

Analisis Sensitivitas Bobot Kriteria dan Stabilitas Peringkat pada Metode TOPSIS Menggunakan Simulasi Monte Carlo

¹Hermansyah, ²Al - Khaidar, ³Husni

^{1,2,3} Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Almuslim, Bireuen, Aceh, Indonesia.

E-mail: ¹waxherman@gmail.com, ²alkhaidar@umuslim.ac.id, ³husniabda7@gmail.com

ABSTRAK

Peringkat TOPSIS bergantung pada bobot kriteria yang sering mengandung ketidakpastian. Penelitian ini mengukur kestabilan peringkat TOPSIS ketika bobot divariasikan secara terkontrol. Eksperimen simulasi dilakukan pada matriks keputusan 100 alternatif dengan tiga kriteria *benefit* dan dua *cost* yang dibangkitkan dengan Python (*seed* tetap). Sebanyak 5.000 skenario bobot diambil dari distribusi Dirichlet pada tiga tingkat ketidakpastian: sempit dan sedang di sekitar bobot dasar, serta luas yang seragam pada simpleks. Stabilitas diukur pada tingkat urutan keseluruhan (Spearman dan Kendall τ_b), peringkat teratas, dan per alternatif, lalu diuji ketahanannya dengan 20 replikasi dataset pada tiga struktur korelasi dan empat jumlah alternatif. Pada dataset utama, rerata τ_b turun dari 0,894 (sempit) menjadi 0,796 (sedang) dan 0,525 (luas), sedangkan irisan sepuluh teratas turun dari 90,5% menjadi 80,3% dan 49,8%. Ketidakstabilan terbesar terjadi di peringkat tengah, dan kriteria dengan dispersi data tinggi lebih berpengaruh daripada kriteria berbobot besar yang berdispersi rendah. Data bersifat *trade-off* menurunkan stabilitas secara konsisten, sedangkan kemantapan peringkat pertama terutama ditentukan oleh selisih nilai preferensi dua alternatif teratas. Kontribusi penelitian ini adalah protokol simulasi yang dapat direproduksi dan pemisahan eksplisit stabilitas global, peringkat teratas, dan per alternatif dalam pelaporan analisis sensitivitas TOPSIS.

Kata kunci : TOPSIS; analisis sensitivitas; bobot kriteria; simulasi Monte Carlo; distribusi Dirichlet; stabilitas peringkat

ABSTRACT

TOPSIS rankings depend on criteria weights, which are often uncertain. This study measures how stable TOPSIS rankings remain when weights vary in a controlled manner. A simulation experiment was conducted on a decision matrix of 100 alternatives with three benefit and two cost criteria generated in Python (fixed seed). A total of 5,000 weight scenarios were drawn from Dirichlet distributions at three levels of uncertainty: narrow and moderate around the base weights, and broad (uniform over the simplex). Stability was measured at the level of the overall order (Spearman and Kendall τ_b), the top ranks, and individual alternatives, and its robustness was tested with 20 dataset replications across three correlation structures and four numbers of alternatives. On the main dataset, mean τ_b fell from 0.894 (narrow) to 0.796 (moderate) and 0.525 (broad), while the top-ten overlap fell from 90.5% to 80.3% and 49.8%. Instability was greatest in the middle ranks, and criteria with high data dispersion were more influential than heavily weighted criteria with low dispersion. Trade-off data consistently reduced stability, while the robustness of the first rank was driven mainly by the preference-score gap between the two leading alternatives. The study contributes a reproducible simulation protocol and an explicit separation of global, top-rank, and per-alternative stability in reporting TOPSIS sensitivity analysis.

Keywords : *TOPSIS; sensitivity analysis; criteria weights; Monte Carlo simulation; Dirichlet distribution; rank stability*

1. PENDAHULUAN

Sistem pendukung keputusan (SPK) multikriteria banyak digunakan untuk memeringkat alternatif berdasarkan kriteria yang saling bertentangan. Salah satu metode yang paling sering diterapkan adalah *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), yang memeringkat alternatif menurut kedekatannya dengan solusi ideal positif dan jaraknya dari solusi ideal negatif (Hwang & Yoon, 1981). TOPSIS dipakai pada beragam bidang karena prosedurnya sederhana dan hasilnya mudah ditafsirkan (Behzadian dkk., 2012).

Hasil TOPSIS bergantung pada bobot kriteria, padahal bobot umumnya ditetapkan secara subjektif dan dapat berbeda antarpengambil keputusan. Bobot karena itu lebih tepat dipandang sebagai besaran yang mengandung ketidakpastian. Stabilitas peringkat TOPSIS juga telah dikaji dari sisi lain, misalnya pembalikan peringkat ketika himpunan alternatif berubah (García-Cascales & Lamata, 2012). Analisis sensitivitas bobot sendiri telah lama dikembangkan, baik secara analitis melalui interval stabilitas bobot (Mareschal, 1988) dan perubahan bobot minimum yang membalik urutan dua alternatif (Triantaphyllou & Sánchez, 1997), maupun melalui simulasi Monte Carlo (Butler dkk., 1997) dan keluarga metode SMAA (Lahdelma dkk., 1998; Tervonen & Figueira, 2008) yang juga telah dipadukan dengan TOPSIS (Okul dkk., 2014). Tinjauan Więckowski dan Sałabun (2023) menunjukkan bahwa pendekatan dan cara pelaporan analisis sensitivitas masih sangat beragam.

