Journal of Computer and Information System (J-CIS)
Vol.9, No.2, October 2026, Page 231-247
ISSN (print): 2622-5859, ISSN (online): 2622-0881
DOI: https://doi.org/10.31605/jcis.v9i2

Kerangka Rekomendasi Nilai Limit Aset E-Lelang Berbasis *Group* AHP–SAW

Marcelino Wullur*[1], Giovani Pinontoan[2], Fitria Claudia Lahinta[3], Josephin Sundah[4], Olga Engelien Melo[5], Chairi Nur Insani[6], Asmaul Husna RS[7]
[1],[2],[3],[5] Program Studi Teknik Informatika; [4] Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Manado
[6] Program Studi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat; [7] Program Studi Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Universitas Bima Internasional MFH
E-mail: *[1]jordanjr04wullur@gmail.com, [2]giovanipinontoan06@gmail.com, [3]fclahinta@elektro.polimdo.ac.id, [4]josephinsundah2017@gmail.com, [5]olgameloak@gmail.com
[6]chairini@unsulbar.ac.id, [7]rshusnaasmaul@gmail.com

Abstrak

Penentuan nilai limit aset lelang memerlukan integrasi karakteristik aset dan informasi pasar yang dapat ditelusuri. Penelitian ini mengusulkan kerangka rekomendasi nilai limit awal aset lelang sukarela yang mengintegrasikan Group Analytical Hierarchy Process (AHP), Simple Additive Weighting (SAW), dan median data pembanding. Kebaruan penelitian terletak pada pemisahan pembobotan pakar, penilaian operasional berbasis kriteria spesifik kategori, dan konversi preferensi menjadi rekomendasi moneter melalui harga referensi. Tiga pakar menilai 20 kriteria pada kategori tanah dan bangunan, kendaraan, serta elektronik. Pengujian menggunakan sembilan aset dan 45 harga penawaran web. Seluruh matriks kelompok konsisten dengan CR 0,004385–0,008734. Perhitungan ulang terpisah menggunakan bobot presisi penuh menghasilkan selisih maksimum $1{,}01\times10^{-6}$ terhadap keluaran aplikasi berbobot enam desimal tanpa perubahan peringkat. SAW dan TOPSIS menghasilkan peringkat identik, sedangkan 80 skenario perubahan bobot ±5% dan ±10% mempertahankan urutan dengan Spearman 1,000. Sepuluh fungsi inti berhasil pada pengujian black-box. Rekalkulasi 15 respons UAT menghasilkan penerimaan 87,33%. Kerangka mendukung rekomendasi awal yang transparan, tetapi belum membuktikan akurasi ekonomi terhadap appraisal atau transaksi aktual.

Kata kunci*—Group AHP, SAW, nilai limit, data pembanding, e-lelang*

Abstract

Determining an auction reserve price requires integrating asset characteristics with traceable market information. This study proposes an initial reserve-price recommendation framework for voluntary auctions by integrating Group Analytical Hierarchy Process (AHP), Simple Additive Weighting (SAW), and the median of comparable listings. Its novelty lies in separating expert weighting, category-specific operational scoring, and the conversion of preferences into monetary recommendations through reference prices. Three experts evaluated 20 criteria for land and buildings, vehicles, and electronics. The experiment used nine assets and 45 web-listed prices. All Group matrices were consistent, with CR values of 0.004385–0.008734. A separate recalculation using full-precision weights produced a maximum difference of 1.01×10^{-6} from the application outputs based on six-decimal weights without changing the rankings. SAW and TOPSIS produced identical rankings, while 80 weight-change scenarios of ±5% and ±10% preserved the order with a Spearman coefficient of 1.000. Ten core functions passed black-box testing. Recalculation of 15 raw UAT

responses yielded 87.33% acceptance. The framework supports transparent initial recommendations but does not establish economic accuracy against professional appraisal or actual transaction data.

Keywords*—Group AHP, SAW, reserve price, comparable data, e-auction*

1. PENDAHULUAN

Lelang merupakan mekanisme penjualan melalui penawaran kompetitif, sedangkan nilai limit berfungsi sebagai batas minimum yang diterima penjual. Pada lelang sukarela, nilai limit yang terlalu tinggi dapat menurunkan peluang terjadinya transaksi, sementara nilai yang terlalu rendah dapat mengurangi manfaat ekonomi bagi penjual. Regulasi pelaksanaan lelang juga menempatkan nilai limit dan kelengkapan dokumen objek sebagai bagian penting dalam pengajuan dan pelaksanaan lelang [1]. Oleh sebab itu, nilai limit awal perlu disusun melalui proses yang sistematis, transparan, dan dapat ditelusuri.

Dalam kebutuhan operasional mitra, penjual mengajukan identitas, dokumen objek, dan usulan nilai limit, sedangkan admin atau pejabat lelang memeriksa kelengkapan serta kewajaran sebelum aset dijadwalkan. Permasalahan praktisnya bukan sekadar ketersediaan angka limit, melainkan belum adanya jejak perhitungan yang menghubungkan kondisi aset dengan bukti harga pasar secara konsisten. Oleh karena itu, rekomendasi ditempatkan pada sisi penjual sebagai alat bantu keputusan, sementara verifikasi dan keputusan akhir tetap berada pada pihak yang berwenang [1].

Penilaian aset merupakan permasalahan multi kriteria karena atribut yang memengaruhi kewajaran nilai berbeda antar kategori. Tanah dan bangunan dipengaruhi oleh lokasi, legalitas, luas, kondisi fisik, fasilitas, risiko lingkungan, dan potensi pengembangan. Kendaraan dipengaruhi oleh kondisi mesin, performa, jarak tempuh, tahun produksi, riwayat, merek atau model, dan kondisi fisik. Perangkat elektronik dipengaruhi oleh kondisi barang, spesifikasi, fungsi, usia pemakaian, merek, dan kelengkapan. Keragaman atribut tersebut menyebabkan penggunaan satu indikator untuk seluruh kategori tidak memadai. Oleh karena itu, pendekatan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) diperlukan untuk mengintegrasikan atribut kuantitatif dan kualitatif dalam suatu model keputusan yang terstruktur [2]–[4].

