbps	1	(Kurang Penting)
	6 - 10 Mbps	3	(Cukup Penting)
	11 - 15 Mbps	5	(Penting)
	16 - 20 Mbps	7	(Lebih Penting)
	>21 Mbps	9	(Sangat Penting)

UNGGAH (K5)	0 - 5 Mbps	1 (Kurang Penting)
	5 - 10 Mbps	3 (Cukup Penting)
	11 - 15 Mbps	5 (Penting)
	16 - 20 Mbps	7 (Lebih Penting)
	>21 Mbps	9 (Sangat Penting)

Tabel 4 Contoh Data Access Point di Surabaya

KODE	KRITERIA				
	Lokasi	Pengguna	Ping	Unduh	Unggah
AP1	Tempat Terbuka	20	31.20	12.69	35.31
AP2	Cafe	6	27.20	9.50	3.79
AP3	Tempat Terbuka	25	34.90	17.22	29.22
:					
:					
AP19	Mall	5	21.20	5.19	8.34
AP20	Mall	8	76.60	0.52	0.47
AP21	Kampus	5	22.20	9.25	12.89
:					
:					
AP129	Tempat Terbuka	5	17.80	15.44	23.11
AP130	Tempat Terbuka	1	21.60	1.52	5.13

4.1. Perhitungan Bobot Kriteria Menggunakan Fuzzy AHP

Fuzzy AHP digunakan untuk menentukan bobot setiap kriteria. Tahap awal dalam perhitungan metode fuzzy AHP adalah membuat *matriks pairwise comparison*, yaitu membandingkan nilai antar kriteria dengan menggunakan skala Saaty. Nilai perbandingan antar kriteria untuk studi kasus ini ditunjukkan pada Tabel 5. Penentuan nilai perbandingan antar kriteria berdasarkan hasil diskusi dengan manager bagian teknis.

Tabel 5 Matriks Pairwise Comparison antar kriteria

KRITERIA	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1	5	3	5	7
K2	0,2	1	3	3	3
K3	0,333	0,333	1	0,333	0,333
K4	0,2	0,333	3	1	1
K5	0,143	0,333	3	1	1

Langkah berikutnya yaitu menentukan nilai *matriks pairwise comparison* (Skala TFN) antar kriteria, diambil dengan cara mengkonversi nilai *matriks pairwise comparison* Skala Saaty menjadi nilai *matriks pairwise comparison* Skala TFN. Hasil konversi *matriks pairwise comparison* dapat dilihat pada Tabel 6. Setelah nilai *matriks pairwise comparison* (Skala TFN) antar kriteria terisi, dilakukan penjumlahan untuk 1, m, u tiap kriteria pada tahap selanjutnya.

Tabel 6 Matriks Pairwise Comparison Skala TFN

Kriteria	Kriteria														
	K1			K2			K3			K4			K5		
	l_1	m_1	u_1	l_2	m_2	u_2	l_3	m_3	u_3	l_4	m_4	u_4	l_5	m_5	u_5
K1	1	1	1	1,5	2	2,5	1	1,5	2	1,5	2	2,5	2	2,5	3
K2	0,4	0,5	0,667	1	1	1	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2
K3	0,5	0,667	1	0,5	0,667	1	1	1	1	0,5	0,667	1	0,5	0,667	1
K4	0,4	0,5	0,667	0,5	0,667	1	1	1,5	2	1	1	1	0,5	1	1,5
K5	0,333	0,4	0,5	0,5	0,667	1	1	1,5	2	0,667	1	2	1	1	1

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai *fuzzy synthetic extents* (\tilde{S}_x) menggunakan persamaan (1) sampai persamaan (4). Hasil perhitungan nilai *fuzzy synthetic extents* ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Fuzzy Synthetic Extents (S) Kriteria

Kriteria	S		
	l	m	u
K1	0.193	0.323	0.516
K2	0.121	0.215	0.360
K3	0.083	0.131	0.235
K4	0.094	0.167	0.290
K5	0.096	0.164	0.305

