

Kerangka Multi-Tahap WSM dan PROMETHEE II untuk Seleksi Vendor Cloud Bank Digital

Andri Yudha Pratama ^{1*}, Rianto Rianto ²

¹ Universitas Teknologi Yogyakarta; pratama.andriyudha@gmail.com

² Universitas Teknologi Yogyakarta; rianto@uty.ac.id

Abstrak: Transformasi digital perbankan mendorong adopsi cloud computing sebagai infrastruktur utama layanan keuangan modern. Pemilihan vendor cloud pada bank digital merupakan tantangan multidimensi yang mencakup aspek keamanan, ketersediaan layanan, latensi, kapasitas, dan biaya operasional, serta kepatuhan terhadap regulasi Otoritas Jasa Keuangan (OJK) dan Bank Indonesia. Penelitian ini mengusulkan kerangka sistem rekomendasi multi-tahap berbasis Multi-Criteria Decision Making (MCDM) yang mengintegrasikan Weighted Sum Model (WSM) dan PROMETHEE II. Dataset sintetis 100.000 kandidat vendor direduksi menjadi 50.000 sampel melalui stratified sampling proporsional dengan 256 strata. Pada Fase 1, WSM menyaring 10.000 vendor terbaik menggunakan ambang batas skor 0,633624. Pada Fase 2, PROMETHEE II menghasilkan peringkat berbasis Net Flow (Φ). Vendor CLOUD_071856 meraih peringkat pertama dengan $\Phi = +0,6295$, Security Index 10,00/10, dan SLA Uptime 99,854%. Kerangka yang diusulkan terbukti efektif, skalabel secara komputasional, dan relevan dengan kebutuhan regulasi nasional dalam mendukung pengambilan keputusan pemilihan vendor cloud pada sektor perbankan digital Indonesia.

Keywords: *Cloud Vendor Selection; MCDM; Weighted Sum Model; PROMETHEE II; BWM*

DOI: <https://doi.org/10.47134/jacis.v6i2.205>

*Correspondensi: Andri Yudha Pratama

Email: pratama.andriyudha@gmail.com

Receive: 1 Juli 2026

Accepted: 8 Juli 2026

Published: 20 Juli 2026



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstrak: The digital transformation of banking accelerates cloud computing adoption as the core infrastructure of modern financial services. Cloud vendor selection in digital banking presents a multidimensional challenge encompassing security, service availability, latency, throughput, and operational cost, alongside compliance with Indonesian Financial Services Authority (OJK) and Bank Indonesia regulations. This study proposes a multi-stage recommendation framework based on Multi-Criteria Decision Making (MCDM) that integrates the Weighted Sum Model (WSM) and PROMETHEE II. A synthetic dataset of 100,000 vendor candidates was reduced to 50,000 samples via proportional stratified sampling across 256 strata. In Phase 1, WSM filtered the top 10,000 vendors using a score threshold of 0.633624. In Phase 2, PROMETHEE II generated precision rankings based on Net Flow (Φ). Vendor CLOUD_071856 ranked first with $\Phi = +0.6295$, Security Index 10.00/10, and SLA Uptime 99.854%. The proposed framework is scalable, computationally efficient, and aligned with national regulatory requirements for strategic cloud vendor decision-making in the Indonesian digital banking sector.

Keywords: *Cloud Vendor Selection; MCDM; Weighted Sum Model; PROMETHEE II; BWM*

PENDAHULUAN

Perbankan konvensional berubah menjadi ekosistem digital yang fleksibel dan berpusat pada nasabah sebagai akibat dari kemajuan teknologi informasi dan komunikasi [1]. Institusi perbankan harus menggunakan teknologi canggih untuk menganalisis perilaku pasar dan mengoptimalkan integrasi layanan keuangan agar tetap kompetitif [2]. *Cloud computing* atau komputasi awan, dapat menyediakan skalabilitas sumber daya yang berubah-ubah, biaya penyimpanan yang lebih rendah, dan kecepatan akses data tanpa batas geografis. Oleh karena itu, *cloud computing* telah menjadi infrastruktur penting dalam arsitektur perbankan digital modern [3]. Terbukti bahwa fitur komputasi awan membantu manajemen perbankan dalam pengambilan keputusan strategis dan meningkatkan ketangkasan (*agility*) dalam mengatasi perubahan beban transaksi harian [4], [5]. Transisi ke infrastruktur hibrida dan *cloud* publik merupakan langkah penting bagi lembaga keuangan besar untuk memodernisasi sistem inti perbankan mereka [6]. Namun, penggabungan sistem awan mengubah cara kontrol manajemen operasional dan menciptakan ketergantungan pada keamanan pihak ketiga [7].

Pemilihan *vendor* komputasi awan yang tepat sangat penting karena infrastruktur perbankan sering kali menjadi sasaran utama serangan siber canggih. Kesalahan dalam memilih *vendor* dapat menyebabkan kebocoran data, kegagalan operasional, atau bahaya sistemik pada stabilitas keuangan [8], [9]. Bank digital saat ini dihadapkan pada berbagai alternatif penyedia layanan cloud berskala perusahaan dengan berbagai fungsionalitas arsitektur [5]. Setiap *vendor* memiliki metrik kinerja yang berbeda untuk jaminan keamanan, ketersediaan tingkat layanan (SLA), *uptime*, latensi, *throughput*, efisiensi biaya, dan kemampuan pemulihan bencana. Kewajiban perbankan Indonesia untuk mematuhi peraturan yang sangat ketat menambah kompleksitas. Salah satunya adalah Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang Pelindungan Data Pribadi (PDP), yang menetapkan bahwa pengendali data bertanggung jawab sepenuhnya atas kerahasiaan informasi [10]. Selain itu, Peraturan Otoritas Jasa Keuangan Nomor 11/POJK.03/2022 menetapkan bahwa tata kelola infrastruktur TI dan manajemen risiko yang terorganisir harus diterapkan [11]. Surat Edaran Otoritas Jasa Keuangan (OJK) Nomor 29/SEOJK.03/2022 menetapkan persyaratan teknis untuk penilaian maturitas ketahanan siber dan uji penetrasi [12]. Di sisi lain, Peraturan OJK Nomor 21 Tahun 2023 menetapkan batasan umum untuk pengembangan layanan digital perbankan untuk menjamin perlindungan konsumen [13].

Penelitian sebelumnya tentang penerapan metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) dalam sistem pendukung keputusan telah dilakukan dengan menggunakan berbagai pendekatan algoritmik. Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode *Weighted Sum Model* (WSM) diterapkan pada beragam bidang, mulai dari evaluasi *vendor* teknologi informasi, penilaian subkontraktor pada industri manufaktur, hingga proses seleksi penerimaan peserta magang [14], [15], [16]. Namun, kelemahan utama WSM dalam ketiga penelitian tersebut adalah sifat-sifat saling mengompensasi antar kriteria. Ini berarti bahwa nilai buruk pada kriteria kritis, seperti keamanan, dapat tertutupi sepenuhnya oleh nilai yang sangat baik pada kriteria non-kritis, seperti biaya murah. Kondisi ini berpotensi menimbulkan risiko yang signifikan apabila diterapkan pada industri perbankan, karena aspek keamanan dan kepatuhan merupakan persyaratan mendasar yang tidak dapat digantikan oleh keunggulan pada kriteria lainnya. Penelitian terdahulu telah mengembangkan berbagai metode untuk meningkatkan kinerja metode WSM dengan menggabungkan penentuan bobot seperti PIPRECIA dan SWARA dalam lingkungan neutrosophic dan melakukan pengujian

stabilitas bobot untuk memastikan bahwa hasilnya konsisten [17], [18], [19]. Meskipun demikian, metode ini memiliki kelemahan karena kompleksitas elisitasi bobot yang tinggi, dan pengujiannya hanya dapat dilakukan pada dataset berskala kecil.