Dalam kerangka MCDM tersebut, *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk menghasilkan bobot prioritas melalui perbandingan berpasangan dan pengujian konsistensi [5]. Pada keputusan kelompok, *geometric mean* digunakan untuk mengagregasikan matriks individual tanpa menghilangkan sifat resiprokalnya [6]. Bobot hasil *Group* AHP kemudian digunakan oleh *Simple Additive Weighting* (SAW) untuk menormalisasi skor aset dan menghitung nilai preferensi melalui penjumlahan terbobot. SAW dipilih karena mendukung atribut *benefit* dan *cost*, memiliki prosedur yang sederhana, serta menghasilkan kontribusi per kriteria yang mudah ditelusuri pada aplikasi web [7]–[9]. Namun, keluaran SAW masih berupa preferensi relatif dan belum langsung menjawab kebutuhan operasional berupa rekomendasi nilai limit dalam satuan moneter.

Permasalahan rekomendasi nilai limit awal terletak pada belum tersedianya jejak perhitungan yang secara konsisten menghubungkan kondisi aset, kepentingan setiap kriteria, dan bukti harga pasar. Nilai yang terlalu tinggi dapat mengurangi peluang transaksi, sedangkan nilai yang terlalu rendah dapat mengurangi manfaat ekonomi bagi penjual. Berdasarkan masalah tersebut, penelitian ini merancang dan mengevaluasi kerangka rekomendasi nilai limit awal aset e-lelang melalui tiga pertanyaan penelitian yang saling terkait: (1) bagaimana *Group* AHP menghasilkan bobot kriteria yang konsisten dari penilaian pakar; (2) bagaimana bobot dan skor aset diolah dengan SAW, kemudian diintegrasikan dengan median harga pembanding menjadi rekomendasi nilai limit; dan (3) bagaimana reliabilitas kerangka dinilai melalui verifikasi komputasi, perbandingan peringkat, analisis sensitivitas, pengujian fungsi aplikasi, dan penerimaan pengguna. Penelitian tidak mengklaim akurasi ekonomi terhadap *appraisal*

profesional atau harga transaksi aktual. Perbandingan posisi penelitian terhadap studi terdahulu disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan *State-of-the-Art* Penelitian

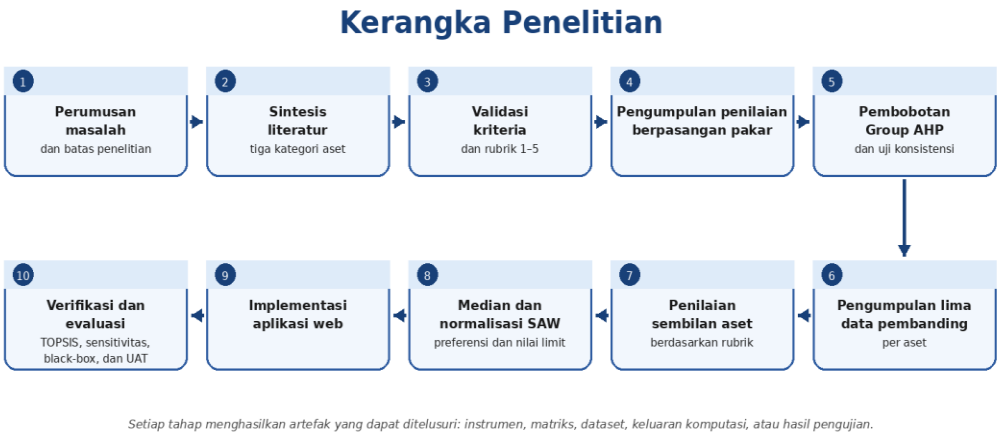
Penelitian	Metode	Objek	Keluaran	Data Pasar	Keterbatasan/Posisi
Fawaz et al. [10]	WASPAS	Tender konstruksi	Prioritas keikutsertaan tender	Tidak	Tidak membentuk rekomendasi nilai limit aset atau menggunakan data pasar objek
Rhuggenaath et al. [11]	Multiarmed bandit	Lelang harga kedua	Optimalisasi *reserve price*	Ya, umpan balik hasil lelang	Tidak mengintegrasikan karakteristik multikriteria dan data pembanding aset
Alkabaa et al. [12]	AHP	Tiga jenis proyek sumber daya air	Evaluasi dan peringkat penawaran	Tidak	Berfokus pada penawaran teknis-finansial, bukan nilai limit objek
Radhi et al. [13]	CRITIC–MABAC	Penawaran proyek	Peringkat penawaran	Tidak	Keluaran nonmoneter
Nithya et al. [15]	Fuzzy MCDM	Kontraktor	Peringkat kontraktor	Tidak	Tidak terintegrasi dengan data pasar objek
Agustin et al. [16]	QRVE, MLR, *similarity*	Properti	Estimasi nilai	Ya	Berfokus pada bangunan, bukan *workflow* e-lelang
Penelitian ini	*Group* AHP–SAW + median	Tiga kategori aset	Ranking dan rekomendasi nilai limit	Ya, harga penawaran	Belum divalidasi terhadap *appraisal*/transaksi aktual

Tabel 1 menunjukkan dua celah. Penelitian MCDM pada tender dan lelang umumnya menghasilkan prioritas atau peringkat, bukan nilai limit moneter. Sementara itu, penelitian valuasi berbasis data pembanding belum banyak diintegrasikan dengan pembobotan pakar dan alur e-lelang multiaktor. Penelitian ini tidak menawarkan algoritma baru, tetapi kebaruan integratif yang menghubungkan *Group* AHP, penilaian kategori-spesifik, median harga pembanding, dan rekomendasi nilai limit dalam satu sistem.

2. METODE

2.1 Kerangka Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam sepuluh tahap sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, yaitu perumusan masalah, sintesis literatur, validasi kriteria, pengumpulan penilaian pakar, pembobotan *Group* AHP, pengumpulan data pembanding, penilaian aset, perhitungan SAW dan nilai limit, implementasi aplikasi web, serta evaluasi. Setiap tahap menghasilkan instrumen, matriks, dataset, keluaran komputasi, atau hasil pengujian yang dapat ditelusuri.