Penerapan SPK multikriteria di Indonesia sangat beragam, misalnya pemilihan destinasi wisata dengan metode SMART (Khaidar, 2025), dan pada

umumnya bobot kriteria ditetapkan oleh pengambil keputusan. Sensitivitas TOPSIS sering diuji dengan sedikit percobaan bobot; Nafi' dkk. (2021), misalnya, memakai sepuluh percobaan untuk membandingkan SAW dan TOPSIS. Pendekatan ini menyisakan tiga keterbatasan: hasil bergantung pada pilihan skenario, stabilitas sering diringkas dengan satu angka padahal stabilitas urutan keseluruhan, peringkat teratas, dan tiap alternatif adalah konsep berbeda, serta kecukupan jumlah skenario dan pengaruh struktur data jarang diperiksa. Sielska (2020) menunjukkan bahwa peringkat TOPSIS dapat konsisten secara umum, tetapi tetap memuat alternatif yang bergeser jauh ketika bobot diubah.

Penelitian ini memperlakukan pengaruh bobot terhadap peringkat sebagai pertanyaan empiris. Rumusan masalahnya: (1) bagaimana variasi bobot memengaruhi nilai preferensi TOPSIS; (2) seberapa stabil urutan peringkat ketika bobot diubah secara terkontrol; (3) kriteria dan kondisi data apa yang berkaitan dengan perubahan peringkat yang lebih besar; dan (4) apakah pola stabilitas konsisten pada konfigurasi data dan sebaran bobot berbeda. Kontribusinya adalah (a) protokol simulasi Monte Carlo berbasis distribusi Dirichlet dengan tiga tingkat ketidakpastian yang dapat direproduksi, (b) pelaporan stabilitas yang memisahkan tingkat global, peringkat teratas, dan per alternatif, serta (c) uji ketahanan terhadap struktur data dan jumlah alternatif. Pendekatan simulasi dipilih agar struktur data dan jumlah alternatif dapat dikendalikan secara sistematis, sebagaimana lazim pada kajian metodologis MCDM (Sałabun dkk., 2020).

2. LANDASAN TEORI

Metode TOPSIS

Misalkan terdapat n alternatif, m kriteria, matriks keputusan $X = [x_{ij}]$, bobot w dengan $w_j \geq 0$ dan $\sum w_j = 1$, himpunan kriteria *benefit* B , dan himpunan kriteria *cost* K . TOPSIS (Hwang & Yoon, 1981) menormalisasi matriks dengan Persamaan (1) dan membobotnya dengan Persamaan (2).

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

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

Solusi ideal positif dan negatif ditentukan per kriteria sesuai tipenya (Persamaan 3 dan 4), jarak Euclidean ke keduanya dihitung dengan Persamaan (5), dan nilai preferensi $C_i \in [0, 1]$ dengan Persamaan (6). Alternatif diurutkan dari C_i terbesar; peringkat alternatif i dinotasikan r_i .

$$A_j^+ = \max_i v_{ij} \quad (j \in B); \min_i v_{ij} \quad (j \in K) \quad (3)$$

$$A_j^- = \min_i v_{ij} \quad (j \in B); \max_i v_{ij} \quad (j \in K) \quad (4)$$

$$D_i^\pm = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - A_j^\pm)^2} \quad (5)$$

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (6)$$

Ketidakpastian bobot dan simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo memperlakukan bobot sebagai vektor acak dan menjalankan TOPSIS pada setiap realisasinya (Butler dkk., 1997). Distribusi Dirichlet menghasilkan bobot yang nonnegatif dan berjumlah satu secara langsung. Parameter $\alpha = (1, \dots, 1)$ memberikan sebaran seragam pada simpleks, asumsi yang lazim pada SMAA ketika tidak ada informasi preferensi (Tervonen & Lahdelma, 2007). Untuk ketidakpastian di sekitar bobot dasar w^0 digunakan Persamaan (7) dengan varians Persamaan (8); rerata bobot tetap w_j^0 , sedangkan konsentrasi κ mengatur lebar fluktuasi. Penyimpangan skenario dari bobot dasar diukur dengan jarak variasi

total (Persamaan 9) yang bernilai 0 bila bobot identik.

$$w^{(s)} \sim \text{Dir}(\kappa w^0) \quad (7)$$

$$\text{Var}(w_j^{(s)}) = \frac{w_j^0(1-w_j^0)}{\kappa+1} \quad (8)$$

$$\delta^{(s)} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m |w_j^{(s)} - w_j^0| \quad (9)$$