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *degree of possibility*, yaitu membandingkan nilai *fuzzy synthetic extents* (S) kriteria yang satu dengan kriteria yang lain sesuai menggunakan persamaan (5). Setelah mendapatkan nilai *degree of possibility* dari masing-masing perbandingan kriteria, tentukan nilai *minimum degree of possibility* dari masing-masing perbandingan kriteria. Selanjutnya, hitung nilai normalisasi (*eigen vector*) dari masing-masing kriteria menggunakan persamaan (6). Hasil normalisasi tersebut merupakan bobot pada masing-masing kriteria yang akan digunakan pada perhitungan TOPSIS. Hasil perhitungan *degree of possibility*, *minimum degree of possibility*, dan normalisasi masing-masing kriteria ditunjukkan pada Tabel 8. Berdasarkan hasil perhitungan metode fuzzy AHP, diketahui tingkat kepentingan untuk setiap kriteria adalah lokasi (K1) sebesar 0,350; pengguna (K2) sebesar 0,192; ping (K3) sebesar 0,142; unduh (K4) sebesar 0,159; unggah (K5) sebesar 0,157.

Tabel 8 Nilai *degree of possibility*, *minimum degree of possibility*, dan normalisasi Kriteria

Kriteria	$V(S_x \geq S_y)$	Summary of Degree	Minimum of Degree	Normalisasi
	$S_x \geq S_y$			
K1	K1 \geq K2	1	1	0.350
	K1 \geq K3	1		
	K1 \geq K4	1		
	K1 \geq K5	1		
K2	K2 \geq K1	0.547	0.547	0.192
	K2 \geq K3	1		
	K2 \geq K4	1		
	K2 \geq K5	1		

K3	K3 >= K1	0.405	0.405	0.142
	K3 >= K2	0.529		
	K3 >= K4	0.673		
	K3 >= K5	0.676		
K4	K4 >= K1	0.455	0.455	0.159
	K4 >= K2	0.663		
	K4 >= K3	1		
	K4 >= K5	1		
K5	K5 >= K1	0.450	0.450	0.157
	K5 >= K2	0.646		
	K5 >= K3	1		
	K5 >= K4	0.954		

4.2. Perhitungan Nilai Alternatif Menggunakan TOPSIS

Setelah mendapatkan nilai bobot untuk masing-masing kriteria melalui metode fuzzy AHP, metode TOPSIS digunakan untuk memilih alternatif terbaik. Tabel 9 menunjukkan contoh nilai data alternatif *access point* dalam skala Saaty dan bobot pada masing-masing kriteria.

Tabel 9 Nilai data alternatif dengan Skala Saaty

Alternatif	Kriteria				
	K1	K2	K3	K4	K4
AP1	9	7	7	5	9
AP2	3	3	7	3	1
AP3	9	9	7	7	9
AP4	9	9	7	3	7
Bobot	0.350	0.192	0.142	0.159	0.157

Langkah awal yang dilakukan adalah membuat matriks keputusan ternormalisasi menggunakan persamaan (7). Tabel 10 menunjukkan hasil perhitungan matriks keputusan ternormalisasi masing-masing alternatif pada setiap kriteria.

Tabel 10 Matriks Keputusan Ternormalisasi

Alternatif	Kriteria				
	K1	K2	K3	K4	K4
AP1	0.124	0.234	0.108	0.165	0.198
AP2	0.041	0.100	0.108	0.099	0.022
AP3	0.124	0.300	0.108	0.232	0.198
AP4	0.124	0.300	0.108	0.099	0.154

Tahap kedua adalah membuat matriks keputusan ternormalisasi terbobot menggunakan persamaan (8). Hasil perhitungan matriks keputusan ternormalisasi terbobot masing-masing alternatif pada setiap kriteria ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11 Matriks Keputusan Ternormalisasi Terbobot

Alternatif	Kriteria				
	K1	K2	K3	K4	K4
AP1	0.043	0.045	0.015	0.026	0.031
AP2	0.014	0.019	0.015	0.016	0.003
AP3	0.043	0.058	0.015	0.037	0.031
AP4	0.043	0.058	0.015	0.016	0.024

Tahap ketiga adalah menghitung nilai solusi ideal positif (A^*) dan solusi ideal negatif (A^-) untuk setiap kriteria menggunakan persamaan (9) dan (10). Tabel Tabel 12 menunjukkan nilai solusi ideal positif dan solusi ideal negatif untuk setiap kriteria.