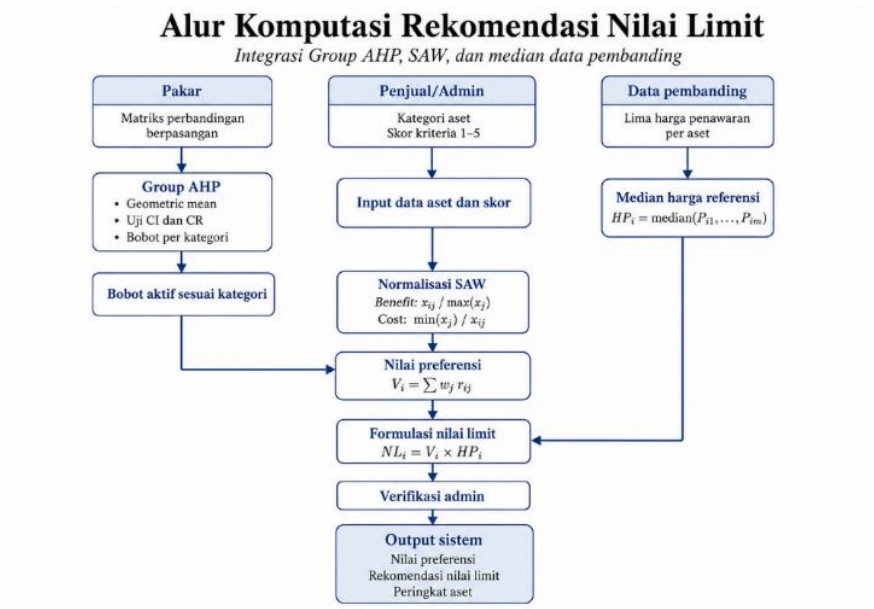


Gambar 1 Kerangka penelitian

2.2 Sumber Data dan Alur Komputasi

Sumber data penelitian terdiri atas: (1) matriks perbandingan berpasangan dari tiga pakar; (2) skor sembilan aset pada skala 1–5 berdasarkan rubrik kategori; (3) 45 harga penawaran web sebagai data pembanding, masing-masing lima observasi untuk setiap aset; (4) keluaran pengujian fungsional; dan (5) respon *User Acceptance Testing* (UAT) dari 15 pengguna. Sembilan aset mencakup masing-masing tiga alternatif pada kategori tanah dan bangunan, kendaraan, serta elektronik. Dataset ini digunakan untuk membuktikan alur komputasi dan pelacakan keluaran, bukan untuk menggeneralisasi akurasi ekonomi pada seluruh populasi aset.

Alur komputasi dibedakan dari alur penelitian seperti pada Gambar 2. Pakar hanya terlibat pada pembentukan bobot, sedangkan penjual memberikan data dan skor kondisi aset. Sistem menjalankan normalisasi, agregasi, dan formulasi nilai limit; admin memverifikasi data serta hasil sebelum rekomendasi ditampilkan.



Gambar 2 Alur komputasi rekomendasi nilai limit

2.3 Identifikasi Kriteria dan Skala Penilaian

Kriteria ditetapkan melalui sintesis literatur, kebutuhan sistem, dan konsultasi dengan dua anggota tim penilai aset serta seorang pejabat lelang. Instrumen validasi memuat daftar kriteria, definisi operasional, tipe *benefit/cost*, dan rancangan rubrik skala 1–5. Setiap kriteria diperiksa berdasarkan relevansi terhadap nilai aset, kejelasan definisi, objektivitas penilaian dan kesesuaian penerapan pada proses e-lelang. Kriteria dipertahankan setelah seluruh pakar menyatakan dapat digunakan secara operasional. Bobot pada Tabel 2 bukan bobot asumsi pengembang, melainkan vektor prioritas hasil agregasi *Group* AHP dari matriks ketiga pakar yang memenuhi batas *Consistency Ratio* (CR) ≤ 0,10; prosedurnya dijelaskan pada Subbab 2.4.

Tabel 2 Kriteria dan Bobot *Group* AHP

Kode	Kriteria	Tipe	Bobot
TB01	Lokasi dan Aksesibilitas	*Benefit*	0,286256
TB02	Legalitas	*Benefit*	0,245351
TB03	Luas	*Benefit*	0,144588
TB04	Kondisi Fisik	*Benefit*	0,115004
TB05	Fasilitas Sekitar	*Benefit*	0,073163
TB06	Lingkungan dan Risiko	*Cost*	0,073979
TB07	Potensi Pengembangan	*Benefit*	0,061659
KD01	Kondisi Mesin	*Benefit*	0,307629
KD02	Performa	*Benefit*	0,158663
KD03	Kilometer	*Cost*	0,143978
KD04	Tahun Produksi	*Benefit*	0,109329
KD05	Riwayat Kendaraan	*Benefit*	0,110980
KD06	Merek atau Model	*Benefit*	0,087060
KD07	Kondisi Fisik	*Benefit*	0,082361
EL01	Kondisi Barang	*Benefit*	0,246353
EL02	Spesifikasi Teknis	*Benefit*	0,233252
EL03	Performa atau Fungsi	*Benefit*	0,220513
EL04	Usia Pemakaian	*Cost*	0,131082
EL05	Merek	*Benefit*	0,090029
EL06	Kelengkapan	*Benefit*	0,078770

Interpretasi umum skala penilaian untuk kriteria *benefit* dan *cost* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Interpretasi Umum Skala Penilaian 1–5

Skor	Interpretasi Kriteria *Benefit*	Interpretasi Kriteria *Cost*
1	Sangat buruk/sangat rendah	Sangat baik/sangat rendah risikonya
2	Buruk/rendah	Baik/rendah
3	Cukup/sedang	Sedang
4	Baik/tinggi	Buruk/tinggi
5	Sangat baik/sangat tinggi	Sangat buruk/sangat tinggi risikonya

Rubrik operasional disusun secara spesifik untuk seluruh 20 kriteria berdasarkan hasil validasi. Sebagai contoh, Kondisi Mesin bernilai 1 apabila mesin tidak hidup atau rusak berat dan bernilai 5 apabila sangat baik serta terawat. Kilometer dan Usia Pemakaian menggunakan arah *cost*: skor 1 menunjukkan penggunaan sangat rendah, sedangkan skor 5 menunjukkan penggunaan sangat tinggi. Rubrik lengkap dan dokumentasi hasil konsensus disediakan pada berkas pendukung agar penilaian dapat direplikasi.