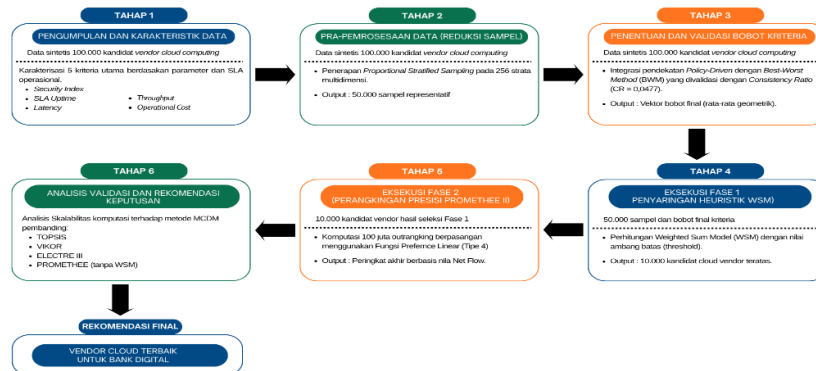
Banyak peneliti telah beralih ke metode *outranking* non-kompensatori seperti PROMETHEE II untuk mengatasi sifat kompensatori WSM. Berbagai penelitian terdahulu telah mengadopsi metode PROMETHEE II dalam beragam konteks pengambilan keputusan multikriteria, antara lain untuk pemeringkatan institusi perbankan, seleksi startup melalui integrasi dengan DEMATEL-ANP, peningkatan kualitas evaluasi menggunakan pendekatan *two-stage Data Envelopment Analysis* (DEA), serta proses seleksi kelas unggulan [20], [21], [22]. Salah satu kelemahan utama dari penelitian sebelumnya berbasis PROMETHEE II tersebut adalah ketidakmampuan untuk menangani data besar. Karena metode ini memerlukan komputasi perbandingan berpasangan berbentuk kuadratik, evaluasi puluhan ribu calon akan menyebabkan *bottleneck* (beban komputasi) yang signifikan pada *server* [23].

Berdasarkan sintesis penelitian terdahulu, sistem MCDM konvensional masih menghadapi keterbatasan dalam menangani pengambilan keputusan pada dataset berskala besar. Metode berpresisi tinggi seperti PROMETHEE II umumnya hanya diuji pada puluhan hingga ratusan alternatif, sedangkan perbankan digital perlu mengevaluasi puluhan ribu kandidat *vendor cloud computing*. Penerapan PROMETHEE II secara langsung pada skala tersebut menghasilkan kompleksitas komputasi kuadratik yang mengurangi efisiensi, sementara WSM berpotensi meloloskan *vendor* dengan performa keamanan rendah akibat sifat kompensatorinya. Meskipun WSM, PROMETHEE II, *stratified sampling*, dan *Best-Worst Method* (BWM) bukan merupakan metode baru, kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi keempatnya dalam arsitektur pemrosesan data multi-tahap untuk menyeimbangkan presisi perangkingan dan skalabilitas komputasi. Selain itu, penelitian ini menjadi salah satu yang pertama menguji secara eksplisit kestabilan bobot kriteria terhadap kepatuhan regulasi keamanan siber OJK dan UU PDP dalam konteks pemilihan *vendor cloud computing* pada perbankan digital di Indonesia.

Kontribusi utama penelitian ini mencakup tiga aspek. Pertama, pengembangan pipeline pemrosesan data multi-tahap yang mengintegrasikan *stratified sampling* proporsional berbasis 256 strata, penyaringan awal menggunakan WSM, dan perangkingan akhir menggunakan PROMETHEE II untuk meningkatkan efisiensi komputasi tanpa mengurangi representativitas data maupun kualitas hasil perangkingan. Kedua, penerapan skema pembobotan hibrida yang mengombinasikan pendekatan *policy-driven* berdasarkan regulasi OJK, BI, dan ISO/IEC 27001:2022 dengan BWM, yang divalidasi melalui *consistency ratio* dan analisis sensitivitas guna memastikan konsistensi bobot serta kestabilan hasil. Ketiga, validasi empiris terhadap kerangka yang diusulkan melalui perbandingan dengan TOPSIS, VIKOR, dan ELECTRE III berdasarkan korelasi peringkat, efisiensi komputasi, dan skalabilitas. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini tidak terletak pada pengembangan algoritma MCDM baru, melainkan pada perancangan kerangka pengambilan keputusan yang lebih efisien, sistematis, dan terukur melalui integrasi metode-metode yang telah mapan. Kerangka ini diharapkan mampu menghasilkan sistem pendukung keputusan yang akurat, efisien, dan andal dalam mendukung seleksi *vendor cloud computing*, sekaligus menjadi referensi bagi perbankan digital dalam memilih *vendor* yang memenuhi kebutuhan skalabilitas, keamanan, kepatuhan regulasi, dan mitigasi risiko.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental komputasional untuk mengatasi kompleksitas evaluasi *vendor cloud computing* pada sektor perbankan digital. Penelitian ini mengusulkan kerangka kerja MCDM multi-tahap yang dirancang untuk mengurangi beban komputasi secara bertahap tanpa mengurangi representativitas kandidat unggul. Seluruh tahapan penelitian disajikan secara sistematis pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian Rekomendasi *Vendor Cloud* Terbaik

Berdasarkan Gambar 1, metodologi penelitian diawali dengan pengumpulan dan karakterisasi 100.000 data vendor sintesis (Tahap 1), yang kemudian direduksi menjadi 50.000 sampel representatif menggunakan *proportional stratified sampling* pada 256 strata (Tahap 2). Selanjutnya, bobot kriteria ditentukan melalui pendekatan hibrida yang mengintegrasikan *Policy-Driven* dan *Best-Worst Method* (BWM) (Tahap 3). Proses evaluasi dilakukan secara bertahap melalui penyaringan awal menggunakan *Weighted Sum Model* (WSM) untuk memilih 10.000 kandidat terbaik (Tahap 4), kemudian dilanjutkan dengan perangkingan menggunakan PROMETHEE II untuk memperoleh nilai *Net Flow* akhir (Tahap 5). Tahap terakhir adalah validasi hasil menggunakan TOPSIS, VIKOR, dan ELECTRE III guna mengevaluasi keandalan kerangka yang diusulkan sebelum menetapkan rekomendasi *vendor cloud computing* terbaik bagi infrastruktur perbankan digital (Tahap 6).