Ukuran kesesuaian peringkat

Kesesuaian peringkat skenario s terhadap peringkat dasar diukur dengan korelasi Spearman (Spearman, 1904) pada Persamaan (10) dan Kendall τ_b (Kendall, 1938) pada Persamaan (11), dengan n_c dan n_d jumlah pasangan konkordan dan diskordan, $n_0 = n(n-1)/2$, serta t_0 dan t_s jumlah pasangan berikatan. Kendall τ_b adalah selisih proporsi pasangan konkordan dan diskordan, sehingga umumnya lebih rendah daripada Spearman untuk perubahan yang sama. Karena kedua korelasi menimbang semua posisi setara, digunakan pula irisan himpunan k teratas T_k (Persamaan 12) dan rerata pergeseran posisi (Persamaan 13); perlunya perhatian pada posisi atas juga ditekankan oleh Salabun dkk. (2020).

$$\rho_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (r_i^{(s)} - r_i^0)^2}{n(n^2-1)} \quad (10)$$

$$\tau_s = \frac{n_c - n_d}{\sqrt{(n_0 - t_0)(n_0 - t_s)}} \quad (11)$$

$$J_s = \frac{|T_k^0 \cap T_k^{(s)}|}{k} \quad (12)$$

$$\bar{\Delta}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |r_i^{(s)} - r_i^0| \quad (13)$$

Penelitian terdahulu

Tabel 1 merangkum penelitian terdekat. Penelitian analitis memberikan batas stabilitas yang tegas tetapi terbatas pada satu bobot atau pasangan alternatif, sedangkan penelitian berbasis simulasi sering berfokus pada indeks per alternatif atau perbandingan antarmetode.

Tabel 1. Ringkasan penelitian terdahulu dan posisi penelitian ini

Penelitian	Pendekatan dan temuan	Keterbatasan relevan
Mareschal (1988)	Interval stabilitas: rentang perubahan satu bobot tanpa mengubah peringkat	Analitis; satu bobot per waktu
Triantaphyllou & Sánchez (1997)	Perubahan bobot minimum yang membalik urutan dua alternatif	Fokus pasangan alternatif
Butler dkk. (1997)	Simulasi Monte Carlo bobot pada model multiatribut	Model aditif, bukan TOPSIS
Lahdelma dkk. (1998); Tervonen & Lahdelma (2007)	SMAA: indeks akseptabilitas peringkat dari sampling bobot pada simpleks	Keluaran berupa indeks per alternatif
Okul dkk. (2014)	SMAA-TOPSIS untuk bobot dan nilai stokastik	Berorientasi studi kasus
Safabun dkk. (2020)	Perbandingan TOPSIS, VIKOR, COPRAS, PROMETHEE II pada matriks acak	Antarmetode, bukan terhadap bobot dasar
Sielska (2020)	TOPSIS 45 rumah sakit; umumnya konsisten, sebagian bergeser jauh	Satu set data nyata
Nafi' dkk. (2021)	SAW vs TOPSIS, 10 percobaan bobot; perubahan peringkat TOPSIS 41,6%, SAW 32,1%	Skenario sedikit; satu kasus
Penelitian ini	5.000 skenario Dirichlet, tiga tingkat ketidakpastian, tiga tingkat metrik, replikasi pada tiga struktur data	Hanya normalisasi vektor dan jarak Euclidean

Celah yang dituju bukan metode baru, melainkan rancangan eksperimen dan pelaporan: bagaimana stabilitas TOPSIS berubah menurut tingkat ketidakpastian bobot yang dikendalikan, bagaimana stabilitas global berbeda dari stabilitas peringkat teratas, dan sifat data apa yang menyertai ketidakstabilan. Penelitian ini tidak mengklaim sebagai yang pertama menerapkan simulasi Monte Carlo pada TOPSIS.

3. METODOLOGI

Desain penelitian dan pembangkitan data

Penelitian ini adalah eksperimen simulasi komputasional dengan tahapan: (1) pembangkitan matriks keputusan, (2) normalisasi matriks keputusan satu kali, (3) TOPSIS dengan bobot dasar sebagai peringkat acuan, (4) pembangkitan

skenario bobot Dirichlet, (5) TOPSIS per skenario, (6) perhitungan metrik stabilitas, dan (7) uji ketahanan. Karena matriks ternormalisasi tetap, perbedaan peringkat antarskenario hanya berasal dari bobot. Dataset utama berisi 100 alternatif (A001–A100) dan lima kriteria (Tabel 2). Tabel 2. Definisi kriteria dan distribusi pembangkitan data

Kriteria (satuan)	Tipe	w^0	Distribusi marginal
C1 Skor kinerja (poin)	Benefit	0,30	$40 + 60 \cdot \text{Beta}(5; 2)$
C2 Kapasitas layanan (unit/bulan)	Benefit	0,20	$\text{Lognormal}(\sigma = 0,4; \text{median } 120)$
C3 Skor kepuasan (skala 1–5)	Benefit	0,15	$1 + 4 \cdot \text{Beta}(4; 2), 2 \text{ desimal}$
C4 Biaya (juta rupiah)	Cost	0,20	$\text{Lognormal}(\sigma = 0,5; \text{median } 25)$
C5 Waktu proses (hari)	Cost	0,15	$\text{Gamma}(4; 3), 1 \text{ desimal, minimum } 0,5$