2.4 Pembobotan Group AHP

Tiga pakar dipilih secara purposif berdasarkan kompetensi penilaian aset, karakteristik pasar, administrasi kekayaan negara, dan lelang. AHP menggunakan *expert judgement*; karena itu, jumlah pakar tidak diposisikan sebagai sampel statistik, tetapi sebagai panel kompetensi yang saling melengkapi [6]. Instrumen berupa *spreadsheet* terstruktur yang diisi secara individual sebelum agregasi kelompok. Setiap pakar menilai 21 pasangan untuk tanah dan bangunan, 21 pasangan untuk kendaraan, dan 15 pasangan untuk elektronik menggunakan skala *Saaty* 1–9. *Consistency Ratio* (CR) dihitung pada setiap matriks individual. Matriks yang memenuhi CR ≤ 0,10 kemudian digabungkan menggunakan *geometric mean*, dan vektor prioritas matriks kelompok menjadi bobot aktif pada Tabel 2.

Tabel 4 Profil Anonim Pakar

Kode	Kelompok/Institusi	Kompetensi	Kategori
P1	Tim penilai aset DJKN Kanwil Sulawesi Utara	Penilaian aset, administrasi kekayaan negara, dan lelang	Semua kategori
P2	Tim penilai aset DJKN Kanwil Sulawesi Utara	Valuasi dan karakteristik pasar aset	Semua kategori
P3	Pejabat Lelang Kelas II	Penilaian aset dan kesesuaian kriteria	Semua kategori

$$a_{ij}^{g} = \left(\prod_{k=1}^{m} a_{ij}^{(k)} \right)^{1/m} \quad \textbf{(1)}$$

a^{g}_{ij} adalah elemen matriks kelompok, $a^{(k)}_{ij}$ adalah penilaian pakar ke-k, dan m adalah jumlah pakar yang matriksnya memenuhi syarat konsistensi.

Vektor prioritas dihitung menggunakan rata-rata geometrik setiap baris matriks kelompok, kemudian dinormalisasi agar jumlah seluruh bobot sama dengan satu, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2) dan Persamaan (3).

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^{g} \right)^{1/n} \quad \textbf{(2)}$$

$$w_i = \frac{g_i}{\sum_{l=1}^{n} g_l} \quad \textbf{(3)}$$

dengan g_i merupakan rata-rata geometrik baris ke-i, a^{g}_{ij} merupakan elemen matriks kelompok, w_i merupakan bobot prioritas kriteria ke-i, dan n merupakan jumlah kriteria.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}; \qquad CR = \frac{CI}{RI} \quad \textbf{(4)}$$

λmax adalah eigenvalue maksimum, n adalah jumlah kriteria, CI adalah *Consistency Index*, RI adalah Random Index, dan CR adalah *Consistency Ratio*. Matriks diterima apabila CR ≤ 0,10 [5],[6].

2.5 Data Pembanding dan Harga Referensi

Data pembanding adalah harga penawaran dari objek lain yang memiliki kesamaan atribut utama dengan aset target. Kesamaan diperiksa berdasarkan kategori dan atribut yang relevan, misalnya lokasi, luas tanah (LT), luas bangunan (LB), serta status hak milik (SHM) untuk

properti; tahun, varian, transmisi, dan jarak tempuh dalam kilometer (KM) untuk kendaraan; serta model, prosesor, memori, dan kelengkapan untuk elektronik. Setiap observasi mencatat target aset, judul penawaran, lokasi, spesifikasi, kondisi, sumber, *Uniform Resource Locator* (URL), tanggal akses, harga, skor kesesuaian, dan status kecocokan. Lima pembanding dipilih untuk setiap aset sehingga diperoleh 45 observasi. Sebanyak 26 observasi berstatus LAYAK dan 19 berstatus PERLU TINJAU; seluruh observasi diproses setelah validasi memastikan bahwa atribut minimum tetap terpenuhi dan perbedaan minor telah dicatat.

Kode PB merupakan singkatan dari pembanding, sedangkan tiga digit setelah tanda hubung menunjukkan nomor urut observasi; PB-001 berarti observasi pembanding pertama. Status LAYAK menunjukkan kecocokan atribut utama, sedangkan PERLU TINJAU menunjukkan adanya perbedaan minor yang masih dapat diterima setelah validasi. Keputusan DITERIMA menyatakan bahwa observasi memenuhi atribut minimum untuk dimasukkan dalam median. Dengan demikian, status kesesuaian tidak disamakan dengan harga transaksi atau *appraisal* profesional.

Tabel 5 Contoh Data Pembanding yang Diproses

ID	Aset Target	Sumber/Lokasi	Kesesuaian Utama	Harga	Status	Diproses
PB-001	Rumah 45/90	Pinhome; Mapanget	LT 90; LB 45; SHM	Rp600.000.000	LAYAK	Ya
PB-010	Ruko 2 Lantai	Pinhome; Wenang	2 lantai; ukuran lebih besar	Rp2.565.000.000	PERLU TINJAU	Ya
PB-020	Avanza 2019	Mobil123; Jakarta	G 1.3 AT; KM ±59 ribu	Rp157.000.000	LAYAK	Ya
PB-026	Xpander 2018	OLX; Jakarta/Tangerang	Tahun sesuai; varian belum *rinci*	Rp175.000.000	PERLU TINJAU	Ya
PB-034	ThinkPad 2021	OLX; Jakarta	T14 G2; i5; RAM 16 GB	Rp5.900.000	LAYAK	Ya
PB-041	Canon 700D	OLX; Jakarta Timur	Body/kelengkapan belum rinci	Rp3.000.000	PERLU TINJAU	Ya

$$HP_i = \text{median}(P_{i1}, P_{i2}, \ldots, P_{im}) \quad \textbf{(5)}$$

HP_i adalah harga referensi aset ke-i, P_{im} adalah harga penawaran pembanding ke-m, dan m = 5. Median digunakan untuk membatasi pengaruh nilai ekstrem. Harga ini bukan harga transaksi atau *appraisal* profesional [16]–[18].

Ketahanan median diperiksa dengan membandingkan seluruh pembanding terhadap data berstatus LAYAK saja. Perubahan terbesar terjadi pada Tanah (−10,00%) dan Canon (+7,58%). Karena beberapa aset hanya memiliki satu atau dua data LAYAK, hasil tersebut digunakan sebagai diagnosis sensitivitas, bukan pengganti median utama. Temuan ini membatasi klaim dan menunjukkan perlunya penyesuaian kuantitatif pada penelitian lanjutan.