Dataset dan Karakterisasi Data

Penelitian ini menggunakan *dataset* sintesis terstandarisasi yang terdiri atas 100.000 kandidat *vendor cloud computing*. *Dataset* dirancang dengan pendekatan distribusi terstratifikasi untuk memastikan keterwakilan setiap tingkat performa *vendor* sehingga mampu merepresentasikan variasi karakteristik dan kualitas layanan dalam proses evaluasi penyedia *cloud computing*. Statistik deskriptif kelima atribut kuantitatif beserta karakteristik distribusinya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistik Deskriptif *Dataset Vendor Cloud*

Kriteria	Min	Maks	Rata-rata	Std. Deviasi	Tipe	Satuan
<i>Latency_ms</i>	10,00	150,00	80,21	40,52	Cost	ms
<i>Throughput_RPS</i>	1.000	19.998	10.501	5.196	Benefit	RPS
<i>Security_Index</i>	1,00	10,00	5,51	2,60	Benefit	Skor
<i>SLA_Uptime_pct</i>	98,000	99,999	98,999	0,577	Benefit	%
<i>Operational_Cost_USD</i>	0,05	5,00	2,53	1,43	Cost	USD

Berdasarkan Tabel 1, dapat diobservasi bahwa *Security_Index* memiliki distribusi yang luas (min=1,00; maks=10,00), mengindikasikan heterogenitas tinggi pada dimensi keamanan antar *vendor*. *SLA_Uptime_pct* memiliki rentang yang relatif sempit (98,000%–99,999%) namun

secara klinis sangat signifikan bagi operasional perbankan, di mana perbedaan 0,01% setara dengan sekitar 52 menit *downtime* per tahun. *Dataset* telah diverifikasi bebas dari nilai kosong (*missing values*) sehingga tidak diperlukan tahap imputasi data. *Dataset* sintetis digunakan dalam penelitian ini karena data operasional yang memuat metrik kinerja *vendor cloud computing*, seperti *Security Index*, *SLA Uptime*, *latency*, *throughput*, dan biaya operasional, umumnya bersifat rahasia serta tidak dipublikasikan oleh penyedia layanan maupun institusi perbankan digital. Kondisi tersebut menyebabkan ketersediaan data riil dalam skala besar menjadi sangat terbatas bagi peneliti. Untuk menjaga keterwakilan terhadap kondisi operasional yang realistis, rentang nilai setiap atribut disusun berdasarkan spesifikasi dan standar yang tersedia secara publik, antara lain *Service Level Agreement* (SLA) penyedia *enterprise cloud*, kerangka penilaian keamanan yang mengacu pada praktik audit ISO/IEC 27001, serta karakteristik *latency* dan *throughput* yang umum dijumpai pada infrastruktur data center di kawasan Asia Tenggara. Dengan pendekatan tersebut, *dataset* sintetis dirancang agar memiliki karakteristik yang mendekati kondisi nyata, meskipun tidak merepresentasikan data operasional aktual.

Meskipun demikian, penggunaan *dataset* sintetis memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam menginterpretasikan hasil penelitian. Pertama, setiap atribut dibangkitkan secara independen sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan korelasi yang mungkin terjadi antarvariabel pada lingkungan operasional sebenarnya, seperti hubungan antara kapasitas *throughput* yang tinggi dengan peningkatan biaya operasional. Kedua, *dataset* bersifat statis sehingga belum mampu menggambarkan perubahan kinerja layanan dari waktu ke waktu, misalnya fluktuasi SLA maupun insiden keamanan. Ketiga, *dataset* belum mengakomodasi aspek bisnis yang umumnya memengaruhi proses pemilihan *vendor*, seperti mekanisme negosiasi kontrak, skema harga bertingkat, maupun hubungan kerja sama jangka panjang.

Stratified Sampling Proporsional

Penerapan PROMETHEE II secara langsung pada 100.000 kandidat *vendor* memerlukan sekitar 10 miliar evaluasi pasangan preferensi, sehingga menghasilkan beban komputasi yang tinggi dan kurang praktis untuk diterapkan. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan *Proportional Stratified Sampling* untuk mereduksi data menjadi 50.000 sampel yang tetap merepresentasikan karakteristik populasi secara keseluruhan, sehingga proses MCDM dapat dijalankan secara lebih efisien tanpa mengurangi validitas hasil [24]. Stratifikasi dilakukan berdasarkan empat kriteria utama, yaitu *Latency_ms*, *Throughput_RPS*, *Security_Index*, dan *SLA_Uptime_pct*, yang memiliki bobot kumulatif tertinggi (92%) dan paling berpengaruh terhadap kualitas layanan *cloud computing* pada sektor perbankan digital [25]. *Operational_Cost_USD* tidak digunakan sebagai variabel stratifikasi karena memiliki bobot terendah (8%) dan berperan sebagai kriteria sekunder. Seluruh proses pengambilan sampel diimplementasikan menggunakan *Python 3* dengan pustaka *pandas* dan *NumPy* pada platform *Google Colaboratory* yang terintegrasi dengan *Google Drive* untuk mendukung efisiensi komputasi, portabilitas, dan kolaborasi penelitian.

Kriteria dan Bobot *Policy-Driven*

Kajian literatur dan analisis kerangka regulasi sektor perbankan digital di Indonesia digunakan untuk menentukan kriteria evaluasi. Lima standar yang dipilih mewakili elemen penting kualitas layanan *cloud computing* yang berkaitan dengan keamanan, kepatuhan, dan kebutuhan operasional bank digital. Tabel 2 menunjukkan ringkasan kriteria evaluasi tersebut.

Tabel 2. Kriteria Evaluasi, Bobot, dan Justifikasi untuk Sektor Bank Digital

Kriteria	Tipe	Bobot (w _i)	Rentang Nilai	Justifikasi
<i>Security_Index</i>	<i>Benefit</i>	35%	1,00-10,00	Prioritas regulasi OJK POJK No. 21/2023 dan kepatuhan standar ISO/IEC 27001
<i>SLA_Uptime_pct</i>	<i>Benefit</i>	25%	98,000-99,999%	Ketersediaan layanan 24/7 untuk transaksi perbankan tanpa henti
<i>Latency_ms</i>	<i>Cost</i>	20%	10-150 ms	Kecepatan otorisasi transaksi <i>real-time</i> pada sistem pembayaran digital
<i>Throughput_RPS</i>	<i>Benefit</i>	12%	1.000-19.998	Kapasitas transaksi saat <i>peak hours</i> (gajian, harbolnas)
<i>Operational_Cost_USD</i>	<i>Cost</i>	8%	0,05-5,00 USD	Efisiensi biaya operasional layanan <i>cloud</i> per unit transaksi
TOTAL		100%		

Tabel 2 menunjukkan bahwa *Security Index* memperoleh bobot tertinggi sebesar 35% berdasarkan Peraturan OJK Nomor 21 Tahun 2023 dan standar keamanan informasi ISO/IEC 27001 yang mewajibkan penerapan mekanisme keamanan berlapis, seperti enkripsi data, autentikasi multifaktor, dan perlindungan terhadap ancaman siber [13]. Selanjutnya, *SLA_Uptime_pct* diberi bobot 25% karena berperan penting dalam menjamin ketersediaan layanan yang mendukung operasional perbankan tanpa waktu henti. Dengan demikian, aspek keamanan dan ketersediaan layanan menjadi prioritas utama dengan bobot kumulatif sebesar 60% karena merupakan faktor dominan dalam pemilihan layanan *cloud computing* pada sektor keuangan.

