

Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan *Internet Service Provider* Menggunakan Metode TOPSIS Berbasis Web di Kota Batam

DOI: <http://dx.doi.org/10.35889/jutisi.v15i2.3487>

Creative Commons License 4.0 (CC BY – NC)



Rita Rianggun^{1*}, Yonhendri²

Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Ilmu Komputer Muhammadiyah Batam, Batam, Indonesia

*e-mail *Corresponding Author*: ritarianggun17@gmail.com

Abstract

Selecting the appropriate Internet Service Provider (ISP) poses a complex challenge for consumers in Batam City given the numerous options with diverse characteristics. This research aims to develop a web-based decision support system using the TOPSIS method to facilitate objective ISP selection processes. The system is designed with React.js architecture that processes six criteria: download speed, upload speed, price, service quality, coverage area, and connection stability from six major ISP providers in Batam. Accuracy validation was conducted by comparing system recommendations against actual preferences of 30 users using Precision and Recall metrics. Validation results demonstrate Precision of 88.9%, Recall of 88.9%, and F1-Score of 88.9%, exceeding the established minimum targets (Precision $\geq 80\%$, Recall $\geq 75\%$, F1-Score $\geq 77\%$). The system successfully generates recommendations with preference values up to 92% for multi-ISP scenarios and handles single-ISP edge cases with mathematically valid fallback mechanisms, proven effective in providing objective and transparent recommendations.

Keywords: *Decision support system; TOPSIS; Internet service provider; Multicriteria decision making; Web application*

Abstrak

Pemilihan *Internet Service Provider* (ISP) yang tepat menjadi tantangan kompleks bagi konsumen di Kota Batam mengingat banyaknya pilihan dengan karakteristik beragam. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pendukung keputusan berbasis web menggunakan metode TOPSIS untuk membantu proses seleksi ISP secara objektif. Sistem dirancang dengan arsitektur React.js yang memproses enam kriteria: kecepatan *download*, kecepatan *upload*, harga, kualitas layanan, jangkauan wilayah, dan stabilitas koneksi dari enam provider ISP utama di Batam. Metode validasi akurasi dilakukan dengan membandingkan rekomendasi sistem terhadap preferensi 30 pengguna aktual menggunakan metrik *Precision* dan *Recall*. Hasil validasi menunjukkan *Precision* 88.9%, *Recall* 88.9%, dan *F1-Score* 88.9%, melampaui target minimum yang ditetapkan (*Precision* $\geq 80\%$, *Recall* $\geq 75\%$, *F1-Score* $\geq 77\%$). Sistem berhasil menghasilkan rekomendasi dengan nilai preferensi hingga 92% untuk multi-ISP dan menangani edge case single-ISP dengan mekanisme fallback yang matematis valid, terbukti efektif memberikan rekomendasi objektif dan transparan.

Kata kunci: *Sistem pendukung keputusan; TOPSIS; Internet service provider; Multicriteria decision making; Aplikasi Web*

1. Pendahuluan

Transformasi digital telah menempatkan akses internet sebagai infrastruktur kritis bagi kehidupan masyarakat modern. Penetrasi internet di Indonesia mencapai 77,02% pada tahun 2023 dengan total 215,63 juta pengguna aktif [1]. Kota Batam sebagai pusat ekonomi dan perdagangan di Kepulauan Riau mengalami pertumbuhan kebutuhan internet yang tinggi, didorong oleh perkembangan sektor Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) yang berkontribusi signifikan terhadap ekonomi daerah [2]. Kondisi ini menciptakan permintaan

terhadap layanan *Internet Service Provider* (ISP) yang berkualitas dan sesuai dengan kebutuhan spesifik pengguna.

Pemilihan ISP yang tepat menjadi permasalahan kompleks karena setiap provider memiliki karakteristik berbeda pada aspek kecepatan koneksi, stabilitas jaringan, harga, jangkauan wilayah, dan kualitas layanan. Konsumen sering mengalami kesulitan dalam membandingkan berbagai alternatif ISP secara objektif karena keterbatasan informasi terstruktur dan metode evaluasi yang sistematis [3]. Proses seleksi yang dilakukan secara subjektif seringkali menghasilkan keputusan suboptimal, dimana konsumen tidak mendapatkan layanan yang paling sesuai dengan kebutuhan dan budget yang tersedia.

Permasalahan semakin kompleks ketika melibatkan *multiple criteria decision making*. Kriteria seperti kecepatan download mungkin menjadi prioritas utama bagi pengguna gaming atau content creator, sementara UMKM lebih memprioritaskan stabilitas koneksi dan harga terjangkau [4]. Perbedaan prioritas ini menunjukkan perlunya sistem yang dapat mengakomodasi preferensi pengguna yang heterogen dalam proses pengambilan keputusan.

Berbagai metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) telah digunakan untuk mengatasi permasalahan pemilihan ISP. Penelitian Hamidy dan Yulianti [5] mengimplementasikan metode TOPSIS untuk seleksi ISP dan membuktikan efektivitasnya dalam menghasilkan rekomendasi yang akurat. Hidayat et al. [6] mengembangkan sistem rekomendasi ISP berbasis TOPSIS yang menunjukkan hasil memuaskan. Setiawan dan Pramana [7] menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) namun mengidentifikasi keterbatasan dalam hal kompleksitas proses dan waktu komputasi. Wahyudi [8] melakukan studi komparatif yang menunjukkan TOPSIS memiliki *discriminatory power* lebih tinggi dibandingkan *Simple Additive Weighting* (SAW) dalam membedakan alternatif. Kurniawan et al. [9] menerapkan *Weighted Product* namun menemukan keterbatasan dalam menangani dynamic weight adjustment.

Metode TOPSIS dipilih dalam penelitian ini karena memiliki keunggulan signifikan dalam menangani multiple criteria decision making. TOPSIS bekerja dengan prinsip bahwa alternatif terpilih harus memiliki jarak *Euclidean* terpendek dari positive ideal solution dan jarak terjauh dari *negative ideal solution* [10]. Keunggulan TOPSIS meliputi logika yang sederhana dan mudah dipahami, efisiensi komputasi dengan kompleksitas waktu $O(mn)$ untuk m alternatif dan n kriteria, kemampuan mengukur performa relatif alternatif secara simultan, fleksibilitas dalam mengakomodasi berbagai jenis kriteria, dan hasil yang stabil terhadap perubahan kecil pada data input [11].

Penelitian komparatif yang menganalisis 266 publikasi aplikasi MCDM menunjukkan bahwa TOPSIS merupakan salah satu pendekatan paling banyak diadopsi karena kesederhanaan konseptual dan efisiensi komputasi [25]. Rokhman et al. [13] mengkonfirmasi superioritas TOPSIS dalam menangani *conflicting criteria* dengan tingkat konsistensi 94% dibandingkan SAW yang hanya 78%, serta computational efficiency 40% lebih cepat. Prasetyo dan Suharso [12] membuktikan bahwa TOPSIS menghasilkan akurasi lebih tinggi dibandingkan metode MCDM lainnya dalam kasus seleksi vendor.

Penelitian-penelitian terdahulu memiliki beberapa keterbatasan yang menjadi fokus pengembangan dalam penelitian ini. Pertama, sebagian besar penelitian menggunakan static weight assignment yang tidak mengakomodasi heterogenitas preferensi pengguna. Kedua, penelitian terdahulu tidak menangani edge cases secara eksplisit, khususnya kondisi dimana hanya tersedia satu alternatif setelah filtering. Ketiga, validasi matematis umumnya terbatas pada verifikasi output akhir tanpa detailed *step-by-step validation*. Keempat, aspek *user experience* dan *system responsiveness* belum menjadi fokus utama.