Beta dipilih untuk skor terbatas yang condong ke nilai tinggi, lognormal untuk besaran miring kanan, dan Gamma untuk durasi. Ketergantungan antarkriteria dibangkitkan dengan Gaussian *copula* dalam tiga konfigurasi yang ditetapkan sebelum eksperimen: D1 independen (korelasi antarkriteria sejenis $\rho_{bb} = 0$ dan benefit–cost $\rho_{bc} = 0$), D2 *trade-off* ($\rho_{bb} = 0,3; \rho_{bc} = 0,5$), dan D3 searah ($\rho_{bb} = 0,6; \rho_{bc} = -0,4$). Pada D2 alternatif yang unggul pada kriteria *benefit* cenderung lebih mahal dan lambat; pada D3 sebaliknya. Semua nilai positif sehingga normalisasi selalu terdefinisi; implementasi tetap menghentikan proses bila ada kolom bernilai nol semua dan menetapkan $C_i = 0,5$ bila $D_i^+ + D_i^- = 0$ (kondisi ini tidak muncul). *Seed* utama adalah 20261010.

Skema bobot Monte Carlo

Bobot dasar $w^0 = (0,30; 0,20; 0,15; 0,20; 0,15)$ menjadi titik acuan. Tiga skema ditetapkan sebelum eksperimen: S1 sempit ($\kappa = 200$), S2 sedang ($\kappa = 50$), dan S3 luas ($\alpha = (1, \dots, 1)$). Menurut Persamaan (8), SD bobot C1 adalah 0,032; 0,064; dan 0,163, sedangkan rerata δ hasil simulasi 0,056; 0,110; dan 0,342. Analisis utama memakai 5.000 skenario per skema

pada dataset D1. Setiap skema memakai aliran bilangan acak dengan *seed* turunan yang dicatat sehingga skenario tidak diubah setelah hasil terlihat.

Metrik dan analisis statistik

Metrik dilaporkan dalam tiga kelompok terpisah. Stabilitas urutan keseluruhan diukur dengan ρ , τ_b , persentase alternatif yang posisinya tidak berubah, serta rerata dan maksimum pergeseran posisi. Stabilitas peringkat teratas diukur dengan irisan sepuluh teratas ($k = 10$) dan persentase skenario yang mempertahankan peringkat pertama. Stabilitas per alternatif diukur dengan simpangan baku (SD) peringkat, persentil ke-5 dan ke-95, serta frekuensi masuk sepuluh teratas. Unit analisis dua kelompok pertama adalah skenario, sedangkan kelompok ketiga adalah alternatif.

Sebaran metrik diringkas dengan rerata dan interval persentil 2,5–97,5, sedangkan ketidakpastian rerata dihitung dengan interval kepercayaan *bootstrap* persentil 95% (2.000 ulangan) karena skenario saling bebas. Pengaruh tiap kriteria diukur dengan regresi linear terstandar antara $1 - \rho_s$ dan $|w_j^{(s)} - w_j^0|$, dilengkapi analisis satu kriteria ($\pm 0,05$ dan $\pm 0,10$ dengan renormalisasi proporsional). Hubungan sifat alternatif dengan ketidakstabilan diuji dengan korelasi Spearman antara SD peringkat dan jarak C_i ke tetangga terdekat. Uji ketahanan memakai 20 dataset independen per konfigurasi dengan 2.000 skenario per skema; unit analisisnya dataset, sehingga perbandingan antarkonfigurasi memakai uji Kruskal–Wallis ($n = 20$ per kelompok). Uji signifikansi tidak dilakukan pada tingkat skenario karena jumlah skenario dapat diperbesar sesuka hati sehingga nilai p kehilangan makna. Pengaruh jumlah alternatif diuji pada D1 untuk $n = 20, 50, 100$, dan 200 .

Implementasi dan validasi

Eksperimen diimplementasikan dalam Python 3.13 dengan NumPy 2.5 (Harris dkk., 2020), SciPy 1.18 (Virtanen dkk., 2020), pandas 3.0, dan Matplotlib 3.11. Pustaka seperti pymcdm (Kizielewicz dkk., 2023) tersedia, tetapi TOPSIS ditulis sendiri dalam bentuk vektorisasi agar setiap langkah dapat diperiksa. Delapan pengujian unit lulus, antara lain kasus alternatif dominan ($C = 1$) dan terdominasi ($C = 0$), batas $C_i \in [0, 1]$, syarat simpleks bobot, invariansi terhadap satuan kolom, kesamaan Spearman dan Kendall dengan fungsi SciPy, serta pengaruh tipe *benefit/cost*. Tidak ada nilai C_i yang berikatan, dan menjalankan ulang skrip menghasilkan keluaran identik. Kode, dataset, parameter, dan berkas hasil (CSV) disertakan sebagai materi pendukung.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peringkat dasar, kecukupan skenario, dan nilai preferensi