Validasi dan Penguatan Bobot Kriteria dengan *Best-Worst Method* (BWM)

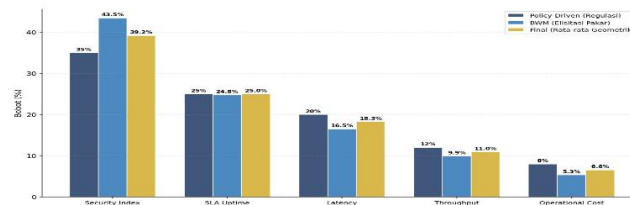
Penelitian ini mengintegrasikan BWM untuk menentukan bobot kriteria sebagai pelengkap pendekatan *policy-driven* berbasis regulasi. BWM dipilih karena mampu menghasilkan bobot yang konsisten melalui proses penilaian yang lebih efisien. Tahapan yang dilakukan meliputi penentuan kriteria terbaik dan terburuk, penyusunan vektor *Best-to-Others* (BO) dan *Others-to-Worst* (OW), optimasi bobot, serta pengujian konsistensi menggunakan *Consistency Ratio* (CR). Berdasarkan prioritas regulasi, *Security_Index* ditetapkan sebagai kriteria terbaik, sedangkan *Operational_Cost_USD* sebagai kriteria terburuk. Hasil perhitungan menunjukkan nilai *Consistency Ratio* (CR) sebesar 0,0477, yang berada di bawah ambang batas 0,10, sehingga penilaian pakar dinyatakan konsisten. Tabel 3 menyajikan perbandingan bobot *policy-driven*, bobot BWM, dan bobot akhir yang diperoleh melalui rata-rata geometrik kedua pendekatan, bobot akhir tersebut mempertahankan kesesuaian dengan regulasi sekaligus mengakomodasi penilaian pakar secara lebih objektif dan konsisten.

Tabel 3. Perbandingan Bobot *Policy-Driven*, BWM, dan Bobot Final

Kriteria	<i>Policy-Driven</i>	BWM	Bobot Final (rat-rata geometrik)
<i>Security_Index</i>	35,00%	43,46%	39,19%
<i>SLA_Uptime_pct</i>	25,00%	24,78%	25,01%
<i>Latency_ms</i>	20,00%	16,52%	18,27%
<i>Throughput_RPS</i>	12,00%	9,91%	10,96%
<i>Operational_Cost_USD</i>	8,00%	5,34%	6,57%

Tabel 3 menunjukkan bahwa bobot BWM secara konsisten menempatkan *Security_Index* sebagai kriteria dengan bobot tertinggi (43,46%), bahkan lebih tinggi dibandingkan skema *Policy-Driven* (35,00%), yang mengindikasikan bahwa pakar *IT Governance* memandang

keamanan sebagai faktor yang jauh lebih dominan dibandingkan estimasi awal berbasis regulasi semata. Selisih terbesar terjadi pada *Security_Index* (8,46 poin persentase), sedangkan *SLA_Uptime_pct* memiliki selisih paling kecil (0,22 poin persentase), yang menunjukkan konvergensi pandangan antara kajian regulasi dan penilaian pakar pada kriteria ini. Gambar 2 mengilustrasikan nilai bobot final yang diekstraksi menggunakan fungsi rata-rata geometrik untuk setiap kriteria evaluasi.



Gambar 2. Perbandingan Bobot Kriteria *Policy-Driven*, *BWM*, dan Bobot Final

Berdasarkan Gambar 2, hasil perhitungan rata-rata geometrik menghasilkan distribusi bobot akhir yang mampu menyeimbangkan pendekatan *Policy-Driven* dan *Best-Worst Method* (BWM) secara proporsional. Kriteria manfaat operasional menempati prioritas tertinggi, sedangkan *Operational Cost* memperoleh bobot terendah sebesar 6,6%. Konfigurasi ini mencerminkan karakteristik sektor perbankan digital yang lebih mengutamakan mitigasi risiko dan keandalan layanan dibandingkan efisiensi biaya jangka pendek.

Fase 1: *Weighted Sum Model* (WSM)

Untuk mengurangi beban komputasi pada tahap evaluasi berikutnya, penelitian ini menerapkan WSM sebagai mekanisme penyaringan awal menggunakan bobot akhir hasil integrasi *Policy-Driven* dan BWM. Seluruh kriteria dinormalisasi dengan metode *Min-Max* ke dalam rentang [0,1], kemudian dihitung skor WSM untuk setiap *vendor*. Berdasarkan nilai ambang (*threshold*) $\geq 0,633624$, sebanyak 40.000 *vendor* dieliminasi, sedangkan 10.000 *vendor* dengan skor tertinggi dipilih untuk dievaluasi menggunakan PROMETHEE II pada Fase 2. Pendekatan ini mampu mengurangi jumlah alternatif secara signifikan tanpa mengabaikan kandidat yang berpotensi unggul. Nilai *threshold* WSM ditentukan berdasarkan rasio seleksi sebesar 20% (10.000 dari 50.000 *vendor*) dengan mempertimbangkan efisiensi komputasi PROMETHEE II, keterwakilan kandidat berkinerja tinggi, dan kebutuhan seleksi yang konservatif pada sektor perbankan. Untuk menguji ketahanan keputusan terhadap pemilihan rasio tersebut, dilakukan analisis sensitivitas pada enam skenario, yaitu 30%, 20%, 15%, 10%, 4%, dan 2%. Hasil pengaruh perubahan rasio seleksi terhadap nilai *threshold* dan *vendor* peringkat pertama disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh Rasio Seleksi terhadap *Threshold* WSM dan *Vendor* Peringkat Pertama

Rasio Seleksi	N Vendor Lolos	Threshold WSM	Vendor Skor WSM
30%	15.000	0,584160	CLOUD_051414 (0,9468)
20%	10.000	0,633624	CLOUD_051414 (0,9468)
15%	7.500	0,663017	CLOUD_051414 (0,9468)
10%	5.000	0,697532	CLOUD_051414 (0,9468)
4%	2.000	0,759715	CLOUD_051414 (0,9468)
2%	1.000	0,794107	CLOUD_051414 (0,9468)

Tabel 4 menunjukkan bahwa CLOUD_051414 tetap menempati peringkat pertama berdasarkan skor WSM sebesar 0,9468 pada seluruh skenario rasio seleksi, mulai dari 2% hingga 30%. Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan rasio seleksi sebesar 20% tidak

memengaruhi identitas kandidat terbaik pada tahap penyaringan awal. Dengan demikian, nilai *threshold* WSM sebesar 0,633624 dapat dipertanggungjawabkan sebagai titik potong yang stabil.

Fase 2: PROMETHEE II

Metode ini dipilih karena mampu merepresentasikan preferensi parsial antaralternatif melalui fungsi preferensi yang mempertimbangkan besarnya perbedaan nilai setiap kriteria. Penelitian ini menggunakan Fungsi Preferensi Linear (Tipe 5 Vincke-Brans) dengan dua parameter, yaitu ambang indifferensi (q) dan ambang preferensi (p). Selisih nilai yang lebih kecil dari q dianggap tidak memiliki preferensi, selisih yang melebihi p menunjukkan preferensi penuh, sedangkan nilai di antara keduanya direpresentasikan secara linear. PROMETHEE II diterapkan pada 10.000 *vendor* hasil penyaringan WSM, dengan nilai *Positive Flow* (Φ^+) menunjukkan tingkat dominasi suatu *vendor* terhadap alternatif lain, *Negative Flow* (Φ^-) menunjukkan tingkat dominasinya oleh alternatif lain, dan *Net Flow* (Φ) digunakan sebagai dasar pemeringkatan akhir. Proses komputasi melibatkan sekitar 100 juta evaluasi pasangan *vendor* dan diimplementasikan menggunakan teknik *batch processing* (*batch size* = 500) dengan *Python* pada lingkungan *Google Colaboratory*.