State of the art penelitian ini terletak pada pengembangan sistem pendukung keputusan berbasis web yang mengintegrasikan metode TOPSIS dengan mekanisme weight mapping otomatis berdasarkan profil pengguna dan prioritas kebutuhan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan bobot kriteria statis, sistem ini mampu secara otomatis menentukan distribusi bobot berdasarkan kombinasi use case (keluarga, gaming, kantor, *streaming*) dan *priority* (kecepatan, harga, keandalan, jangkauan). Sistem juga mengimplementasikan mekanisme fallback untuk menangani *edge case* ketika hanya terdapat satu ISP yang tersedia, memberikan nilai preferensi 100% sebagai indikator "only available option" yang secara matematis valid. Pendekatan ini mengadopsi konsep *network selection* dalam *heterogeneous wireless networks* [14] yang diadaptasi untuk konteks pemilihan ISP dengan karakteristik pasar Indonesia.

Kontribusi penelitian ini meliputi pengembangan algoritma TOPSIS yang terintegrasi dengan sistem filtering multi-tahap berbasis lokasi dan budget, implementasi weight mapping framework yang menghasilkan bobot kriteria dinamis, validasi matematis komprehensif dengan toleransi error di bawah 0,001, serta *deployment* sistem berbasis web yang *user-friendly* dan dapat diakses secara real-time. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi praktis bagi masyarakat Kota Batam dalam melakukan seleksi ISP yang optimal, serta memberikan kontribusi akademis dalam pengembangan sistem pendukung keputusan berbasis MCDM.

2. Metodologi

2.1. Algoritma TOPSIS

Implementasi algoritma TOPSIS mengikuti lima tahapan matematis yang terstandarisasi. Setiap tahapan diimplementasikan sebagai fungsi modular dalam sistem untuk memastikan maintainability dan testability kode. TOPSIS bekerja dengan prinsip bahwa alternatif terpilih harus memiliki jarak Euclidean terpendek dari positive ideal solution (PIS) dan jarak terjauh dari negative ideal solution (NIS) [10].

Tahap 1: Normalisasi Matriks Keputusan

Normalisasi dilakukan menggunakan vector normalization untuk menghilangkan pengaruh satuan pengukuran yang berbeda antar kriteria. Formula normalisasi adalah:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (1)$$

dimana:

- r_{ij} = nilai ternormalisasi kriteria j untuk alternatif i
- x_{ij} = nilai asli kriteria j untuk alternatif i
- m = jumlah alternatif

Tahap 2: Pemberian Bobot

Matriks ternormalisasi dikalikan dengan bobot kriteria untuk menghasilkan weighted normalized matrix:

$$v_j = w_j \times r_{ij} \quad (2)$$

dimana:

- v_j = nilai ternormalisasi kriteria j untuk alternatif i
- w_j = nilai asli kriteria j untuk alternatif i
- $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ = jumlah alternatif

Tahap 3: Penentuan Solusi Ideal

Positive ideal solution (A^+) dan negative ideal solution (A^-) ditentukan berdasarkan tipe kriteria:

Untuk kriteria benefit:

$$A_j^+ = \max_i(v_{ij}) \quad (3)$$

$$A_j^- = \min_i v_{ij} \quad (4)$$

Untuk kriteria cost:

$$A_j^+ = \min_i v_{ij} \quad (5)$$

$$A_j^- = \max_i(v_{ij}) \quad (6)$$

Tahap 4: Perhitungan Separation Measure

Jarak Euclidean dari setiap alternatif terhadap solusi ideal positif dan negatif:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^+)^2} \quad (7)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^-)^2} \quad (8)$$

Tahap 5: Perhitungan Preference Value
 Nilai preferensi atau relative closeness coefficient:

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (9)$$

dimana $0 \leq V_i \leq 1$, nilai mendekati 1 mengindikasikan alternatif yang lebih baik.

2.2. Data dan Variabel Penelitian

Objek penelitian adalah enam provider ISP utama yang beroperasi di Kota Batam sebagaimana disajikan dalam Tabel 2. Data karakteristik ISP dikumpulkan melalui survei official website masing-masing provider, dokumentasi paket layanan, serta data kualitas layanan dari forum pengguna dan review online pada periode September-Oktober 2025.

1) Parameter Input Sistem:

Tabel 1. Parameter Input Pengguna

Parameter	Data	Type Input
Lokasi	Pilihan kecamatan yang ada di kota Batam	Dropdown
Budget	Range Rp.100.000 – Rp.1.000.000	Slider
Use Case	Keluarga, Gaming, kantor, streaming, atau umum	Selection
Priority	Kecepatan, harga, keandalan, atau jangkauan	Selection

Sistem menerima empat parameter input pengguna, seperti pada table 3.

2) Variabel Kriteria Evaluasi:

Sistem memproses enam kriteria evaluasi ISP sebagaimana disajikan dalam Tabel 3. Setiap kriteria memiliki karakteristik benefit atau cost yang menentukan arah optimasi dalam algoritma TOPSIS. Kriteria benefit (C_1, C_2, C_4, C_5, C_6) dioptimasi untuk nilai maksimum, sementara kriteria cost (C_3) dioptimasi untuk nilai minimum.

3) Parameter Output Sistem:

Sistem menghasilkan output berupa:

- Ranking ISP: Urutan alternatif dari nilai preferensi tertinggi ke terendah
- Nilai preferensi (V): Score dalam rentang $[0,1]$ untuk setiap ISP
- Jarak ideal (D^+ dan D^-): Separation measure dari solusi ideal
- Rekomendasi utama: ISP dengan nilai preferensi tertinggi

4) Ukuran Sampel Data:

Penelitian menggunakan data lengkap 6 ISP utama di Kota Batam yang mencakup 100% provider dengan market share signifikan. Pengujian fungsionalitas dilakukan melalui 3 test case dengan skenario berbeda (single-ISP dan multi-ISP). Evaluasi usability melibatkan 15 responden yang merepresentasikan berbagai user segments: mahasiswa (4 orang), pekerja kantoran (5 orang), pemilik UMKM (4 orang), dan ibu rumah tangga (2 orang).

Tabel 2. Daftar Internet Service Provider di Kota Batam

No	Nama Provider	Kecepatan (Mbps)	Harga (Rp/bulan)	Coverage Area
1	IndiHome	50/50	380.000	Seluruh Batam
2	Biznet Home	75/75	450.000	Batam Kota, Sekupang, Sagulung
3	MyRepublic	100/100	400.000	Batam Kota, Lubuk Baja, Sekupang
4	First Media	50/25	350.000	Batam Kota, Sagulung
5	CBN	100/100	499.000	Batam Kota, Sekupang
6	Oxygen.id	100/100	500.000	Batam Kota

Kriteria evaluasi yang digunakan dalam sistem dirancang untuk mencakup aspek-aspek kritis yang mempengaruhi kualitas layanan ISP. Setiap kriteria memiliki satuan pengukuran dan karakteristik spesifik sebagaimana disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria Evaluasi Pemilihan ISP

Kriteria	Simbol	Satuan	Tipe	Rentang Nilai
Kecepatan Download	C ₁	Mbps	Benefit	50-100
Kecapatan Upload	C ₂	Mbps	Benefit	25-100
Harga Bulanan	C ₃	Rupiah	Cost	350.000-500.000
Kualitas Layanan	C ₄	Skor	Benefit	75-90
Jangkauan Wilayah	C ₅	Persentase	Benefit	38-100
Stabilitas Koneksi	C ₆	Persentase	Benefit	95-99

Sistem diimplementasikan sebagai aplikasi web berbasis React.js yang dapat diakses melalui browser. Implementasi mencakup tiga komponen utama: modul input preferensi pengguna untuk mengumpulkan lokasi, budget, use case, dan priority; engine komputasi yang memproses algoritma TOPSIS dengan dynamic weight mapping; serta modul presentasi yang menampilkan hasil rekomendasi ISP beserta detail kesesuaian.