Dengan bobot dasar, nilai preferensi berkisar 0,298–0,840. A002 menempati peringkat pertama ($C = 0,840$) dengan selisih besar terhadap A077 di peringkat kedua ($C = 0,673$), sedangkan nilai di bagian tengah sangat rapat: median selisih C antara dua peringkat berurutan hanya 0,0019. Rerata kumulatif metrik mendatar setelah beberapa ratus skenario. Pada S2, rerata ρ untuk 1.000 skenario (0,9255) berbeda 0,0014 dari nilai pada 5.000 skenario (0,9241), dengan galat baku 0,0020; pada S3 galat bakunya 0,0053 (1.000 skenario) dan 0,0024 (5.000 skenario). Jadi, 1.000 skenario sudah memadai untuk rerata pada ketelitian dua desimal.

Variasi bobot mengubah nilai preferensi sesuai lebar sebarannya: rerata $|C_i^{(s)} - C_i^0|$ adalah 0,028 (S1), 0,054 (S2), dan 0,130 (S3). Pada S1 perubahan ini kecil, tetapi sekitar lima belas kali median selisih C antarperingkat berurutan, dan 95,4% perubahan C_i melampaui median selisih tersebut. Jadi, perubahan bobot

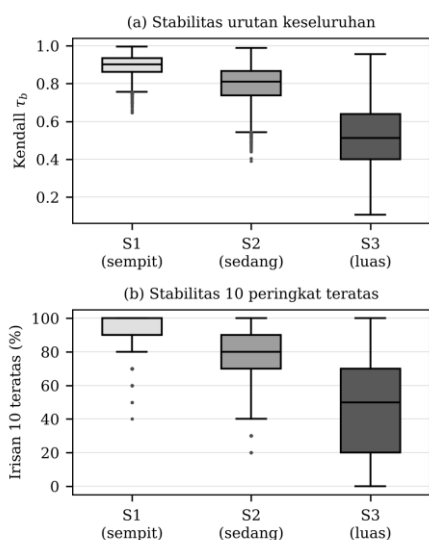
yang kecil pun dapat mengubah peringkat bukan karena nilai preferensi berubah besar, melainkan karena nilai preferensi antaralternatif sangat rapat.

Stabilitas urutan keseluruhan dan peringkat teratas

Tabel 3 dan Gambar 1 menunjukkan bahwa seluruh metrik menurun monoton dari S1 ke S3. Rerata τ_b adalah 0,894; 0,796; dan 0,525, dengan interval kepercayaan *bootstrap* yang sangat sempit (0,794–0,799 pada S2). Variasi antarskenario jauh lebih besar daripada ketidakpastian rerata: pada S2, τ_b berkisar 0,574–0,946.

Tabel 3. Metrik stabilitas tingkat skenario pada dataset utama, rerata [P2,5–P97,5]

Metrik	S1 sempit	S2 sedang	S3 luas
ρ Spearman	0,976 [0,92–1,00]	0,924 [0,75–0,99]	0,687 [0,38–0,96]
τ_b Kendall	0,894 [0,77–0,97]	0,796 [0,57–0,95]	0,525 [0,26–0,85]
Irisan 10 teratas (%)	90,5 [70–100]	80,3 [40–100]	49,8 [10–90]
Peringkat 1 tetap (%)	100,0	99,3	69,8
Posisi tidak berubah (%)	17,7 [6–41]	10,1 [3–26]	4,4 [0–11]
Rerata pergeseran (posisi)	4,01 [1,1–8,4]	7,49 [2,1–15,3]	16,76 [5,6–25,0]
Pergeseran maksimum (posisi)	21,3 [6–44]	35,1 [10–59]	62,1 [28–85]
Rerata $ \Delta C_i $	0,028	0,054	0,130



Gambar 1. Sebaran (a) Kendall τ_b dan (b) irisan sepuluh teratas pada tiga skema bobot

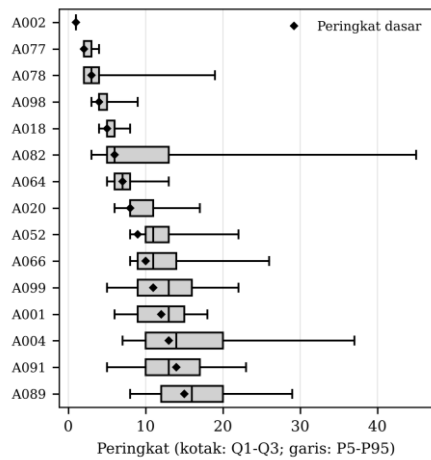
Stabilitas global dan lokal jelas berbeda. Pada S1, rerata ρ mencapai 0,976, tetapi hanya 17,7% alternatif yang posisinya tetap, dan dalam setiap skenario rata-rata ada alternatif yang bergeser 21 posisi. Korelasi tinggi tidak berarti setiap alternatif stabil. Peringkat pertama dataset utama sangat kokoh (100% pada S1 dan 99,3% pada S2), tetapi irisan sepuluh teratas hanya 90,5% dan 80,3%, artinya rata-rata satu hingga dua anggota sepuluh teratas tergantikan. Pada S3, sepertiga skenario menggeser peringkat pertama dan separuh himpunan sepuluh teratas berganti.