Tabel 12 Solusi Ideal Positif dan Solusi Ideal Negatif

Solusi Ideal	Kriteria				
	K1	K2	K3	K4	K4
A^*	0.043	0.058	0.020	0.047	0.031
A^-	0.005	0.006	0.002	0.005	0.003

Tahap keempat yaitu menentukan jarak antara nilai setiap alternatif dengan nilai solusi ideal positif dan solusi ideal negatif menggunakan persamaan (11) dan (12). Tabel 13 menunjukkan hasil perhitungan jarak setiap alternatif dari solusi ideal positif dan solusi ideal negatif.

Tabel 13 Jarak Setiap Alternatif dari Solusi Ideal Positif dan Solusi Ideal Negatif

Alternatif	d^*	d^-
AP1	0.025	0.066
AP2	0.064	0.023
AP3	0.011	0.078
AP4	0.033	0.069

Tahap terakhir adalah menghitung nilai relatif kedekatan untuk setiap alternatif terhadap solusi ideal dengan persamaan (13). Nilai relatif kedekatan yang tertinggi akan dipilih sebagai alternatif terbaik. Hasil perhitungan nilai relatif kedekatan pada 130 *access point* ditunjukkan pada Tabel 14. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa urutan lokasi *access point* yang perlu diperbaiki terlebih dahulu adalah AP18 dengan nilai relatif kedekatan 0,950; AP3 dengan nilai relatif kedekatan 0,872; AP13 dengan nilai relatif kedekatan 0,729, dst.

Tabel 14 Nilai Relatif Kedekatan untuk 130 *access point*

Alternatif	CC_i	Rank									
AP18	0.950	1	AP119	0.370	34	AP116	0.333	67	AP87	0.190	99
AP3	0.872	2	AP21	0.367	35	AP80	0.327	68	AP100	0.190	99
AP13	0.729	3	AP102	0.365	36	AP24	0.317	69	AP70	0.177	101
AP1	0.725	4	AP124	0.365	36	AP25	0.317	69	AP84	0.174	102
AP48	0.715	5	AP26	0.362	38	AP57	0.305	71	AP96	0.174	102
AP6	0.698	6	AP72	0.362	39	AP29	0.293	72	AP37	0.170	104
AP4	0.680	7	AP90	0.362	39	AP17	0.286	73	AP41	0.163	105
AP14	0.643	8	AP111	0.360	41	AP19	0.285	74	AP44	0.163	105

AP115	0.534	9	AP36	0.358	42	AP45	0.283	75	AP59	0.163	105
AP129	0.534	9	AP128	0.358	42	AP2	0.267	76	AP108	0.163	105
AP75	0.526	11	AP49	0.354	44	AP42	0.259	77	AP126	0.163	105
AP122	0.499	12	AP50	0.354	44	AP20	0.259	78	AP55	0.157	110
AP10	0.498	13	AP121	0.354	44	AP22	0.259	78	AP107	0.157	110
AP16	0.480	14	AP82	0.354	47	AP113	0.256	80	AP56	0.151	112
AP23	0.477	15	AP8	0.353	48	AP32	0.252	81	AP30	0.143	113
AP109	0.447	16	AP99	0.351	49	AP110	0.241	82	AP86	0.139	114
AP125	0.433	17	AP27	0.348	50	AP93	0.235	83	AP53	0.123	115
AP85	0.412	18	AP28	0.348	50	AP112	0.225	84	AP106	0.123	115
AP51	0.408	19	AP76	0.348	50	AP46	0.223	85	AP62	0.108	117
AP105	0.399	20	AP35	0.347	53	AP66	0.221	86	AP68	0.097	118
AP117	0.399	20	AP71	0.347	53	AP63	0.217	87	AP88	0.097	118
AP127	0.399	20	AP74	0.347	53	AP79	0.217	87	AP52	0.092	120
AP33	0.394	23	AP89	0.347	53	AP120	0.213	89	AP78	0.092	120
AP43	0.390	24	AP92	0.347	53	AP31	0.208	90	AP58	0.078	122
AP104	0.388	25	AP98	0.347	53	AP95	0.208	90	AP39	0.050	123
AP11	0.387	26	AP47	0.343	59	AP40	0.202	92	AP61	0.050	123
AP34	0.383	27	AP81	0.343	59	AP5	0.198	93	AP65	0.050	123
AP123	0.381	28	AP83	0.343	59	AP15	0.196	94	AP67	0.050	123
AP101	0.380	29	AP91	0.343	59	AP54	0.196	94	AP69	0.050	123
AP103	0.373	30	AP38	0.342	63	AP97	0.196	94	AP7	0.000	128
AP118	0.373	30	AP77	0.342	63	AP114	0.196	97	AP9	0.000	128
AP130	0.373	30	AP73	0.337	65	AP94	0.192	98	AP60	0.000	128
AP12	0.371	33	AP64	0.336	66						