2.6 Evaluasi SAW

SAW dipilih dibandingkan metode MCDM yang lebih kompleks karena mendukung penelusuran langsung kontribusi setiap kriteria melalui penjumlahan terbobot. Metode ini sesuai untuk antarmuka yang perlu menjelaskan hubungan antara skor, bobot, nilai normalisasi, dan preferensi. Untuk mengurangi ketergantungan pada satu metode, peringkat SAW dibandingkan dengan TOPSIS, yang menggunakan kedekatan terhadap solusi ideal [19].

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i(x_{ij})} \quad \textbf{(6)}$$

Persamaan (6) digunakan untuk kriteria benefit. r_{ij} adalah nilai normalisasi, x_{ij} skor aset ke-i pada kriteria ke-j, dan $\max_i(x_{ij})$ nilai terbesar pada kriteria tersebut.

$$r_{ij} = \frac{\min_i(x_{ij})}{x_{ij}} \quad \textbf{(7)}$$

Persamaan (7) digunakan untuk kriteria *cost*. $\min_i(x_{ij})$ adalah nilai terkecil pada kriteria ke-j.

$$V_i = \sum_{j=1}^{n}(w_j \times r_{ij}) \quad \textbf{(8)}$$

V_i adalah nilai preferensi aset ke-i, w_j bobot *Group* AHP, r_{ij} nilai normalisasi, dan n jumlah kriteria.

Matriks keputusan sembilan aset yang digunakan dalam eksperimen disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Matriks Keputusan Aset Skala 1–5

Kategori	Aset	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Tanah/Bangunan	Rumah 45/90	4	5	3	4	4	2	3
	Ruko 2 Lantai	5	5	4	4	5	2	4
	Tanah Kavling	3	4	4	3	3	3	5
Kendaraan	Avanza 2019	4	4	3	4	4	5	4
	Honda Beat 2021	4	4	2	5	4	4	4
	Xpander 2018	4	5	4	3	3	5	4
Elektronik	ThinkPad 2021	4	4	4	3	5	4	–
	iPhone 12 128GB	4	4	4	3	5	3	–
	Canon EOS 700D	3	3	4	4	4	4	–

C1–C7 mengikuti urutan kode pada Tabel 2 untuk setiap kategori. Matriks keputusan dan matriks normalisasi lengkap disediakan pada berkas pendukung. Tabel 7 menunjukkan contoh kontribusi Ruko 2 Lantai. Pada TB07 nilai normalisasi sebesar 4/5 = 0,8; kriteria lainnya mencapai nilai normalisasi 1,0. Jumlah kontribusi menghasilkan V = 0,987668.

Tabel 7 Contoh Normalisasi dan Kontribusi Ruko 2 Lantai

Kode	x_{ij}	Tipe	r_{ij}	w_j	$w_j \times r_{ij}$
TB01	5	*Benefit*	1,000000	0,286256	0,286256
TB02	5	*Benefit*	1,000000	0,245351	0,245351
TB03	4	*Benefit*	1,000000	0,144588	0,144588
TB04	4	*Benefit*	1,000000	0,115004	0,115004
TB05	5	*Benefit*	1,000000	0,073163	0,073163
TB06	2	*Cost*	1,000000	0,073979	0,073979
TB07	4	*Benefit*	0,800000	0,061659	0,049327
Jumlah					0,987668

2.7 Formulasi Nilai Limit

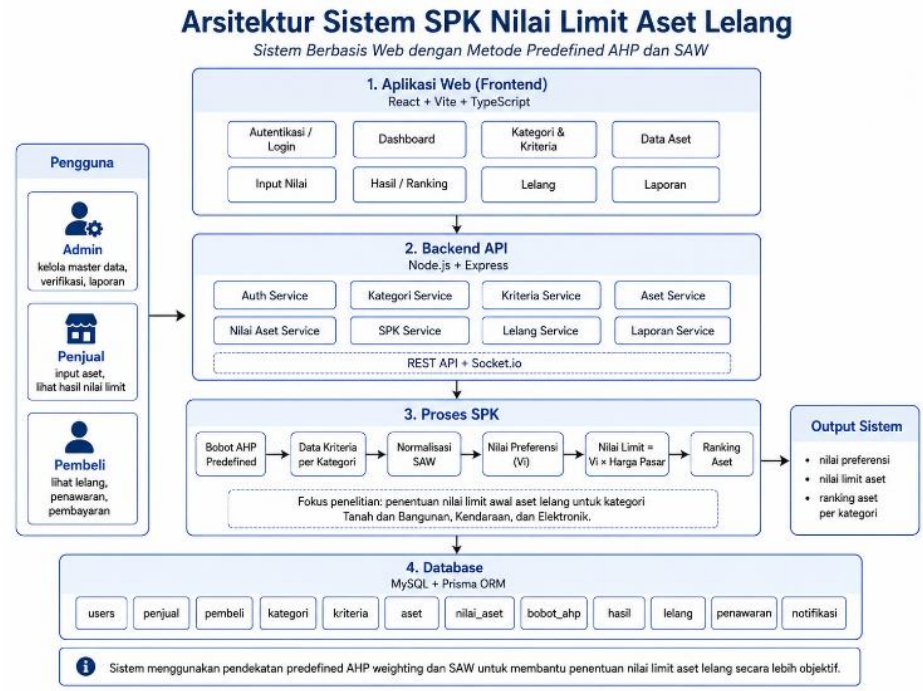
Nilai preferensi SAW merepresentasikan performa relatif aset berdasarkan bobot dan skor kriteria, sedangkan median data pembanding digunakan sebagai jangkar harga penawaran yang lebih tahan terhadap nilai ekstrem [16]–[18]. Kedua komponen tersebut diintegrasikan melalui formulasi operasional penelitian pada Persamaan (9). Formulasi ini dimaksudkan untuk menghasilkan rekomendasi awal yang dapat ditelusuri, bukan untuk menggantikan *appraisal* profesional.

$$NL_i = V_i \times HP_i \quad \textbf{(9)}$$

Pada formulasi tersebut, NL_i adalah rekomendasi nilai limit awal, V_i adalah nilai preferensi SAW, dan HP_i adalah median harga pembanding. Karena $0 \leq V_i \leq 1$, diperoleh $NL_i \leq HP_i$ sehingga preferensi berfungsi sebagai faktor penyesuaian kondisi relatif terhadap jangkar harga pasar. Hubungan ini merupakan asumsi operasional penelitian dan belum membuktikan bahwa persentase preferensi identik dengan depresiasi ekonomi. Oleh sebab itu, keputusan akhir tetap berada pada penjual dan pihak berwenang.