Stabilitas tingkat alternatif

Tabel 4 dan Gambar 2 menunjukkan perbedaan stabilitas yang besar bahkan antara alternatif berperingkat berdekatan. Pada S2, A077 (peringkat 2) hampir selalu berada pada peringkat 2–4, sedangkan A082 (peringkat 6) tersebar pada peringkat 3–45. A082 memiliki biaya sangat rendah tetapi waktu proses sangat panjang, sehingga posisinya bergantung pada perbandingan bobot C4 dan C5; A078 (peringkat 3) memiliki profil serupa. Sebaliknya, A077 relatif baik pada sebagian besar kriteria.

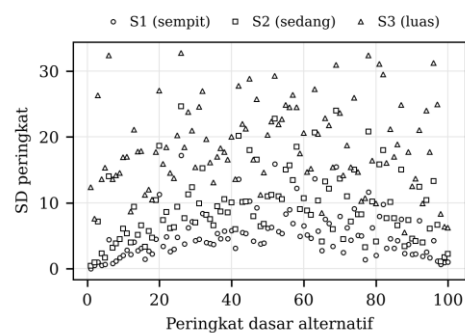
Tabel 4. Stabilitas peringkat alternatif terpilih pada skema S2

Alternatif	r^0	Rerata	SD	P5–P95	Top-10 (%)
A002	1	1,03	0,40	1–1	99,9
A077	2	2,61	0,93	2–4	99,9
A078	3	4,85	7,14	2–19	91,4
A082	6	12,54	14,01	3–45	69,2
A064	7	7,79	3,16	5–13	90,1
A010	26	34,98	24,65	5–74	22,5
A008	52	49,90	22,77	14–80	1,6
A021	98	98,08	1,07	96–99	0,0



Gambar 2. Sebaran peringkat lima belas alternatif teratas pada skema S2

Gambar 3 memperlihatkan pola huruf U terbalik pada S1 dan S2: rerata SD peringkat pada S2 adalah 4,40 untuk peringkat 1–10, 11,51 untuk peringkat 26–75, dan 6,20 untuk peringkat 91–100. Bagian tengah tidak stabil karena nilai preferensinya paling rapat, sedangkan kedua ujung berisi alternatif yang unggul atau tertinggal pada banyak kriteria sekaligus. Korelasi Spearman antara jarak C_i ke tetangga dan SD peringkat adalah $-0,397$ ($p < 0,001$) pada S1 dan $-0,296$ ($p = 0,003$) pada S2, tetapi tidak signifikan pada S3 ($-0,143$; $p = 0,155$). Korelasi yang hanya sedang menunjukkan bahwa jarak bukan satu-satunya penentu: A021 berjarak hanya 0,001 dari tetangganya, tetapi stabil di peringkat 96–99 karena tertinggal di hampir semua kriteria. Pada S3, ketidakstabilan meluas ke seluruh posisi; alternatif yang pernah masuk sepuluh teratas bertambah dari 20 (S1) menjadi 35 (S2) dan 64 (S3).



Gambar 3. Simpangan baku peringkat setiap alternatif menurut peringkat dasarnya

Pengaruh masing-masing kriteria

Tabel 5 menunjukkan bahwa pengaruh kriteria tidak sebanding dengan besar bobotnya. C1 berbobot terbesar (0,30), tetapi koefisien regresinya mendekati nol pada ketiga skema, dan perubahan bobotnya $\pm 0,10$ hanya menurunkan τ_b menjadi 0,940–0,967. Sebaliknya, C4 (biaya) dan C5 (waktu proses) paling berpengaruh pada S1 dan S2; penurunan bobot C4 sebesar 0,10 menurunkan τ_b menjadi 0,626. Pada S2, urutan pengaruh tepat mengikuti koefisien variasi (CV) data, yaitu $C4 > C5 > C2 > C3 > C1$; pada S1 urutannya hampir sama dengan C2 dan C5 setara. Hal ini sesuai dengan sifat normalisasi vektor: kriteria yang nilainya hampir seragam menghasilkan selisih v_{ij} kecil, sehingga perubahan bobotnya hampir tidak menggeser jarak relatif ke solusi ideal.