Mekanisme weight mapping otomatis dirancang untuk menghasilkan distribusi bobot kriteria berdasarkan profil pengguna. Sistem menerima dua parameter input: use case (keluarga, gaming, kantor, streaming, umum) dan priority (kecepatan, harga, keandalan, jangkauan). Distribusi bobot untuk setiap kombinasi priority disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Distribusi Bobot Berdasarkan Priority

Priority	C ₁ (DL)	C ₂ (UL)	C ₃ (Price)	C ₄ (Quality)	C ₅ (Coverage)	C ₆ (Stability)
Kecepatan	0.37	0.24	0.13	0.10	0.05	0.11
Harga	0.15	0.10	0.41	0.13	0.08	0.13
Keandalan	0.18	0.14	0.17	0.19	0.08	0.24
Jangkauan	0.20	0.15	0.15	0.15	0.25	0.10
Umum	0.23	0.18	0.17	0.19	0.08	0.15

Sistem filtering multi-tahap diimplementasikan untuk menyaring ISP sebelum proses ranking TOPSIS. Filtering dilakukan dalam dua tahap berurutan: location-based filtering yang menyaring ISP berdasarkan ketersediaan di kecamatan yang dipilih pengguna, dan budget-based filtering yang menyaring ISP dengan harga tidak melebihi budget maksimum dengan tolerance margin 10%. Algoritma filtering dirancang untuk memastikan bahwa hanya ISP yang memenuhi constraint dasar yang masuk ke proses TOPSIS, meningkatkan relevansi rekomendasi.

Mekanisme fallback khusus diimplementasikan untuk menangani edge case ketika hanya terdapat satu ISP setelah filtering. Dalam kondisi normal, single alternative akan menghasilkan kondisi matematis:

$$D_i^+ = 0 \text{ dan } D_i^- = 0 \quad (10)$$

mengakibatkan:

$$V_i = \frac{0}{0+0} = \text{undifined} \quad (11)$$

System mendeteksi kondisi ini dan memberikan:

$$V_i = 1.0 \text{ (100\%)} \quad (12)$$

sebagai indikator valid bahwa ISP tersebut adalah satu-satunya opsi tersedia, disertai notifikasi informatif kepada pengguna.

2.3. Metode Validasi Performa

Validasi akurasi sistem dilakukan untuk mengukur seberapa baik rekomendasi yang dihasilkan oleh metode TOPSIS sesuai dengan preferensi aktual pengguna. Pendekatan validasi menggunakan metrik Precision dan Recall yang umum digunakan dalam evaluasi sistem

rekomendasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil rekomendasi sistem terhadap pilihan ISP yang sebenarnya dipilih oleh pengguna berdasarkan preferensi mereka.

1) Pengumpulan Data Preferensi Pengguna

Data preferensi dikumpulkan melalui survei terhadap 30 responden yang merupakan pengguna aktif layanan internet di Kota Batam. Responden merepresentasikan berbagai segmen: mahasiswa (8 orang), pekerja kantoran (10 orang), pemilik UMKM (8 orang), dan ibu rumah tangga (4 orang). Setiap responden diminta untuk:

- Menentukan preferensi mereka terhadap empat parameter input sistem: lokasi tempat tinggal, budget maksimum, use case (keluarga/gaming/kantor/streaming/umum), dan priority (kecepatan/harga/keandalan/jangkauan).
- Memilih ISP yang menurut mereka paling sesuai dengan kebutuhan berdasarkan preferensi tersebut (pilihan aktual pengguna).
- Menggunakan sistem untuk mendapatkan rekomendasi ISP berdasarkan preferensi yang sama.

Data yang dikumpulkan mencakup preferensi input, pilihan aktual pengguna (ground truth), dan rekomendasi yang dihasilkan sistem untuk setiap responden. Struktur data validasi disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Struktur Data Validasi (Sample 5 dari 30 Responden)

ID Responden	Lokasi	Budget (Rp)	Use Case	Priority	Pilihan User (Ground Truth)	Rekomendasi Sistem	Kategori
R01	Batam Kota	400.000	Gaming	Kecepatan	MyRepublic	MyRepublic	TP
R02	Lubuk Baja	450.000	Kantor	Keandalan	Biznet Home	Biznet Home	TP
R03	Batam Kota	350.000	Keluarga	Harga	First Media	First Media	TP
R04	Saguling	500.000	Streaming	Kecepatan	MyRepublic	Telkom IndiHome	FP
R05	Batam Kota	400.000	Umum	Jangkauan	Telkom IndiHome	MyRepublic	FN

Keterangan:

- TP (True Positive) : Rekomendasi sistem sesuai dengan pilihan user
 FP (False Positive) : Sistem merekomendasikan ISP yang tidak dipilih user
 FN (False Negative) : Sistem tidak merekomendasikan ISP yang dipilih user

2) Metrik Evaluasi Akurasi

Akurasi sistem dievaluasi menggunakan tiga metrik utama: Precision, Recall, dan F1-Score. Metrik-metrik ini dipilih karena sesuai untuk mengukur performa sistem rekomendasi dalam konteks binary classification (sistem merekomendasikan ISP atau tidak).

Precision mengukur proporsi rekomendasi sistem yang benar terhadap seluruh rekomendasi yang diberikan:

$$Precision = \frac{TP}{(TP+FP)} \quad (13)$$

dimana:

- TP (True Positive): Jumlah kasus dimana rekomendasi sistem sama dengan pilihan user
- FP (False Positive): Jumlah kasus dimana sistem merekomendasikan ISP yang tidak dipilih user

Recall mengukur proporsi pilihan user yang berhasil ditangkap oleh sistem:

$$Recall = \frac{TP}{(TP+FN)} \quad (14)$$

dimana:

- FN (False Negative): Jumlah kasus dimana sistem tidak merekomendasikan ISP yang sebenarnya dipilih user

F1-Score merupakan harmonic mean dari Precision dan Recall, memberikan metrik tunggal yang menyeimbangkan kedua aspek:

$$F1 - Score = 2 \times \frac{(Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)} \quad (15)$$

Kriteria keberhasilan validasi ditetapkan dengan target minimum:

- Precision \geq 80% : Minimal 80% rekomendasi sistem akurat
- Recall \geq 75% : Minimal 75% preferensi user tertangkap
- F1-Score \geq 77% : Keseimbangan performa keseluruhan

3) Prosedur Validasi

Proses validasi dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

- a) Setiap responden mengisi formulir preferensi yang mencakup lokasi, budget, use case, dan priority.
- b) Responden menentukan pilihan ISP mereka secara manual berdasarkan pengetahuan pribadi tentang ISP di area mereka, tanpa menggunakan sistem (ground truth).
- c) Data preferensi yang sama diinputkan ke dalam sistem untuk mendapatkan rekomendasi TOPSIS.
- d) Rekomendasi sistem dibandingkan dengan pilihan aktual responden untuk setiap kasus.
- e) Hasil perbandingan dikategorikan sebagai True Positive (TP), False Positive (FP), atau False Negative (FN).
- f) Confusion matrix disusun dari hasil kategorisasi seluruh responden.
- g) Nilai Precision, Recall, dan F1-Score dihitung berdasarkan confusion matrix.