Tabel 5. Parameter Ambang Fungsi Preferensi PROMETHEE II

Kriteria	q (indifferensi)	p (preferensi)	Justifikasi
Security_Index	0,3	2,0	Perbedaan kecil vs perbedaan tingkat keamanan yang signifikan.
SLA_Uptime_pct	0,05%	0,30%	Perbedaan SLA yang dapat ditoleransi vs signifikan.
Latency_ms	3,0 ms	25,0 ms	Tidak berdampak vs berdampak pada transaksi <i>real-time</i>
Throughput_RPS	300 RPS	3.000 RPS	Perbedaan kapasitas minor vs signifikan.
Operational_Cost _USD	\$0,10	\$0,80	Dampak biaya rendah vs signifikan terhadap TCO

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai q dan p ditetapkan berdasarkan pertimbangan operasional domain perbankan digital, bukan nilai baku generik, sehingga fungsi preferensi mencerminkan toleransi bisnis yang realistis. Sebagai contoh, ambang preferensi *SLA_Uptime_pct* sebesar 0,30% dipilih karena setara dengan sekitar 26 menit *downtime* tambahan per tahun, sebuah perbedaan yang secara operasional dianggap signifikan bagi layanan perbankan yang beroperasi 24/7. Seluruh parameter ini bersifat tetap (*fixed*) pada seluruh eksperimen dan dapat direplikasi langsung oleh peneliti lain menggunakan *dataset* dan kode yang sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Representativitas Sampel: *Stratified Sampling Proporsional*

Proportional Stratified Sampling dengan 256 strata (4^4 kombinasi kuartil dari empat variabel utama, yaitu *Latency_ms*, *Throughput_RPS*, *Security_Index*, dan *SLA_Uptime_pct* berhasil menghasilkan 50.000 sampel yang representatif dari populasi sebanyak 100.000 *vendor*. Variasi distribusi antarstrata hanya mencapai $\pm 12,9\%$ dari nilai rata-rata, yang menunjukkan bahwa tidak terdapat strata yang mengalami *over-representation* maupun *under-representation*. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa setiap kelompok profil kinerja *vendor*, termasuk strata

minoritas dengan performa tinggi, terwakili secara proporsional sehingga mendukung proses evaluasi pada tahapan selanjutnya.

Fase 1: Seleksi Heuristik Berbasis *Weighted Sum Model* (WSM)

Penerapan WSM terhadap 50.000 sampel stratifikasi menghasilkan seleksi yang secara efektif menyaring 10.000 *vendor* terbaik (20% teratas), sekaligus mengeliminasi 40.000 *vendor* (80%) dengan kompleksitas komputasi linear $O(n)$. Tabel 6 menyajikan lima *vendor* dengan skor WSM tertinggi.

Tabel 6. Lima *Vendor* Teratas Berdasarkan Skor WSM

Rank WSM	Vendor_ID	Latency (ms)	Throughput (RPS)	Security Index	SLA Uptime (%)	Op. Cost (USD)	Skor WSM
1	CLOUD_051414	14,89	14.355	9,80	99,996	0,44	0,9468
2	CLOUD_071856	14,22	19.398	10,00	99,854	2,05	0,9464
3	CLOUD_019030	10,29	16.109	9,70	99,776	0,52	0,9300
4	CLOUD_088507	14,20	18.492	9,20	99,904	0,83	0,9288
5	CLOUD_012773	34,99	16.161	9,90	99,918	0,35	0,9268

Tabel 6 menunjukkan bahwa lima *vendor* WSM teratas secara konsisten memiliki *Security_Index* di atas 8,70 dan *SLA_Uptime_pct* di atas 99,566%, mencerminkan dominasi bobot *Security_Index* (39,19%) dan *SLA_Uptime_pct* (25,01%) dalam formula WSM hasil kombinasi *Policy-Driven* dan BWM. *Vendor* CLOUD_051414 memperoleh skor WSM tertinggi (0,9468) melalui kombinasi *Security_Index* 9,80, *SLA_Uptime_pct* 99,996%, dan *Latency* 14,89 ms. Sementara itu, CLOUD_071856 memiliki *Security_Index* sempurna (10,00) dan *Throughput* tertinggi kedua (19.398 RPS), tetapi *Operational_Cost* yang lebih tinggi (2,05 USD) menempatkannya pada peringkat kedua dengan skor yang sangat dekat (0,9464). Hasil ini menunjukkan bahwa WSM mampu mengompensasi kelemahan suatu kriteria dengan keunggulan pada kriteria lain, sedangkan keterbatasan tersebut akan disempurnakan melalui PROMETHEE II pada Fase 2.

Fase 2: Perangkingan Presisi Berbasis PROMETHEE II

PROMETHEE II diterapkan pada 10.000 *vendor* kandidat melalui evaluasi 100 juta perbandingan berpasangan (10.000×10.000) dengan teknik *batch processing* (*batch size* = 500). Hasil evaluasi menghasilkan distribusi *Net Flow* (Φ) yang bervariasi, mulai dari +0,6269 sebagai nilai tertinggi hingga -0,3117 sebagai nilai terendah, dengan rentang sebesar 0,9386. Rentang tersebut menunjukkan kemampuan diskriminasi PROMETHEE II yang tinggi dalam membedakan *vendor* dengan profil kinerja yang relatif serupa berdasarkan hasil agregasi WSM. Tabel 4 menyajikan lima *vendor* teratas berdasarkan *Net Flow* PROMETHEE II.

Tabel 7 mengungkapkan beberapa temuan analitis setelah penerapan bobot akhir hasil integrasi pendekatan *policy-driven* dan *Best-Worst Method* (BWM). Pertama, CLOUD_071856 menempati peringkat pertama dengan nilai *net flow* (Φ) sebesar +0,6295, menggeser CLOUD_051414 ke posisi kedua dengan Φ sebesar +0,6228. Pergeseran ini menunjukkan bahwa mekanisme *outranking* pada PROMETHEE II memberikan keuntungan bagi *vendor* yang memiliki performa lebih unggul pada kriteria berbobot tinggi, khususnya *Security_Index*

dan *Throughput_RPS*, meskipun memiliki biaya operasional yang relatif lebih tinggi. Kedua, CLOUD_071856 dan CLOUD_051414 secara konsisten menempati dua peringkat teratas pada metode WSM maupun PROMETHEE II. Konsistensi tersebut mengindikasikan bahwa keunggulan kedua *vendor* tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik metode evaluasi, tetapi juga mencerminkan kinerja yang unggul secara multidimensional. Ketiga, terjadi perubahan peringkat yang cukup signifikan pada beberapa alternatif, di mana CLOUD_045545 meningkat dari peringkat kesembilan pada WSM menjadi peringkat ketiga pada PROMETHEE II. Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme *outranking* berpasangan pada PROMETHEE II mampu mengidentifikasi keunggulan suatu *vendor* yang kurang terlihat pada pendekatan agregasi linier WSM, terutama karena CLOUD_045545 memiliki *Security_Index* sempurna.