Tabel 5. Pengaruh kriteria terhadap ketidakstabilan global ($1 - \rho$)

Kriteria	CV data	$\beta S1$	$\beta S2$	$\beta S3$	τ_b OAT -0,10 / +0,10
C1	0,108	-0,109	-0,046	-0,061	0,967 / 0,940
C2	0,404	0,358	0,363	0,309	0,754 / 0,797
C3	0,195	-0,004	0,025	0,458	0,963 / 0,903
C4	0,530	0,662	0,544	0,211	0,626 / 0,771
C5	0,474	0,358	0,433	0,545	0,802 / 0,712
R^2		0,712	0,652	0,500	

Keterangan: β : koefisien regresi terstandar terhadap $|w_i - w^0_j|$. OAT: τ_b bila bobot satu kriteria diubah -0,10 atau +0,10.

Pada S3, C3 menjadi lebih berpengaruh dan R^2 turun menjadi 0,500,

karena ketika bobot dapat menjauh ke arah mana pun, hubungan simpangan satu bobot dengan ketidakstabilan menjadi tidak linear dan bergantung pada bobot lain. Peringkat pengaruh kriteria karena itu harus dibaca menurut tingkat ketidakpastian yang diasumsikan. Pada analisis satu kriteria, peringkat pertama tidak berubah pada seluruh 20 perubahan bobot.

Ketahanan terhadap struktur data dan jumlah alternatif

Tabel 6 menunjukkan urutan stabilitas $D3 > D1 > D2$ yang konsisten pada ketiga skema dan ketiga metrik. Uji Kruskal–Wallis menunjukkan perbedaan antarkonfigurasi yang signifikan untuk τ_b , irisan sepuluh teratas, dan frekuensi peringkat pertama tetap pada seluruh skema ($H = 16,7-52,5$; $p < 0,001$). Pada D2 dengan S3, rerata τ_b hanya 0,346, sedangkan pada D3 dengan skema yang sama 0,736. Bila keunggulan pada kriteria *benefit* dibarengi keunggulan pada kriteria *cost*, alternatif terbaik unggul di banyak kriteria sehingga urutannya sulit diubah oleh bobot; rerata SD nilai preferensi dasar juga terbesar pada D3 (0,128) dan terkecil pada D2 (0,060).

Tabel 6. Ketahanan pada tiga konfigurasi data (20 replikasi per konfigurasi)

Data	Skema	τ_b rerata (SD)	Irisan 10 teratas (%)	Peringkat 1 tetap (%) [min–maks]
D1	S1	0,894 (0,016)	89,3	75 [36–100]
D1	S2	0,797 (0,025)	79,7	60 [25–100]
D1	S3	0,521 (0,029)	50,8	29 [9–78]
D2	S1	0,828 (0,025)	81,4	68 [25–100]
D2	S2	0,681 (0,034)	65,6	51 [11–98]
D2	S3	0,346 (0,022)	32,2	18 [1–39]
D3	S1	0,945 (0,008)	94,0	93 [57–100]
D3	S2	0,894 (0,014)	88,9	86 [46–100]
D3	S3	0,736 (0,027)	71,1	64 [22–99]

Metrik global konsisten antar-replikasi ($SD \tau_b \leq 0,034$), tetapi frekuensi peringkat pertama tetap sangat bervariasi; pada D1 dengan S1 nilainya 0,364–1,000. Dataset utama (100%) berada di ujung atas karena A002 unggul jauh. Korelasi Spearman antara selisih C peringkat 1 dan 2 dengan frekuensi peringkat pertama tetap mencapai 0,850 pada S2 dan 0,709

pada S3 ($p < 0,001$). Kemantapan juara terutama ditentukan oleh margin dua alternatif teratas, bukan oleh stabilitas urutan keseluruhan, sehingga margin tersebut perlu dilaporkan.

Analisis jumlah alternatif menunjukkan bahwa τ_b hampir tidak bergantung pada n : pada S2 nilainya 0,786–0,800 untuk $n = 20-200$ (S1: 0,887–0,895; S3: 0,517–0,530). Sebaliknya, persentase alternatif yang posisinya tetap pada S2 turun dari 30,3% ($n = 20$) menjadi 15,7%, 9,9%, dan 5,5% ($n = 50, 100, 200$), sementara rerata pergeseran relatif tetap sekitar 7–8% dari n . Persentase posisi tetap karena itu tidak layak dibandingkan antartstudi dengan jumlah alternatif berbeda; τ_b dan pergeseran relatif lebih sesuai.