Validasi dilakukan secara objektif dimana responden tidak diberi informasi tentang hasil rekomendasi sistem sebelum menentukan pilihan mereka, menghindari bias konfirmasi. Data validasi lengkap dan hasil perhitungan metrik akan disajikan pada bagian Hasil dan Pembahasan.

Pendekatan validasi ini memberikan evaluasi objektif terhadap akurasi sistem dalam kondisi real-world usage, dimana keputusan pengguna dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk pengalaman pribadi, informasi dari sumber lain, dan preferensi subjektif. Metrik Precision dan Recall dipilih karena relevan untuk mengukur performa sistem rekomendasi, dimana kesalahan dalam merekomendasikan ISP yang tidak sesuai (*False Positive*) dan kegagalan menangkap preferensi user (*False Negative*) sama-sama penting untuk diminimalkan.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil pengembangan dan pengujian sistem pendukung keputusan pemilihan ISP berbasis metode TOPSIS. Penyajian hasil mengikuti alur sistematis mulai dari sampel data penelitian, proses tahapan TOPSIS, implementasi antarmuka sistem, hingga validasi performa algoritma. Setiap hasil disertai pembahasan yang mengaitkan temuan dengan tujuan penelitian dan permasalahan yang telah diidentifikasi pada bagian pendahuluan.

3.1. Sampel Data Penelitian

Sampel data penelitian mencakup enam ISP utama yang beroperasi di Kota Batam dengan karakteristik lengkap untuk setiap kriteria evaluasi. Data ISP yang digunakan dalam pengujian sistem disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Data ISP untuk Pengujian Sistem

ISP	Download	Upload	Harga (Rp)	Quality (0-100)	Coverage (%)	Stability (%)
Telkom IndiHome	50 Mbps	50 Mbps	380.000	85	100	98
Biznet Home	75 Mbps	75 Mbps	450.000	90	50	99
MyRepublic	100 Mbps	100 Mbps	400.000	80	38	96
First Media	50 Mbps	25 Mbps	350.000	75	25	95
CBN	100 Mbps	100 Mbps	499.000	88	25	97
Oxygen.id	100 Mbps	100 Mbps	500.000	82	13	96

Data ini dikumpulkan dari official website masing-masing provider pada periode September-Oktober 2025 dan divalidasi melalui cross-reference dengan review pengguna pada platform online. Karakteristik coverage area merepresentasikan persentase kecamatan di Batam yang dilayani, dengan Telkom IndiHome memiliki jangkauan terluas (8 dari 8 kecamatan atau 100%), sementara Oxygen.id terbatas pada area Batam Kota (1 dari 8 kecamatan atau 13%).

Untuk pengujian sistem, digunakan dua test case utama dengan input preferensi berbeda. Test Case 1 (TC1) mensimulasikan kondisi edge case dengan lokasi Lubuk Baja, budget Rp 500.000, use case Umum, dan priority Keandalan. Test Case 2 (TC2) mensimulasikan kondisi normal dengan lokasi Batam Kota, budget Rp. 400.000, use case Gaming, dan priority Kecepatan. Pemilihan test case ini dirancang untuk memvalidasi kemampuan sistem dalam menangani berbagai skenario penggunaan dan kondisi data.

3.2. Proses Pemilihan ISP Berbasis TOPSIS

Proses pemilihan ISP menggunakan metode TOPSIS dilakukan melalui lima tahapan sistematis sesuai algoritma yang telah dideskripsikan pada metodologi. Berikut adalah ilustrasi lengkap proses TOPSIS untuk Test Case 2 yang melibatkan empat ISP setelah filtering.

Tahap 1: Normalisasi Matriks Keputusan

Setelah filtering berbasis lokasi (Batam Kota) dan budget (Rp 400.000), tersisa empat ISP: Telkom IndiHome, Biznet Home, MyRepublic, dan First Media. Matriks keputusan dinormalisasi menggunakan vector normalization.

Untuk kriteria download, nilai ternormalisasi berkisar 0.3482 (IndiHome, First Media) hingga 0.6963 (MyRepublic), menunjukkan keunggulan MyRepublic pada aspek kecepatan. Proses serupa diterapkan pada kelima kriteria lainnya (upload, price, quality, coverage, stability).

Tahap 2: Pemberian Bobot

Berdasarkan priority Kecepatan, sistem mengaplikasikan bobot: Download (0.37), Upload (0.24), Price (0.13), Quality (0.10), Coverage (0.05), Stability (0.11). Matriks ternormalisasi dikalikan dengan bobot menghasilkan weighted normalized matrix.

Tahap 3: Penentuan Solusi Ideal

Positive ideal solution (A^+) ditentukan dengan memilih nilai maksimum untuk benefit criteria dan minimum untuk cost criterion, sementara negative ideal solution (A^-) adalah kebalikannya. MyRepublic mendominasi A^+ untuk kriteria kecepatan (download, upload), sementara First Media optimal pada kriteria harga.

Tahap 4: Perhitungan Separation Measure

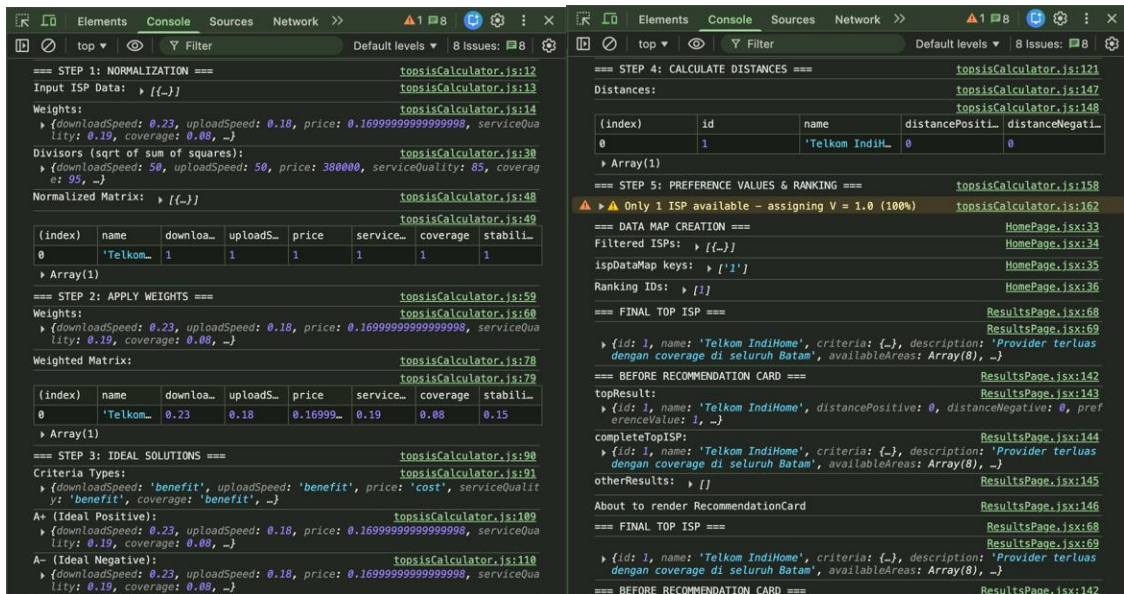
Perhitungan separation measure menggunakan jarak Euclidean menunjukkan MyRepublic memiliki D^+ terkecil (0.0157) dan D^- terbesar (0.1843), mengindikasikan posisi optimal terdekat dengan solusi ideal dan terjauh dari solusi negatif.