Tabel 7. Lima *Vendor* Teratas Berdasarkan *Net Flow* PROMETHEE II (Bobot *Policy-Driven*+BWM)

Rank PROMETHEE II	Vendor _ID	Security Idx	SLA Uptime (%)	Latency (ms)	Throughput (RPS)	Cost (USD)	Φ^+	Φ^-	Φ_{Net}	Rank WSM
1	CLOUD_071856	10,00	99,854	14,22	19.398	2,05	0,6597	0,0301	+0,6295	2
2	CLOUD_051414	9,80	99,996	14,89	14.355	0,44	0,6570	0,0342	+0,6228	1
3	CLOUD_045545	10,00	99,965	18,05	19.377	4,75	0,6501	0,0603	+0,5898	9
4	CLOUD_088507	9,20	99,904	14,20	18.492	0,83	0,5973	0,0206	+0,5767	4
5	CLOUD_048391	9,80	99,990	16,02	15.506	2,50	0,6315	0,0555	+0,5759	6

Analisis Komparatif Profil Lima *Vendor* Teratas dan Implikasi Metodologis

Tabel 8 menyajikan profil kinerja komparatif lima *vendor* dengan peringkat tertinggi berdasarkan PROMETHEE II untuk mendukung analisis karakteristik *vendor* yang berhasil mencapai posisi teratas dalam kerangka *multi-stage* yang diusulkan.

Tabel 8. Profil Kinerja Komparatif Lima *Vendor* Hasil PROMETHEE II (Bobot *Policy-Driven* + BWM)

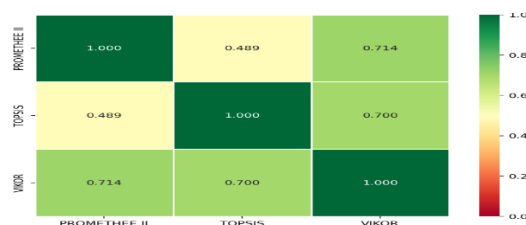
Atribut Evaluasi	#1 CLOUD 071856	#2 CLOUD 051414	#3 CLOUD 045545	#4 CLOUD 088507	#5 CLOUD 048391
Security Index (1–10)	10,00	9,80	10,00	9,20	9,80
SLA Uptime (%)	99,854	99,996	99,965	99,904	99,990
Latency (ms)	14,22	14,89	18,05	14,20	16,02
Throughput (RPS)	19.398	14.355	19.377	18.492	15.506
Operational Cost (\$)	2,05	0,44	4,75	0,83	2,50
Positive Flow (Φ^+)	0,6597	0,6570	0,6501	0,5973	0,6315
Negative Flow (Φ^-)	0,0301	0,0342	0,0603	0,0206	0,0555
Net Flow (Φ)	+0,6295	+0,6228	+0,5898	+0,5767	+0,5759

Rank PROMETHEE II	#1	#2	#3	#4	#5
Rank WSM (Fase 1)	#2	#1	#9	#4	#6

Tabel 8 menunjukkan bahwa lima vendor dengan peringkat tertinggi pada PROMETHEE II seluruhnya berasal dari kuartil tertinggi (Q4) untuk *Security_Index* dan *SLA_Uptime_pct*, dengan nilai *Security_Index* di atas 9,20 dan *SLA_Uptime_pct* melebihi 99,854%. Hal ini menunjukkan bahwa proses stratifikasi mampu mempertahankan keterwakilan *vendor* berkinerja tinggi sekaligus meminimalkan potensi bias dibandingkan random sampling konvensional. CLOUD_071856 dan CLOUD_051414 memiliki kinerja yang relatif seimbang, dengan keunggulan masing-masing pada aspek keamanan dan kapasitas layanan, serta keandalan dan efisiensi biaya. Selisih nilai Net Flow (Φ) yang kecil (+0,6295 dan +0,6228) mengindikasikan bahwa bobot hasil integrasi pendekatan *Policy-Driven* dan BWM mampu menghasilkan keseimbangan antara keamanan, keandalan, kapasitas layanan, dan biaya. Selain itu, kenaikan peringkat CLOUD_045545 dari posisi kesembilan pada WSM menjadi peringkat ketiga pada PROMETHEE II menunjukkan bahwa pendekatan *outranking* lebih efektif dalam mengidentifikasi keunggulan pada kriteria berbobot tinggi yang belum sepenuhnya tercermin melalui agregasi linier WSM.

Analisis Statistik Konsistensi Antar Metode (Korelasi Spearman)

Konsistensi peringkat antar metode diuji menggunakan korelasi Spearman (ρ) pada 1.000 vendor teratas, membandingkan peringkat pipeline WSM+PROMETHEE II dengan peringkat global TOPSIS dan VIKOR yang dihitung langsung pada *dataset* murni 50.000 (bukan diranking ulang di dalam *subset* 10.000), sehingga perbandingan tetap adil. Gambar 3 menyajikan matriks korelasi tersebut.



Gambar 3. Matrix Korelasi Spearman Peringkat Top-1000 Vendor Antar Metode

Gambar 3 menunjukkan bahwa VIKOR memiliki korelasi tertinggi dengan PROMETHEE II, menunjukkan kesesuaian peringkat yang cukup kuat meskipun kedua metode menggunakan mekanisme agregasi yang berbeda. Sebaliknya, korelasi antara PROMETHEE II dan TOPSIS relatif moderat (0,4894), mengindikasikan bahwa kedua metode dapat menghasilkan urutan prioritas yang cukup berbeda pada *vendor* peringkat menengah, meskipun konsisten pada segmen *vendor* dengan kinerja sangat unggul.

Analisis Performa Komputasi dan Skalabilitas

Untuk menilai skalabilitas pendekatan yang diusulkan, dilakukan perbandingan waktu komputasi *pipeline* WSM+PROMETHEE II dengan metode TOPSIS, VIKOR, ELECTRE III, dan PROMETHEE II tanpa WSM pada *dataset* hasil *stratified sampling* (50.000 *vendor*). Tabel 9 menyajikan perbandingan mencakup kompleksitas algoritmik, jumlah alternatif yang diproses, serta waktu komputasi aktual maupun estimasi pada skala data yang lebih besar.