2.8 Arsitektur Sistem

Sistem menerapkan arsitektur *client–server*. *Frontend* dikembangkan menggunakan *React, TypeScript*, dan *Vite,* sedangkan *backend* menggunakan *Node.js* dan *Express*; data dikelola pada MySQL melalui Prisma *Object-Relational Mapping* (ORM). Implementasi AHP memvalidasi matriks, menghitung normalisasi, vektor prioritas, λmax, CI, dan CR. Implementasi SAW membentuk matriks keputusan, menghitung nilai maksimum atau minimum per kriteria, menormalisasi atribut *benefit* dan *cost*, mengagregasikan kontribusi berbobot, serta menghitung nilai limit sebagai $V_i \times HP_i$. Bobot *Group* AHP disimpan sebagai bobot aktif per kategori. Penjual mengisi data aset dan skor berbasis rubrik, admin memeriksa kelengkapan dan memverifikasi data, sedangkan pembeli menggunakan modul lelang. Alur komponen dan peran ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Arsitektur sistem dan alur peran

2.9 Rancangan Eksperimen

Eksperimen menggunakan sembilan aset dan median lima pembanding per aset. Perhitungan ulang dilakukan melalui skrip *Python* terpisah dengan tipe bilangan *double precision*, matriks keputusan yang sama, dan bobot *Group* AHP presisi penuh. Pendekatan implementasi independen digunakan untuk memeriksa apakah keluaran aplikasi konsisten dengan definisi normalisasi SAW dan penjumlahan terbobot pada Persamaan (6)–(8) [7], [19]. Keluaran aplikasi menggunakan bobot yang tersimpan pada enam desimal. Selisih absolut antara keluaran aplikasi dan perhitungan referensi dihitung menggunakan Persamaan (10).

$$e_i = \left| V_i^{\text{aplikasi}} - V_i^{\text{referensi}} \right| \tag{10}$$

dengan e_i merupakan selisih absolut, V_i^{aplikasi} merupakan nilai preferensi keluaran aplikasi, dan $V_i^{\text{referensi}}$ merupakan hasil perhitungan ulang. Toleransi 4×10^{-6} ditetapkan secara konservatif dari akumulasi pembulatan maksimum tujuh bobot pada enam desimal; verifikasi juga mensyaratkan peringkat tetap sama. Skrip dan keluaran perhitungan ulang disediakan pada berkas pendukung.

Pengujian fungsional menggunakan sepuluh *test case* yang mewakili login, pengelolaan kategori, kriteria, aset, skor, perhitungan SAW, pemeringkatan, nilai limit, *endpoint* API, dan akses *frontend*. Setiap kasus dinyatakan berhasil apabila keluaran aktual sama dengan keluaran yang diharapkan dan tidak muncul kegagalan pada alur utama. UAT dilakukan setelah 15 responden menjalankan fungsi utama sistem. Responden terdiri atas tiga pakar AHP, tiga penilai lelang, tiga penjual aset, tiga pembeli lelang, dan tiga staf teknologi informasi. Sepuluh pernyataan dinilai menggunakan skala *Likert* 1–5, kemudian seluruh respons mentah dihitung ulang sebelum dimasukkan ke naskah.

$$P_{\text{UAT}} = \frac{T_{\text{aktual}}}{T_{\text{maksimum}}} \times 100\% \tag{11}$$

T_aktual adalah total skor responden dan T_maksimum adalah jumlah responden × jumlah pernyataan × skor tertinggi pada Persamaan (11).

Analisis sensitivitas menggunakan pendekatan *one-at-a-time*. Setiap bobot diubah sebesar −10%, −5%, +5%, dan +10%, kemudian seluruh bobot dinormalisasi ulang. Pada setiap skenario dihitung kembali nilai preferensi, peringkat, dan gap antara peringkat pertama dan kedua. Kesesuaian peringkat skenario terhadap peringkat dasar diukur menggunakan koefisien *Spearman* pada Persamaan (13), sehingga stabilitas tidak hanya dinilai dari identitas pemenang, tetapi juga dari konsistensi seluruh urutan alternatif.

$$w_j' = \frac{\widetilde{w}_j}{\sum_{k=1}^{n} \widetilde{w}_k}; \qquad \text{Gap}_\delta = V_{(1,\delta)} - V_{(2,\delta)} \tag{12}$$

$\tilde{w}_j$ adalah bobot setelah perubahan, w'_j adalah bobot setelah normalisasi ulang, sedangkan Gapδ adalah selisih preferensi peringkat pertama dan kedua pada skenario δ pada Persamaan (12). Peringkat dinyatakan stabil apabila Gapδ > 0 dan ρ = 1.

$$\rho = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{N} d_i^2}{N(N^2-1)} \tag{13}$$

Pada Persamaan (13), ρ adalah koefisien *Spearman*, d_i adalah selisih peringkat alternatif ke -i antara skenario dan kondisi dasar, dan N adalah jumlah alternatif. Peringkat dinyatakan stabil apabila gap tetap positif dan ρ = 1.

Sebagai pembanding, TOPSIS dijalankan menggunakan matriks keputusan dan bobot yang sama. Koefisien kedekatan relatif dihitung menggunakan Persamaan (14).

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad \textbf{(14)}$$

dengan C_i merupakan koefisien kedekatan alternatif ke -i, D_i^+ merupakan jarak dari solusi ideal positif, dan D_i^- merupakan jarak dari solusi ideal negatif.

Berkas pendukung mencakup instrumen validasi, matriks *Group* AHP, data 45 pembanding beserta URL dan tanggal akses, matriks keputusan dan normalisasi, skrip verifikasi, respons mentah UAT, skenario sensitivitas, dan perhitungan TOPSIS. Paket tersebut disertakan agar hasil dapat direplikasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Group AHP

Hasil pengujian konsistensi *Group* AHP untuk setiap kategori disajikan pada Tabel 8.