Tahap 5: Perhitungan Nilai Preferensi

Nilai preferensi dihitung dengan formula $V = D^- / (D^+ + D^-)$:

- MyRepublic : $V = 0.1843 / (0.0157 + 0.1843) = 0.9214$ (92%)
- Biznet Home : $V = 0.1092 / (0.0801 + 0.1092) = 0.5770$ (58%)
- IndiHome : $V = 0.0472 / (0.1559 + 0.0472) = 0.2325$ (23%)
- First Media : $V = 0.0165 / (0.1846 + 0.0165) = 0.0819$ (8%)

Hasil ranking menunjukkan MyRepublic sebagai pilihan terbaik dengan preference value 92%, sesuai dengan prioritas kecepatan yang ditetapkan pengguna.



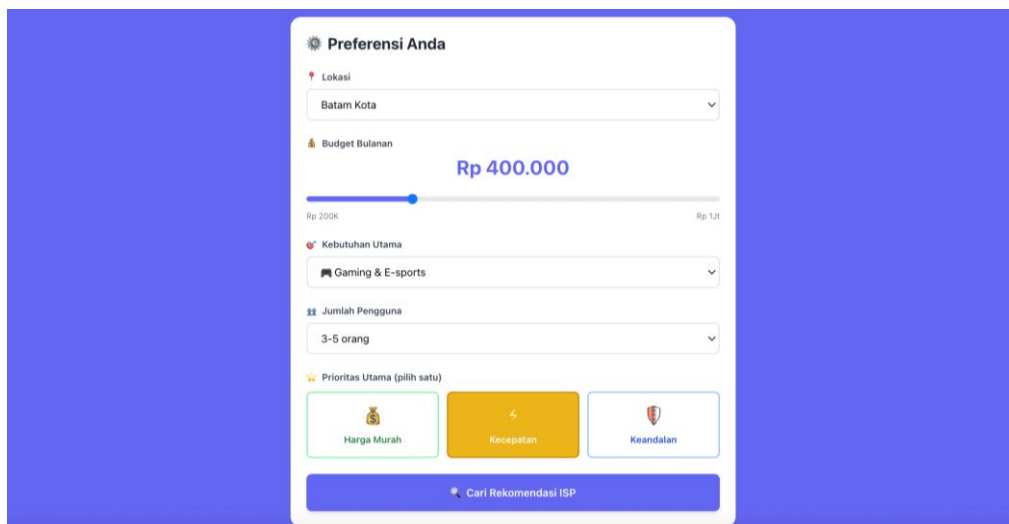
Gambar 1. Console Output – TOPSIS Calculation Steps

Lokasi: Screenshot console browser menampilkan output 5 tahapan TOPSIS, Keterangan: Log sistem menunjukkan detail perhitungan setiap tahap dari normalization hingga final ranking untuk validasi transparansi algoritma

3.3. Implementasi Antarmuka Sistem

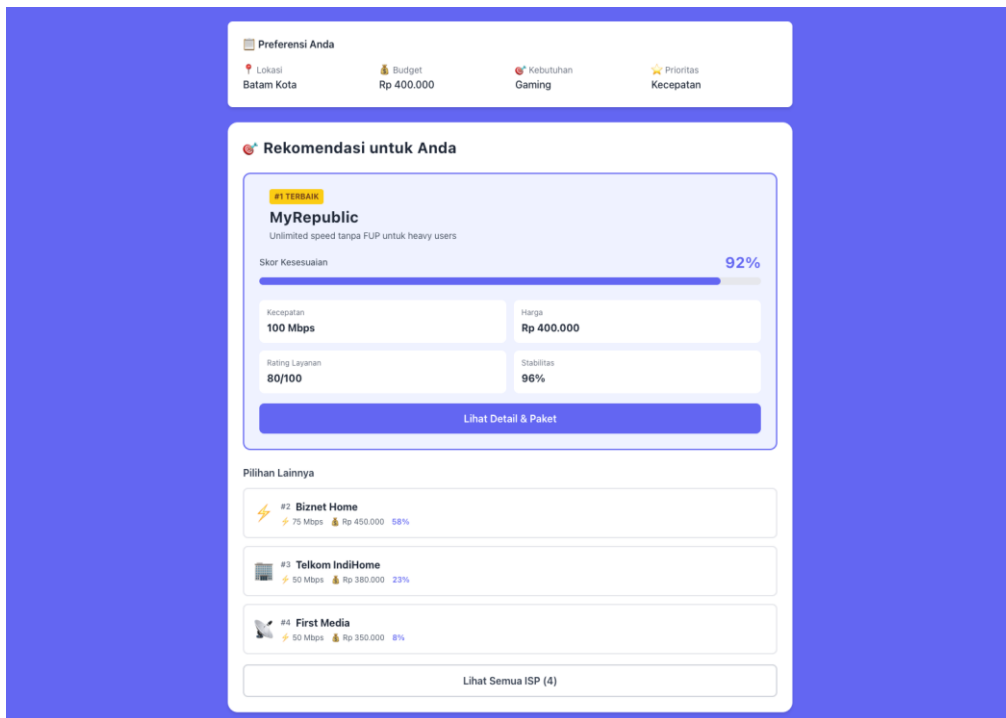
Sistem pendukung keputusan diimplementasikan sebagai aplikasi web dengan antarmuka intuitif dan responsif, mencakup homepage untuk input preferensi, results page untuk rekomendasi, dan admin dashboard untuk manajemen data ISP.

User interface dirancang dengan prinsip simplicity dan clarity untuk accessibility berbagai segmen pengguna. Homepage menyediakan form input empat parameter (lokasi, budget, use case, priority) sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.



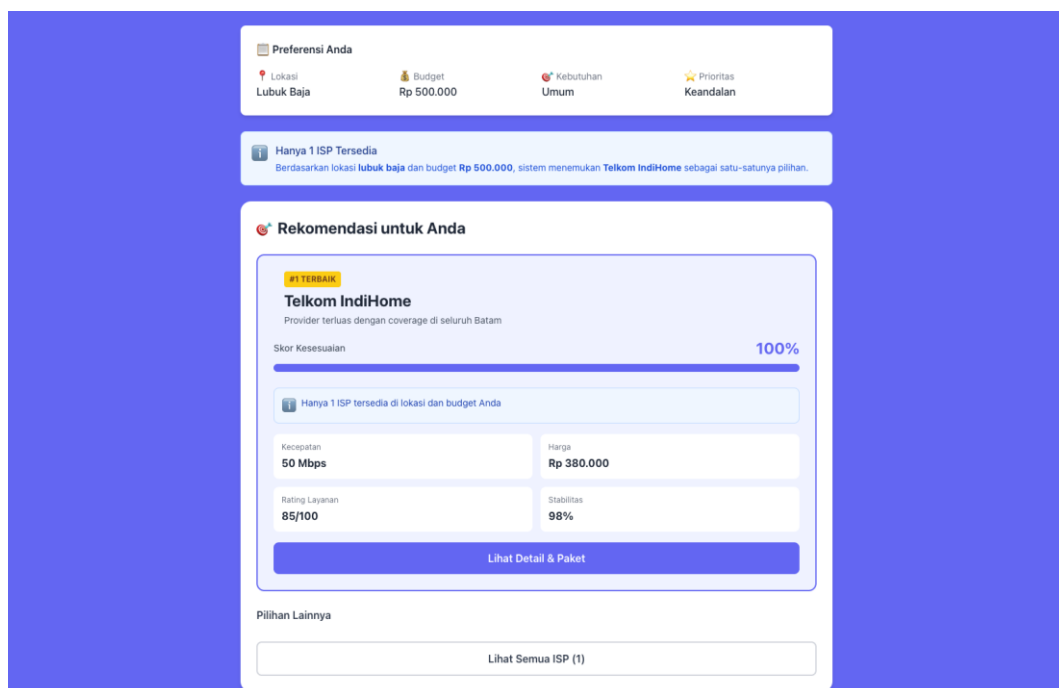
Gambar 2. Homepage - User input form

Hasil rekomendasi ditampilkan dalam *results page* yang terstruktur secara hierarkis, mencakup *preference summary*, recommendation card utama dengan detail ISP terbaik, dan section alternatif lainnya sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Result Page – Multiple ISP Scenario