5. KESIMPULAN

Sebuah perusahaan yang bergerak di bidang penyedia jasa layanan internet nirkabel harus selalu memantau dan menjaga performa kecepatan *access point* yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia, khususnya di Surabaya. Pemantauan dilakukan agar perusahaan dapat memberikan pelayanan maksimal kepada masyarakat, khususnya dalam hal pengaturan besaran bandwidth internet. Kombinasi metode fuzzy AHP dan TOPSIS digunakan untuk mengetahui lokasi *access point* yang mengalami penurunan besaran *bandwidth* sehingga bagian teknisi dapat menentukan *access point* mana yang perlu diperbaiki terlebih dahulu. Metode fuzzy AHP digunakan untuk menghitung bobot setiap kriteria yang kemudian dijadikan sebagai input bobot dalam mengevaluasi setiap *access point* melalui metode TOPSIS.

Berdasarkan hasil perhitungan fuzzy AHP, diketahui urutan tingkat kepentingan setiap parameter penilaian yaitu jenis lokasi *access point* (0,035), jumlah pengguna (0,192), kecepatan mengunduh (0,159), kecepatan mengunggah (0,157), dan waktu pengiriman dan umpan balik paket data atau ping (0,142). Hasil evaluasi terhadap 130 sampel *access point* melalui metode TOPSIS diperoleh hasil berupa lokasi *access point* yang mendapat prioritas tertinggi untuk ditingkatkan besaran *bandwidth* internetnya adalah AP18 dengan nilai relatif kedekatan 0,950. Jika dalam satu hari manajer bagian teknisi akan memprioritaskan lima *access point* untuk diperbaiki, maka urutan empat lokasi *access point* berikutnya yang perlu ditingkatkan besaran *bandwidth* internetnya adalah AP3 (0,872), AP13 (0,729), AP1 (0,725), dan AP48 (0,715).

Untuk penelitian selanjutnya, beberapa metode MCDM lainnya, seperti PROMETHEE, VIKOR, atau ELECTRE dapat dijadikan kombinasi tambahan atau menggantikan kombinasi salah satunya. Agar evaluasi semakin akurat, parameter penilaian kualitatif dapat ditambahkan.

6. DAFTAR RUJUKAN

- [1] H. S. Kilic, S. Zaim and D. Delen, "Development of a hybrid methodology for ERP system selection: The case of Turkish Airlines," *Decision Support Systems*, vol. 66, p. 82–92, 2014.
- [2] S. K. Patil and R. Kant, "A fuzzy AHP-TOPSIS framework for ranking the solutions of Knowledge Management adoption in Supply Chain to overcome its barriers," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 2, p. 679–693, 2014.
- [3] D. Choudhary and R. Shankar, "An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India," *Energy*, vol. 42, no. 1, p. 510–521, 2012.
- [4] G. Büyüközkan and G. Çifçi, "A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 3, p. 3000–3011, 2012.
- [5] S. H. Zolfani, M. H. Aghdaie, A. Derakhti, E. K. Zavadskas and M. H. M. Varzandeh, "Decision making on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating," *Expert Systems with Applications*, vol. 40, no. 17, p. 7111–7121, 2013.
- [6] M. Kabak, S. Burmaoğlu and Y. Kazançoğlu, "A fuzzy hybrid MCDM approach for professional selection," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 3, p. 3516–3525, 2012.
- [7] T. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw-Hill, 1980.
- [8] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965.
- [9] P. van Laarhoven and W. Pedrycz, "A fuzzy extension of Saaty's priority theory," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 11, no. 1-3, pp. 229-241, 1983.
- [10] D.-Y. Chang, "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP," *European Journal of Operational Research*, vol. 95, no. 3, p. 649–655, 1996.
- [11] A. Calabrese, R. Costa and T. Menichini, "Using Fuzzy AHP to manage Intellectual Capital assets: An application to the ICT service industry," *Expert Systems with Applications*, vol. 40, no. 9, p. 3747–3755, 2013.
- [12] C.-L. Hwang and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State-of-the-Art Survey*, New York: Springer, 1981.