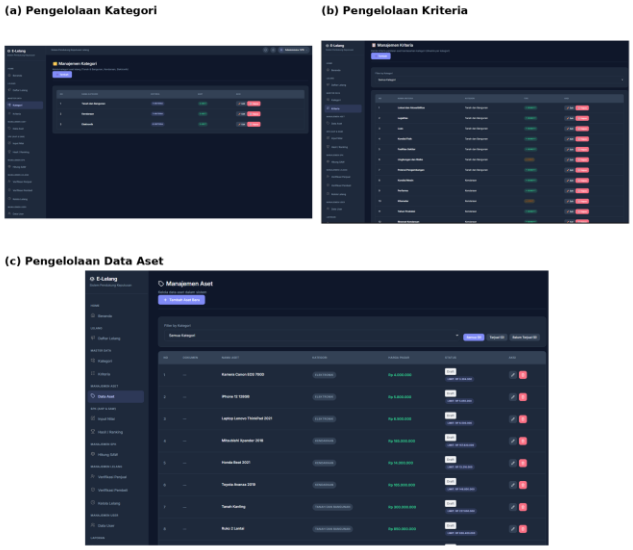
Tabel 8 Hasil Konsistensi *Group* AHP

Kategori	Pakar	λmax	CI	RI	CR	Status
Tanah dan Bangunan	3	7,054871	0,009145	1,32	0,006928	Konsisten
Kendaraan	3	7,034731	0,005789	1,32	0,004385	Konsisten
Elektronik	3	6,054152	0,010830	1,24	0,008734	Konsisten

Seluruh matriks kelompok memenuhi CR ≤ 0,10. Lokasi dan Aksesibilitas menjadi bobot tertinggi pada tanah dan bangunan (0,286256), Kondisi Mesin pada kendaraan (0,307629), dan Kondisi Barang pada elektronik (0,246353). Dominasi lokasi dan legalitas pada properti konsisten dengan pentingnya kesetaraan lokasi dan karakteristik pembanding dalam evaluasi [16], [17]. Pada kendaraan, bobot kondisi mesin lebih tinggi daripada atribut estetika karena mesin menentukan kelayakan operasi. Pada elektronik, kondisi, spesifikasi, dan fungsi secara kumulatif mencapai 0,700119, sehingga performa aktual perangkat lebih dominan daripada merek dan kelengkapan.

3.2 Implementasi Sistem

Implementasi menyediakan pengelolaan kategori, kriteria, aset, skor, bobot, data pembanding, hasil SAW, dan rekomendasi nilai limit. Pemisahan kategori mencegah penggunaan kriteria yang tidak relevan. Bobot tersimpan per kategori sehingga pengguna operasional tidak mengulang perbandingan berpasangan. Contoh antarmuka pengelolaan ditunjukkan pada Gambar4.



Gambar 4 Antarmuka pengelolaan kategori, kriteria, dan aset

3.3 Hasil Rekomendasi Nilai Limit

Hasil preferensi, rekomendasi nilai limit, dan peringkat setiap aset disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9 Hasil Terverifikasi Preferensi dan Rekomendasi Nilai Limit

Kategori	Aset	Harga Referensi	Preferensi	Nilai Limit	Peringkat
Tanah/Bangunan	Ruko 2 Lantai	Rp1.800.000.000	0,987668204	Rp1.777.802.767,95	1
	Rumah Tipe 45/90	Rp690.000.000	0,867305768	Rp598.440.979,59	2
	Tanah Kavling	Rp250.000.000	0,753751509	Rp188.437.877,17	3
Kendaraan	Honda Beat 2021	Rp12.900.000	0,950855364	Rp12.266.034,20	1
	Toyota Avanza 2019	Rp150.000.000	0,898408892	Rp134.761.333,74	2
	Mitsubishi Xpander 2018	Rp179.000.000	0,856534380	Rp153.319.653,97	3
Elektronik	Lenovo ThinkPad 2021	Rp5.850.000	1,000000000	Rp5.850.000,00	1
	iPhone 12 128GB	Rp5.800.000	0,980307505	Rp5.685.783,53	2
	Canon EOS 700D	Rp3.300.000	0,829322327	Rp2.736.763,68	3

Ruko 2 Lantai memperoleh preferensi tertinggi karena mencapai nilai normalisasi maksimum pada enam kriteria dan hanya berada di bawah nilai ideal pada Potensi Pengembangan. Rumah Tipe 45/90 tertahan oleh Luas dan Potensi Pengembangan, sedangkan Tanah Kavling unggul pada potensi tetapi lebih rendah pada lokasi, legalitas, kondisi, fasilitas, dan risiko. Gap Ruko terhadap Rumah sebesar 0,120362 menunjukkan perbedaan multikriteria yang cukup jelas.

Honda Beat 2021 menjadi peringkat pertama terutama karena skor Kilometer dan Tahun Produksi lebih baik. Toyota Avanza berada di peringkat kedua karena merek, riwayat, dan kondisi yang baik, sedangkan Xpander memperoleh preferensi lebih rendah akibat skor Kilometer, Tahun, dan Riwayat. Meskipun nilai limit nominal Xpander lebih tinggi daripada Avanza dan Beat, peringkatnya lebih rendah; hal ini menunjukkan bahwa peringkat kualitas relatif dan nilai moneter merupakan dua keluaran yang berbeda.

Lenovo *ThinkPad* mencapai preferensi 1,000000 karena menjadi nilai terbaik atau setara terbaik pada seluruh kriteria elektronik. iPhone berbeda hanya pada Kelengkapan, sehingga gap-nya relatif kecil, yaitu 0,019692. Canon memiliki skor kondisi, spesifikasi, usia, dan merek yang lebih rendah. Hasil tersebut menjelaskan mengapa kategori elektronik menjadi kategori dengan margin peringka*t* terkecil.