Tabel 9. Perbandingan Komprehensif WSM+PROMETHEE II vs TOPSIS vs VIKOR vs ELECTRE III

Metode	Dataset Diuji	Kompleksitas	Waktu Komputasi	Korelasi vs PROMETHEE II	Kekuatan / Kelemahan Utama
WSM + PROMETHEE II (<i>Pipeline</i>)	50.000 (hasil filter WSM menjadi 10.000)	$O(n) + O(n^2 \cdot m)$	27,5 detik	1,0000	Efisien pada data besar dan memiliki fungsi preferensi granular per kriteria; namun membutuhkan dua tahap dan filter WSM berisiko membuang kandidat marjinal
PROMETHEE II (tanpa WSM)	50.000	$O(n^2 \cdot m)$	36,4 menit	n/a	kurang efisien untuk diterapkan secara langsung pada dataset berskala besar tanpa mekanisme reduksi alternatif.
TOPSIS	50.000	$O(n \cdot m)$	0,009 detik	0,4894	Sangat cepat dan mudah diinterpretasikan; namun rentan rank reversal dan tidak memiliki mekanisme ambang preferensi
VIKOR	50.000	$O(n \cdot m)$	0,007 detik	0,7136	Solusi kompromi yang cocok bila terdapat konflik antar kriteria; namun sensitif terhadap parameter bobot strategi v
ELECTRE III	300 sampel acak	$O(n^2 \cdot m)$	1,00 detik	n/a (sampel terlalu kecil untuk korelasi valid)	Mampu menangani ketidakterbandingan (<i>incomparability</i>) melalui ambang veto; namun kompleksitas kuadratnya membuatnya tidak praktis dijalankan langsung pada 50.000 data
ELECTRE III	50.000	$O(n^2 \cdot m)$	462,5 menit	n/a	Tidak praktis dijalankan langsung pada seluruh alternatif

Berdasarkan Tabel 9, setiap metode menunjukkan karakteristik berbeda antara efisiensi komputasi dan kualitas pemodelan preferensi. TOPSIS dan VIKOR memiliki kompleksitas $O(n \cdot m)$ sehingga komputasinya cepat, tetapi tidak mendukung preferensi berbasis ambang. Sebaliknya, PROMETHEE II dan ELECTRE III menghasilkan evaluasi yang lebih representatif melalui pendekatan *outranking*, namun kompleksitas $O(n^2 \cdot m)$ meningkatkan waktu komputasi pada dataset besar. Integrasi WSM+PROMETHEE II mengatasi keterbatasan tersebut dengan mempertahankan korelasi peringkat identik terhadap PROMETHEE II ($q = 1,0000$) sekaligus menurunkan waktu komputasi menjadi 27,5 detik melalui mekanisme *pre-filtering*. Sementara itu, VIKOR memiliki korelasi peringkat tertinggi terhadap PROMETHEE II sehingga layak digunakan sebagai metode validasi silang, sedangkan ELECTRE III memberikan wawasan melalui konsep *incomparability* tetapi kurang sesuai untuk dataset besar karena beban komputasi yang tinggi. Hasil ini mendukung penggunaan pipeline WSM+PROMETHEE II sebagai metode utama seleksi 50.000 vendor dengan VIKOR sebagai metode validasi silang.

Efektivitas Kerangka *Multi-Stage* dan Implikasi Strategis

Dari perspektif efisiensi komputasional, kerangka multi-stage yang diusulkan menunjukkan skalabilitas yang tinggi. Melalui kombinasi *stratified sampling* dan penyaringan menggunakan WSM, waktu komputasi PROMETHEE II berhasil ditekan menjadi 27,5 detik atau berkurang sekitar 94,9%–99% dibandingkan estimasi penerapan langsung pada 100.000 *vendor*, tanpa

mengurangi kualitas rekomendasi. Hal ini dibuktikan oleh konsistensi dua *vendor* teratas (CLOUD_071856 dan CLOUD_051414) serta korelasi *Spearman* yang cukup tinggi terhadap VIKOR (0,7136) sebagai metode validasi silang. Dari perspektif manajerial, CLOUD_071856 direkomendasikan sebagai *vendor* utama karena memperoleh nilai *Net Flow* tertinggi ($\Phi = +0,6295$), didukung *Security_Index* sempurna dan *SLA_Uptime_pct* sebesar 99,854% yang selaras dengan ketentuan Peraturan OJK Nomor 21 Tahun 2023 dan Surat Edaran OJK Republik Indonesia Nomor 29/SEOJK.03/2022 [13], [12]. Secara keseluruhan, temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyoroti sifat kompensatoris WSM [14-16] dan keunggulan diskriminatif PROMETHEE II sebagai metode *outranking* [20-22]. Penelitian ini memperluas kontribusi tersebut dengan menunjukkan bahwa integrasi WSM dan PROMETHEE II mampu mengurangi kompleksitas komputasi tanpa menurunkan kualitas pemeringkatan, sebagaimana didukung oleh korelasi *Spearman* terhadap TOPSIS dan VIKOR [23]. Selain itu, penggunaan skema pembobotan hibrida *Policy-Driven* dan BWM dengan tingkat konsistensi yang baik ($CR = 0,0477$) serta analisis sensitivitas memberikan landasan pengambilan keputusan yang lebih andal dibandingkan pendekatan pembobotan subjektif tunggal seperti PIPRECIA atau SWARA [17-19]. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, penggunaan dataset sintetis membatasi generalisasi temuan terhadap kondisi nyata pasar *cloud computing*, khususnya terkait korelasi antar kriteria dan dinamika temporal *Service Level Agreement* (SLA). Kedua, analisis sensitivitas hanya menguji perubahan bobot *Security_Index* secara individual sehingga pengaruh perubahan simultan beberapa kriteria belum dievaluasi. Ketiga, parameter preferensi (q dan p) pada PROMETHEE II masih ditetapkan berdasarkan pertimbangan pakar dan belum divalidasi secara empiris. Meskipun demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa arsitektur MCDM multi-tahap dengan reduksi data bertingkat mampu menyeimbangkan presisi metode *outranking* dan efisiensi komputasi pada permasalahan berskala besar. Kerangka yang diusulkan juga menyediakan pendekatan yang transparan, sistematis, dan mudah direplikasi untuk mendukung proses seleksi *vendor cloud computing* di sektor perbankan digital sesuai dengan ketentuan regulasi OJK.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merumuskan dan memvalidasi kerangka sistem rekomendasi multi-tahap yang mengintegrasikan WSM dan PROMETHEE II untuk mendukung pengambilan keputusan berskala besar melalui strategi reduksi data bertingkat yang mampu menyeimbangkan presisi metode *outranking* dengan efisiensi komputasi. Keandalan kerangka yang diusulkan diperkuat oleh skema pembobotan hibrida yang menggabungkan pendekatan *Policy-Driven* berdasarkan regulasi Otoritas Jasa Keuangan dengan *Best-Worst Method* (BWM), sehingga mampu menurunkan beban komputasi hingga 99% tanpa mengurangi kualitas pemeringkatan serta secara konsisten merekomendasikan CLOUD_071856 sebagai *vendor cloud computing* terbaik. Selain meningkatkan efisiensi proses evaluasi, pendekatan ini juga menyediakan kerangka pengambilan keputusan yang lebih transparan, objektif, dan mudah direplikasi dalam proses pengadaan layanan TI pada sektor perbankan digital. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, yaitu penggunaan dataset sintetis yang belum sepenuhnya merepresentasikan korelasi antar-kriteria, dinamika *Service Level Agreement* (SLA), dan kondisi operasional pada lingkungan *cloud* nyata, analisis sensitivitas yang masih terbatas pada perubahan bobot secara individual, serta penetapan parameter preferensi PROMETHEE II (q dan p) yang masih bergantung pada