Perbandingan dengan penelitian terdahulu

Temuan bahwa peringkat TOPSIS konsisten secara umum tetapi memuat alternatif yang bergeser jauh sejalan dengan Sielska (2020). Penelitian ini menambahkan bahwa pergeseran besar terkonsentrasi pada peringkat tengah dan pada alternatif dengan profil yang tidak seimbang antarkriteria yang bertentangan. Perubahan peringkat TOPSIS 41,6% yang dilaporkan Nafi' dkk. (2021) tidak dapat dibandingkan langsung, karena besaran semacam itu bergantung pada lebar perubahan bobot, struktur data, dan jumlah alternatif, sebagaimana ditunjukkan Tabel 3, Tabel 6, dan analisis jumlah alternatif. Sejalan dengan beragamnya pendekatan yang dipetakan Więckowski dan Sałabun (2023), pengembang SPK berbasis TOPSIS disarankan melaporkan parameter sebaran bobot, korelasi peringkat, stabilitas himpunan teratas, margin nilai preferensi peringkat teratas, dan sebaran peringkat alternatif kandidat.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen simulasi, variasi bobot mengubah nilai preferensi TOPSIS sebanding dengan lebar sebaran bobot, dan perubahan yang kecil secara absolut sudah cukup mengubah peringkat karena nilai preferensi antaralternatif sangat rapat. Stabilitas urutan keseluruhan menurun monoton dari ketidakpastian sempit ke luas (rerata τ_b 0,894; 0,796; 0,525 pada dataset utama), tetapi korelasi peringkat yang tinggi tidak menjamin stabilitas setiap alternatif maupun himpunan teratas. Ketidakstabilan terbesar terjadi pada alternatif berperingkat tengah dan alternatif berprofil bertentangan antarkriteria, dan kriteria dengan dispersi data tinggi lebih berpengaruh daripada kriteria berbobot besar yang berdispersi rendah. Pola ini konsisten pada 20 replikasi dan tiga struktur data, dengan stabilitas tertinggi pada data searah dan terendah pada data *trade-off*, sedangkan kemantapan peringkat pertama terutama ditentukan oleh selisih nilai preferensi dua alternatif teratas. Perubahan bobot dengan demikian tidak selalu mengubah peringkat secara berarti; dampaknya bergantung pada tingkat ketidakpastian bobot, struktur data, dan posisi alternatif yang ditinjau.

DAFTAR PUSTAKA

- Behzadian, M., Khanmohammadi Otahgsara, S., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051–13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- Butler, J., Jia, J., & Dyer, J. (1997). Simulation techniques for the sensitivity analysis of multi-criteria decision models. *European Journal of Operational Research*, 103(3), 531–546. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00307-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00307-4)
- García-Cascales, M. S., & Lamata, M. T. (2012). On rank reversal and TOPSIS method. *Mathematical and Computer Modelling*, 56(5–6), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.12.022>
- Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., ... Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Kendall, M. G. (1938). A new measure of rank correlation. *Biometrika*, 30(1–2), 81–93. <https://doi.org/10.1093/biomet/30.1-2.81>
- Khaidar, A. (2025). Implementasi sistem pendukung keputusan menggunakan metode SMART untuk pemilihan destinasi wisata di Kota Lhokseumawe. *JTIK (Jurnal Teknik Informatika Kaputama)*, 9(2), 95–102.
- Kizielewicz, B., Shekhovtsov, A., & Salabun, W. (2023). pymcdm—The universal library for solving multi-criteria decision-making problems. *SoftwareX*, 22, 101368. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101368>
- Lahdelma, R., Hokkanen, J., & Salminen, P. (1998). SMAA – Stochastic multiobjective acceptability analysis. *European Journal of Operational Research*, 106(1), 137–143. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00163-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00163-X)
- Mareschal, B. (1988). Weight stability intervals in multicriteria decision aid. *European Journal of Operational Research*, 33(1), 54–64. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(88\)90254-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(88)90254-8)
- Nafi', D. N., Mulyanto, A., & Wonoseto, M. G. (2021). Perbandingan sensitivitas metode SAW dan TOPSIS dalam pemilihan ustadz teladan Ponpes Wahid Hasyim Yogyakarta. *Fountain of Informatics Journal*, 6(1), 35–44. <https://doi.org/10.21111/fij.v6i1.4670>
- Okul, D., Gencer, C., & Aydogan, E. K. (2014). A method based on SMAA-

- TOPSIS for stochastic multi-criteria decision making and a real-world application. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 13(5), 957–978. <https://doi.org/10.1142/S0219622014500175>
- Salabun, W., Wątróbski, J., & Shekhovtsov, A. (2020). Are MCDA methods benchmarkable? A comparative study of TOPSIS, VIKOR, COPRAS, and PROMETHEE II methods. *Symmetry*, 12(9), 1549. <https://doi.org/10.3390/sym12091549>
- Sielska, A. (2020). Stability of hospital rankings. *Operations Research and Decisions*, 30(4), 95–112. <https://doi.org/10.37190/ord200407>
- Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology*, 15(1), 72–101. <https://doi.org/10.2307/1412159>
- Tervonen, T., & Figueira, J. R. (2008). A survey on stochastic multicriteria acceptability methods. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 15(1–2), 1–14. <https://doi.org/10.1002/mcda.407>
- Tervonen, T., & Lahdelma, R. (2007). Implementing stochastic multicriteria acceptability analysis. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 500–513. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.12.037>
- Triantaphyllou, E., & Sánchez, A. (1997). A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision-making methods. *Decision Sciences*, 28(1), 151–194. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1997.tb01306.x>
- Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., ... SciPy 1.0 Contributors. (2020). SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17(3), 261–272. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>
- Więckowski, J., & Salabun, W. (2023). Sensitivity analysis approaches in multi-criteria decision analysis: A systematic review. *Applied Soft Computing*, 148, 110915. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110915>