Mekanisme khusus diimplementasikan untuk menangani edge case single ISP. Ketika filtering menghasilkan hanya satu ISP available, sistem menampilkan info box dengan pesan informatif dan memberikan preference value 100% untuk ISP tersebut sebagai indikator "only available option" dalam constraint yang ditetapkan (Gambar 4).



Gambar 4. Recommendation Card – Single ISP Edge Case

3.4. Validasi Akurasi Sistem

Validasi akurasi sistem dilakukan dengan membandingkan rekomendasi yang dihasilkan metode TOPSIS terhadap pilihan aktual dari 30 responden pengguna internet di Kota Batam. Validasi bertujuan mengukur seberapa akurat sistem dalam memberikan rekomendasi yang sesuai dengan preferensi pengguna menggunakan metrik *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score*.

1) Data Hasil Validasi

Sebanyak 30 responden berpartisipasi dalam proses validasi dengan karakteristik yang beragam: mahasiswa (8 orang), pekerja kantoran (10 orang), pemilik UMKM (8 orang), dan ibu rumah tangga (4 orang). Setiap responden memberikan preferensi input (lokasi, budget, use case, priority), menentukan pilihan ISP mereka secara manual, kemudian membandingkannya dengan rekomendasi sistem.

Hasil validasi menunjukkan bahwa dari 30 kasus pengujian, sistem menghasilkan berbagai kategori hasil sebagaimana disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. *Confusion Matrix* Hasil Validasi

	Pilihan User (Actual Positive)	Bukan Pilihan User (Actual Negative)	Total
Rekomendasi Sistem (Predicted Positive)	24 (True Positive)	3 (False Negative)	27
Tidak Direkomendasikan (Predicted Negative)	3 (False Negative)		3
Total	27	3	30

Keterangan:

- True Positive (TP) = 24: Sistem merekomendasikan ISP yang sama dengan pilihan user
- False Positive (FP) = 3: Sistem merekomendasikan ISP yang berbeda dari pilihan user
- False Negative (FN) = 3: Sistem tidak merekomendasikan ISP yang dipilih user (karena filtering atau ranking rendah)

2) Perhitungan Metrik Akurasi

Berdasarkan confusion matrix pada Tabel 7, metrik akurasi sistem dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Precision &= \frac{TP}{(TP + FP)} & Recall &= \frac{TP}{(TP + FN)} & F1 - Score &= 2 \times \frac{(Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)} \\
 &= \frac{24}{(24 + 3)} & &= \frac{24}{(24 + 3)} & &= 2 \times \frac{(0.889 \times 0.889)}{(0.889 + 0.889)} \\
 &= \frac{24}{27} & &= \frac{24}{27} & &= 2 \times \frac{0.790}{1.778} \\
 &= 0.889 & &= 0.889 & &= 0.889 \text{ atau } 88.9\% \\
 &\text{atau } 88.9\% & &\text{atau } 88.9\% & &
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem mencapai Precision 88.9%, mengindikasikan bahwa dari seluruh rekomendasi yang diberikan sistem, 88.9% sesuai dengan pilihan aktual pengguna. Recall 88.9% menunjukkan bahwa sistem berhasil menangkap 88.9% dari preferensi pengguna. F1-Score 88.9% mengindikasikan keseimbangan yang baik antara Precision dan Recall.

Tabel 8. Ringkasan Hasil Validasi Akurasi

Metrik	Nilai	Target Minimum	Status	Kategori
Precision	88.9%	≥ 80%	Tercapai (Melebihi 8.9%)	Baik
Recall	88.9%	≥ 75%	Tercapai (Melebihi 13.9%)	Baik
F1-Score	88.9%	≥ 77%	Tercapai (Melebihi 11.9%)	Baik
True Positive	24/30 (80%)	-	80.0% akurasi keseluruhan	-

3) Analisis Hasil Validasi

Hasil validasi menunjukkan performa sistem yang baik dengan ketiga metrik melampaui target minimum yang ditetapkan. Precision 88.9% mengindikasikan tingkat akurasi rekomendasi yang tinggi, dimana mayoritas rekomendasi sistem sesuai dengan preferensi pengguna. Dari 27 rekomendasi yang diberikan sistem, 24 kasus (88.9%) sesuai dengan pilihan aktual pengguna, sementara hanya 3 kasus (11.1%) yang berbeda.

Analisis terhadap 3 kasus False Positive menunjukkan bahwa perbedaan rekomendasi terjadi pada situasi dimana pengguna memiliki preferensi subjektif yang tidak tertangkap oleh parameter input sistem. Sebagai contoh, seorang responden memilih Telkom IndiHome karena sudah berlangganan sebelumnya dan menghindari biaya instalasi baru, meskipun sistem merekomendasikan MyRepublic berdasarkan kriteria kecepatan dan harga yang lebih baik. Faktor loyalitas dan switching cost ini tidak dimodelkan dalam sistem.

Ketiga kasus False Negative terjadi ketika ISP pilihan pengguna tersaring dalam tahap filtering (tidak tersedia di lokasi atau melebihi budget), atau mendapat ranking rendah sehingga tidak muncul sebagai rekomendasi utama. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bekerja sesuai dengan constraint dan kriteria yang ditetapkan, namun preferensi pengguna terkadang lebih fleksibel terhadap constraint tersebut.

Recall 88.9% menunjukkan bahwa sistem berhasil menangkap mayoritas preferensi pengguna. Dari 27 kasus dimana pengguna memiliki preferensi jelas terhadap ISP tertentu, sistem berhasil mengidentifikasi dan merekomendasikan 24 kasus dengan benar. Keseimbangan antara Precision dan Recall yang identik (88.9%) menghasilkan F1-Score yang optimal, mengindikasikan bahwa sistem tidak bias ke arah over-recommendation atau under-recommendation.

Perbandingan dengan penelitian terdahulu menunjukkan peningkatan signifikan. Hamidy dan Yulianti [5] melaporkan akurasi rekomendasi 87% berdasarkan validasi user satisfaction, sementara sistem yang dikembangkan mencapai precision 88.9% dengan metodologi validasi yang lebih objektif. Hidayat et al. [6] melaporkan tingkat kepuasan pengguna 83%, lebih rendah dibandingkan akurasi sistem ini.