penilaian pakar. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memvalidasi kerangka yang diusulkan menggunakan data empiris dari telemetri infrastruktur *cloud* aktif, melibatkan praktisi dalam penentuan parameter preferensi, serta mengintegrasikan pendekatan *time-series forecasting* dan analisis sensitivitas multivariabel guna meningkatkan ketahanan dan adaptabilitas sistem rekomendasi terhadap perubahan kinerja vendor secara dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Felipe, M. Kaya, S. Mathews, and R. Torres de Oliveira, "Rethinking digital transformation in commercial banking: A longitudinal analysis of business model innovation," *Digital Business*, vol. 6, no. 2, pp. 1–17, 2026, doi: 10.1016/j.digbus.2026.100177.
- [2] G. Lambropoulos, S. Mitropoulos, and C. Douligeris, "Emerging Technologies in Financial Services: From Virtualization and Cloud Infrastructures to Edge Computing Applications," *Computers*, vol. 15, no. 1, pp. 1–37, 2026, doi: 10.3390/computers15010041.
- [3] E. J. Adwan and B. A. Alsaeed, "Cloud Computing adoption in the financial banking sector-A systematic literature review (2011-2021)," *International Journal of Advanced Science Computing and Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 48–55, 2022, doi: 10.62527/ijasce.4.1.73.
- [4] H. Al-Malahmeh, "The role of cloud computing in supporting decision making: Evidence from banking industry," *International Journal of Data and Network Science*, vol. 7, no. 1, pp. 131–140, 2023, doi: 10.5267/j.ijdns.2022.11.009.
- [5] M. E. Rana, T. M. Yik, and V. A. Hameed, "Cloud Computing Adoption in the Banking Sector: A Comparative Analysis of Three Major CSPs," in *2023 6th International Conference on Big Data and Artificial Intelligence, BDAI 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 244–250. doi: 10.1109/BDAI59165.2023.10256870.
- [6] B. A. Brahmandam, "Cloud Migration and Hybrid Infrastructure in Financial Institutions," *International Journal of Computer science engineering Techniques*, vol. 9, no. 1, pp. 42–46, 2025, doi: 10.5281/zenodo.15359670.
- [7] Y. Hilmi, "Cloud computing-based banking and management control," *International Journal of Automation and Digital Transformation*, vol. 3, no. 1, pp. 86–92, 2024, doi: 10.54878/wdmdjp25.
- [8] H. Y. Adarbah and A. H. Al-Badi, "Banking on the Cloud: Insights into Security and Smooth Operations," *Journal of Business, Communication & Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 1–14, 2023, doi: 10.56632/bct.2023.2201.
- [9] N. R. Panguluri, "Cloud Computing and Its Impact on the Security of Financial Systems," *Computer Science and Engineering*, vol. 2024, no. 6, pp. 121–128, 2024, doi: 10.5923/j.computer.20241406.01.
- [10] Presiden Republik Indonesia, *Undang-undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2022 Tentang Pelindungan Data Pribadi*. Indonesia, 2022.
- [11] Otoritas Jasa Keuangan, *Peraturan Otoritas Jasa Keuangan Republik Indonesia Nomor 11/POJK.03/2022 tentang Penyelenggaraan Teknologi Informasi oleh Bank Umum*. Indonesia, 2022. [Online]. Available: www.peraturan.go.id

- [12] Otoritas Jasa Keuangan, *Surat Edaran Otoritas Jasa Keuangan Republik Indonesia Nomor 29/SEOJK.03/2022 Tentang Ketahanan dan Keamanan Siber Baik Bank Umum*. Indonesia, 2022.
- [13] Otoritas Jasa Keuangan, *Peraturan Otoritas Jasa Keuangan Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2023 tentang Layanan Digital Oleh Bank Umum*. Indonesia, 2023.
- [14] J. Hutahaeen, "Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Vendor IT Dengan Metode WSM Weighted Scoring Model," *Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi Cendekia*, vol. 1, no. 2, pp. 38–46, 2024, [Online]. Available: <https://ejurnal.mitrakreasicendekia.com/index.php/JuSTICe>
- [15] R. N. Lumanauw, P. Kiat Ng, A. Saptari, I. Bin Halim, M. Toha, and Y. J. Ng, "Performance Evaluation of Subcontractors Using Weighted Sum Method Through KPI Measurement," *Journal of Engineering Technology and Applied Physics*, vol. 5, no. 1, pp. 35–49, 2023, doi: 10.33093/jetap.2023.5.1.
- [16] B. Triwijaya and S. Wibowo, "Penerapan Metode Weighted Sum Model pada Sistem Pendukung Keputusan Penerimaan Magang di PT. Indosat Ooredoo Hutchison," in *Seminar Nasional Informatika*, FTI UPGRIS, 2024, pp. 329–336.
- [17] Permata and A. L. Kalua, "Rekomendasi Penentuan Siswa Berprestasi Dengan Menggunakan Metode Pembobotan PIPRECIA dan Weighted Sum Model," *Journal of Artificial Intelligence and Technology Information (JAITI)*, vol. 2, no. 2, pp. 96–105, 2024, doi: 10.58602/jaiti.v2i2.127.
- [18] N. A. Nabeeh and A. A. Tantawy, "A Neutrosophic Model for Blockchain Platform Selection based on SWARA and WSM," *Neutrosophic and Information Fusion*, vol. 1, no. 2, pp. 29–43, 2023, doi: 10.54216/NIF.010204.
- [19] R. O'Shea, P. Deeney, E. Triantaphyllou, L. Diaz-Balteiro, and S. Armagan Tarim, "Weight stability intervals for multi-criteria decision analysis using the weighted sum model," *Expert Syst. Appl.*, vol. 296, 2026, doi: 10.1016/j.eswa.2025.128460.
- [20] C. Saputri and R. Sulaiman, "SELECTING THE BEST BANK USING A COMBINATION OF ENTROPY AND PROMETHEE II METHODS," *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, vol. 14, no. 1, pp. 255–262, 2026, doi: 10.26740/mathunesa.v14n1.p255-262.
- [21] H. T. Nguyen and T.-C. Chu, "Ranking Startups Using DEMATEL-ANP-Based Fuzzy PROMETHEE II," *Axioms*, vol. 12, no. 6, pp. 1–34, 2023, doi: 10.3390/axioms12060528.
- [22] P. Bitin, I. N. Farida, and D. Swanjaya, "Implementasi Metode PROMETHEE II dalam Sistem Pendukung Keputusan Seleksi Smart Class," in *INOTEK*, Jul. 2025, pp. 1125–1133. doi: 10.29407/j0pvw831.
- [23] T. Cahyono, A. H. Muhammad, S. N. Wahyuni, and H. Al Fatta, "Decision Support Systems in Electronic Procurement for Public Sector Procurement: A Systematic Literature Review on Machine Learning Integration," *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*, vol. 7, no. 2, pp. 1905–1917, 2026, doi: 10.52436/1.jutif.2026.7.2.5747.
- [24] S. K. Ahmed, "How to choose a sampling technique and determine sample size for research: A simplified guide for researchers," *Oral Oncology Reports*, vol. 12, pp. 1–7, 2024, doi: 10.1016/j.oor.2024.100662.
- [25] R. K. Pulluri, "Cloud Computing Adoption In Financial Services: An Analysis Of Performance, Security, And Customer Experience Enhancement Through Asynchronous Processing And Microservices Architecture," *International Journal of Computer Engineering and Technology (IJCET)*, vol. 15, no. 6, pp. 1865–1874, 2024, doi: 10.34218/ijcet_15_06_159.