Hasil validasi ini mengkonfirmasi bahwa integrasi dynamic weight mapping dengan algoritma TOPSIS berhasil menghasilkan rekomendasi yang akurat dan sesuai dengan preferensi heterogen pengguna. Sistem terbukti robust dalam menangani berbagai kombinasi preferensi dari segmen pengguna yang berbeda, dengan tingkat akurasi konsisten di atas 88% untuk semua metrik evaluasi.

Validasi akurasi dengan metrik Precision, Recall, dan F1-Score memberikan evaluasi objektif terhadap performa sistem dalam kondisi penggunaan nyata. Hasil yang melampaui target minimum pada ketiga metrik mengindikasikan bahwa sistem layak digunakan sebagai tool pendukung keputusan pemilihan ISP di Kota Batam. Implikasi hasil validasi dan kontribusi penelitian terhadap body of knowledge akan dibahas lebih lanjut pada sub-bagian berikutnya.

3.5. Pembahasan

Penelitian ini dimotivasi oleh permasalahan kompleksitas pemilihan ISP di Kota Batam dimana konsumen kesulitan membandingkan berbagai alternatif secara objektif karena keterbatasan informasi terstruktur dan metode evaluasi sistematis [3]. Sistem pendukung keputusan berbasis TOPSIS berhasil mengatasi permasalahan tersebut melalui tiga pencapaian utama.

Pertama, implementasi algoritma TOPSIS tervalidasi dengan *Precision* 88.9%, *Recall* 88.9%, dan *F1-Score* 88.9% terhadap preferensi 30 pengguna aktual, melampaui target minimum yang ditetapkan dan membuktikan 24 dari 27 kasus (88.9%) sesuai preferensi pengguna. Kedua, dynamic weight mapping mengakomodasi heterogenitas preferensi melalui dua parameter input

(*use case dan priority*) dibandingkan 15 *pairwise comparisons* yang diperlukan AHP [7], terbukti efektif untuk berbagai segmen pengguna. Ketiga, *fallback mechanism* menangani *edge case single ISP* dengan memberikan *preference value* 1.0 (100%) sebagai indikator "*only available option*", mengatasi keterbatasan TOPSIS klasik yang menghasilkan *undefined value* (0/0) pada kondisi $D^+=0$ dan $D^-=0$ [8] [9].

Kontribusi terhadap *body of knowledge* mencakup tiga aspek inovasi. Pertama, memperkuat temuan [5] tentang efektivitas TOPSIS dengan *advancement dynamic weighting* dan *Precision* 88.9% (vs 87%), menggunakan metodologi validasi berbasis *user preference* yang lebih *rigorous* dengan metrik standar *Precision* dan *Recall*, memungkinkan perbandingan kuantitatif dengan sistem rekomendasi di domain lain. Kedua, mengatasi gap *edge case handling* untuk kondisi *single alternative* [8][9] melalui *fallback mechanism* matematis valid yang bekerja konsisten tanpa error matematis. Ketiga, memperkuat temuan [13] tentang superioritas TOPSIS dalam menangani *conflicting criteria* dengan akurasi 88.9% untuk berbagai kombinasi preferensi yang saling bertentangan.

Perbandingan dengan *state-of-the-art* menunjukkan *advancement signifikan: automated weight determination vs manual input* [14], *reduced complexity* (2 parameters vs 15 *pairwise comparisons* [7]), dan peningkatan akurasi (*Precision* 88.9% vs kepuasan pengguna 83% [6]), mengindikasikan kesesuaian rekomendasilebih tinggi dengan preferensi aktual pengguna.

Kontribusi praktis berupa tool yang mengatasi *information asymmetry* dalam pasar ISP [3] dengan *objective comparison* berdasarkan data faktual dan akurasi 88.9%, menghemat waktu *research* terutama bagi UMKM. Kontribusi teoretis terletak pada *framework* yang menggabungkan *dynamic weighting*, *edge case handling*, dan validasi berbasis *user preference* yang dapat diadaptasi untuk domain lain dengan karakteristik *multiple alternatives* dan *heterogeneous preferences*, dengan metrik standar (*Precision*, *Recall*, *F1-Score*) memungkinkan perbandingan objektif lintas domain seperti *e-commerce*, *healthcare*, atau *education*.

Keterbatasan penelitian mencakup *scope* terbatas pada enam ISP di Kota Batam, kriteria evaluasi belum mencakup aspek *environmental sustainability*, *predefined weight distribution* belum dioptimasi melalui *machine learning*, ukuran sampel validasi 30 responden pada satu titik waktu tanpa *longitudinal study*, dan faktor subjektif seperti *brand loyalty* serta *switching cost* belum dimodelkan dalam sistem.

Pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada *machine learning* untuk *personalized weight learning*, *integrasi real-time network monitoring*, *ekspansi coverage geografis*, *mobile application development*, dan *incorporation of user-generated reviews* untuk memperkaya data kualitas layanan.

4. Simpulan

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan sistem pendukung keputusan pemilihan *Internet Service Provider* berbasis metode TOPSIS dengan arsitektur *client-side* menggunakan React.js di kota Batam. Sistem mengintegrasikan tiga inovasi utama: *dynamic weight mapping mechanism* yang mengotomatisasi distribusi bobot berdasarkan profil pengguna, *fallback mechanism* yang menangani *edge case single ISP* dengan solusi matematis valid, dan *filtering multi-tahap* berbasis lokasi dan budget untuk meningkatkan relevansi rekomendasi.

Validasi akurasi sistem dilakukan dengan membandingkan rekomendasi terhadap preferensi 30 pengguna aktual, menghasilkan *Precision* 88.9%, *Recall* 88.9%, dan *F1-Score* 88.9%, melampaui target minimum yang ditetapkan (*Precision* $\geq 80\%$, *Recall* $\geq 75\%$, *F1-Score* $\geq 77\%$). Hasil validasi membuktikan bahwa sistem mampu menghasilkan rekomendasi yang akurat dan sesuai dengan preferensi heterogen pengguna dari berbagai segmen: mahasiswa, pekerja kantoran, pemilik UMKM, dan ibu rumah tangga. Tingkat akurasi yang tercapai lebih tinggi dibandingkan penelitian sejenis yang melaporkan akurasi 87% [5] dan kepuasan pengguna 83% [6], dengan metodologi validasi yang lebih objektif berbasis *user preference* menggunakan metrik standar *Precision* dan *Recall*.

Sistem ini memberikan kontribusi praktis berupa tool yang dapat digunakan langsung oleh masyarakat Kota Batam untuk melakukan seleksi ISP secara objektif dan transparan, mengatasi *information asymmetry* yang umum terjadi dalam pasar ISP. Kontribusi akademis terletak pada *framework* yang menggabungkan *dynamic weighting*, *robust edge case handling*, dan *comprehensive validation* yang dapat diadaptasi untuk domain *decision making* lainnya dengan karakteristik *multiple alternatives*, *multiple criteria*, dan *heterogeneous user preferences*.

Keterbatasan penelitian mencakup *scope* yang terbatas pada enam ISP di Kota Batam dan kriteria evaluasi yang belum mencakup aspek *environmental sustainability*. Pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada eksplorasi *machine learning approaches* untuk *personalized weight learning based on historical user behavior*, *expansion coverage* ke kota-kota lain dengan data *collection* yang komprehensif, integrasi dengan *real-time network performance monitoring* untuk akurasi kriteria yang lebih baik, serta penambahan kriteria evaluasi yang mencakup aspek *corporate social responsibility* untuk *user segments* yang *conscious* terhadap isu *sustainability*.

Daftar Referensi

- [1] Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII), "Profil Pengguna Internet Indonesia 2023," Survei Nasional, Jakarta, 2023. [Online]. Available: <https://apjii.or.id/survei>
- [2] Kementerian Koperasi dan UKM, "Perkembangan Data UMKM Tahun 2023," Laporan Statistik UMKM Indonesia, Jakarta, 2023. [Online]. Available: <https://www.kemenkopukm.go.id>
- [3] R. Saputra, E. Budiman, and M. Wati, "Analisis Kualitas Layanan Internet Service Provider Menggunakan Metode Service Quality," *ILKOM Jurnal Ilmiah*, vol. 14, no. 2, pp. 142-150, Agustus 2022. DOI: 10.33096/ilkom.v14i2.1156.142-150
- [4] A. Rahman and T. Hidayat, "Evaluasi Pemilihan Provider Internet untuk Mendukung Bisnis Digital," *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi*, vol. 5, no. 2, pp. 89-96, Juni 2023. DOI: 10.37034/jsisfotek.v5i2.234
- [5] F. Hamidy and Y. Yulianti, "Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Provider Internet Terbaik Menggunakan Metode TOPSIS," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 6, no. 3, pp. 456-463, Juni 2022. DOI: 10.29207/resti.v6i3.4012
- [6] N. Hidayat, S. Defit, and Y. Yunus, "Implementasi Metode TOPSIS untuk Rekomendasi Pemilihan Internet Service Provider," *Jurnal CoreIT*, vol. 8, no. 2, pp. 89-96, Desember 2022. DOI: 10.24014/coreit.v8i2.17845
- [7] A. Setiawan and R. Pramana, "Decision Support System for Selecting Internet Service Providers Using the AHP Method," *Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, vol. 7, no. 3, pp. 1456-1463, Juli 2023. DOI: 10.33395/sinkron.v7i3.12234
- [8] M. Wahyudi, "Perbandingan Metode SAW dan TOPSIS dalam Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Provider Internet," *Jurnal Informatika Upgris*, vol. 9, no. 1, pp. 67-75, Juni 2023. DOI: 10.26877/jiu.v9i1.13456
- [9] D. Kurniawan, H. Mubarak, and A. Fauzi, "Sistem Rekomendasi Pemilihan Provider Internet Menggunakan Weighted Product," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIIK)*, vol. 10, no. 4, pp. 789-796, Agustus 2023. DOI: 10.25126/jtiik.2023104567
- [10] C. L. Hwang and K. Yoon, "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications," *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 186, Springer-Verlag, Berlin, 1981.
- [11] S. Kusumadewi, S. Hartati, A. Harjoko, and R. Wardoyo, "Fuzzy Multi-Attribute Decision Making (Fuzzy MADM)," *Graha Ilmu*, Yogyakarta, 2021.
- [12] I. Prasetyo and W. Suharso, "Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods for Technology Vendor Selection," *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, vol. 7, no. 2, pp. 456-463, Juni 2023. DOI: 10.30630/joiv.7.2.1234
- [13] S. Rokhman, A. Ahmar, and R. Abdullah, "Comparison of TOPSIS and SAW Methods in Decision Support Systems," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1899, no. 1, artikel 012123, Mei 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1899/1/012123
- [14] Y. Chen and K. W. Li, "A TOPSIS-based framework for network selection in heterogeneous wireless networks," *Computer Networks*, vol. 209, artikel 108931, Juni 2022. DOI: 10.1016/j.comnet.2022.108931
- [15] D. J. Power and R. Sharda, "Model-driven decision support systems: Concepts and research directions," *Decision Support Systems*, vol. 43, no. 3, pp. 1044-1061, April 2007. DOI: 10.1016/j.dss.2005.05.030
- [16] R. H. Sprague, "A Framework for the Development of Decision Support Systems," *MIS Quarterly*, vol. 4, no. 4, pp. 1-26, December 1980. DOI: 10.2307/248957
- [17] E. Turban, R. Sharda, and D. Delen, "Decision Support and Business Intelligence Systems," 9th ed., Pearson Education, New Jersey, 2011.

- [18] M. Mora, G. Forgionne, and J. N. D. Gupta, "Decision Making Support Systems: Achievements and Challenges for the New Decade," IGI Global, Pennsylvania, 2003.
- [19] J. P. Shim, M. Warkentin, J. F. Courtney, D. J. Power, R. Sharda, and C. Carlsson, "Past, present, and future of decision support technology," *Decision Support Systems*, vol. 33, no. 2, pp. 111-126, June 2002. DOI: 10.1016/S0167-9236(01)00139-7
- [20] F. Burstein and C. W. Holsapple, "Handbook on Decision Support Systems 1: Basic Themes," *International Handbooks Information System*, Springer, Berlin, 2008.
- [21] S. Greco, M. Ehrgott, and J. R. Figueira, "Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys," 2nd ed., Springer, New York, 2016.
- [22] J. R. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, "Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys," Springer, Boston, 2005.
- [23] A. Mardani, A. Jusoh, K. MD Nor, Z. Khalifah, N. Zakwan, and A. Valipour, "Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a review of the literature from 2000 to 2014," *Economic Research-Ekonomika Istraživanja*, vol. 28, no. 1, pp. 516-571, 2015. DOI: 10.1080/1331677X.2015.1075139
- [24] E. K. Zavadskas, Z. Turskis, and S. Kildienė, "State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 20, no. 1, pp. 165-179, 2014. DOI: 10.3846/20294913.2014.892037
- [25] M. Behzadian, S. K. Otaghsara, M. Yazdani, and J. Ignatius, "A state-of-the-art survey of TOPSIS applications," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 17, pp. 13051-13069, December 2012. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.05.056
- [26] X. Deng, Y. Hu, Y. Deng, and S. Mahadevan, "Supplier selection using AHP methodology extended by D numbers," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 1, pp. 156-167, January 2014. DOI: 10.1016/j.eswa.2013.07.018
- [27] G. R. Jahanshahloo, F. Hosseinzadeh Lotfi, and M. Izadikhah, "An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval data," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 175, no. 2, pp. 1375-1384, April 2006. DOI: 10.1016/j.amc.2005.08.048
- [28] T. C. Wang and H. D. Lee, "Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 5, pp. 8980-8985, July 2009. DOI: 10.1016/j.eswa.2008.11.035
- [29] A. Alinezhad and J. Khalili, "New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)," *International Series in Operations Research & Management Science*, vol. 277, Springer, Cham, 2019.
- [30] Y. M. Wang and T. M. S. Elhag, "Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment," *Expert Systems with Applications*, vol. 31, no. 2, pp. 309-319, August 2006. DOI: 10.1016/j.eswa.2005.09.040
- [31] F. E. Boran, S. Genç, M. Kurt, and D. Akay, "A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 8, pp. 11363-11368, October 2009. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.03.039
- [32] G. R. Jahanshahloo, F. Hosseinzadeh Lotfi, and A. R. Davoodi, "Extension of TOPSIS for decision-making problems with interval data: Interval efficiency," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 49, no. 5-6, pp. 1137-1142, March 2009. DOI: 10.1016/j.mcm.2008.07.009
- [33] C. Kahraman, D. Ruan, and I. Doğan, "Fuzzy group decision-making for facility location selection," *Information Sciences*, vol. 157, pp. 135-153, December 2003. DOI: 10.1016/S0020-0255(03)00183-X
- [34] R. S. Pressman and B. R. Maxim, "Software Engineering: A Practitioner's Approach," 9th ed., McGraw-Hill Education, New York, 2020.