3.4 Verifikasi Komputasional

Perbandingan keluaran aplikasi dan perhitungan ulang dengan bobot presisi penuh disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10 Perbandingan Keluaran Aplikasi dan Perhitungan Ulang

Aset	Keluaran Aplikasi	Perhitungan Ulang	Selisih Absolut	Peringkat
Rumah 45/90	0,86730560	0,867305767523	1,68e-07	Tetap
Ruko 2 Lantai	0,98766820	0,987668204417	4,42e-09	Tetap
Tanah Kavling	0,75375153	0,753751508684	2,13e-08	Tetap
Avanza 2019	0,89840893	0,898408891612	3,84e-08	Tetap
Honda Beat 2021	0,95085540	0,950855364258	3,57e-08	Tetap
Xpander 2018	0,85653440	0,856534379730	2,03e-08	Tetap
ThinkPad 2021	0,99999900	1,000000000000	1,00e-06	Tetap
iPhone 12	0,98030650	0,980307504614	1,00e-06	Tetap
Canon 700D	0,82932145	0,829322326689	8,77e-07	Tetap

Selisih maksimum antara keluaran aplikasi dan perhitungan ulang adalah $1{,}01\times10^{-6}$, lebih kecil daripada toleransi konservatif 4×10^{-6}, serta tidak mengubah peringkat pada ketiga kategori. Selisih terutama berasal dari penyimpanan bobot aplikasi pada enam desimal, sedangkan perhitungan referensi menggunakan bobot presisi penuh. Nilai limit Ruko dihitung menggunakan V = 0,987668204417 dan median Rp1.800.000.000 sehingga diperoleh Rp1.777.802.767,95; perhitungan ini memperbaiki ketidaksesuain aritmetis pada versi sebelumnya.

3.5 Pengujian Fungsional

Hasil pengujian fungsional pada sepuluh skenario utama disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11 Hasil *Black-Box Testing*

No.	Modul	Input/Skenario	Hasil Diharapkan	Hasil Aktual	Status
1	Login	Kredensial valid	Dashboard tampil	Dashboard tampil	Berhasil
2	Kategori	Buka halaman kategori	Tiga kategori tampil	Tiga kategori tampil	Berhasil
3	Kriteria	Pilih kategori	Kriteria sesuai kategori	Kriteria sesuai kategori	Berhasil
4	Aset	Buka daftar aset	Sembilan aset tampil	Sembilan aset tampil	Berhasil
5	Nilai Kriteria	Simpan skor lengkap	Data tersimpan	Data tersimpan	Berhasil
6	Hitung SAW	Jalankan perhitungan	Preferensi dihitung	Preferensi dihitung	Berhasil

No.	Modul	Input/Skenario	Hasil Diharapkan	Hasil Aktual	Status
7	Pemeringkatan	Buka hasil kategori	Urutan per kategori tampil	Urutan tampil	Berhasil
8	Nilai Limit	Hitung rekomendasi	Nilai limit tampil	Nilai limit tampil	Berhasil
9	Endpoint API	Akses *endpoint* hasil	JSON dikembalikan	JSON dikembalikan	Berhasil
10	*Frontend*	Akses melalui *browser*	Aplikasi dapat digunakan	Aplikasi dapat digunakan	Berhasil

Seluruh *test case* memenuhi kriteria *pass*, yaitu keluaran aktual sama dengan keluaran yang diharapkan dan tidak ditemukan kegagalan aplikasi pada alur utama. Pengujian ini membuktikan kesesuaian fungsi yang diuji, tetapi belum mencakup uji beban, keamanan, dan seluruh skenario negatif.

3.6 Pengujian Penerimaan Pengguna

Rekapitulasi hasil UAT terhadap 15 responden disajikan pada Tabel 12

Tabel 12 Hasil *User Acceptance Testing*

Kode	Pernyataan	Rata-rata	Persentase
P1	Kemudahan akses fitur utama	4,53	90,67%
P2	Antarmuka mudah dipahami	4,20	84,00%
P3	Menu mudah ditemukan	4,47	89,33%
P4	Kategori sesuai kebutuhan	4,40	88,00%
P5	Kriteria mudah dipahami	4,40	88,00%
P6	Input aset dan nilai mudah	4,20	84,00%
P7	Preferensi mudah dipahami	4,27	85,33%
P8	Nilai limit mudah dipahami	4,40	88,00%
P9	Membantu objektivitas proses	4,40	88,00%
P10	Layak sebagai alat bantu	4,40	88,00%
Ringkasan	Skor aktual 655 dari 750; rata-rata 4,37	4,37	87,33%

Nilai tertinggi terdapat pada P1 sebesar 90,67%, yang menunjukkan kemudahan akses fungsi utama. Nilai terendah terdapat pada P2 dan P6 sebesar 84,00%, sehingga kejelasan antarmuka dan kemudahan input menjadi prioritas penyempurnaan. Total skor mentah adalah 655 dari 750, dengan rata-rata 4,37 dan tingkat penerimaan 87,33%. UAT mengukur penerimaan fungsi dan pemahaman keluaran; hasil ini tidak digunakan sebagai bukti akurasi ekonomi nilai limit.

3.7 Analisis Sensitivitas

Ringkasan skenario sensitivitas terburuk pada setiap kategori disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13 Ringkasan Sensitivitas Seluruh Bobot

Kategori	Peringkat 1	Gap Dasar	Skenario Terburuk	Gap Minimum	ρ	Status
Tanah/Bangunan	Ruko 2 Lantai	0,120362	Legalitas +10%	0,117480	1,000	Stabil
Kendaraan	Honda Beat 2021	0,052446	Kilometer −10%	0,048343	1,000	Stabil
Elektronik	ThinkPad 2021	0,019692	Kelengkapan −10%	0,017864	1,000	Stabil

Gap dasar diperoleh dari selisih preferensi peringkat pertama dan kedua pada bobot awal. Skenario terburuk adalah kombinasi kriteria dan perubahan yang menghasilkan gap positif paling kecil dari seluruh 80 skenario: 20 kriteria × 4 perubahan. Tanah dan bangunan memiliki gap

minimum 0,117480, kendaraan 0,048343, dan elektronik 0,017864. Karena seluruh gap tetap positif dan $\rho = 1$, urutan semua alternatif tidak berubah. Elektronik tetap menjadi kategori paling sensitif karena gap awalnya paling kecil, meskipun belum terjadi pembalikan peringkat pada rentang yang diuji.

3.8 Perbandingan dengan TOPSIS

Perbandingan peringkat SAW dan TOPSIS disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14 Perbandingan Peringkat SAW dan TOPSIS

Kategori	Aset	Peringkat SAW	Koefisien TOPSIS	Peringkat TOPSIS
Tanah/Bangunan	Ruko 2 Lantai	1	0,916357	1
	Rumah 45/90	2	0,531794	2
	Tanah Kavling	3	0,235904	3
Kendaraan	Honda Beat 2021	1	0,731154	1
	Avanza 2019	2	0,497612	2
	Xpander 2018	3	0,268846	3
Elektronik	ThinkPad 2021	1	1,000000	1
	iPhone 12	2	0,826525	2
	Canon 700D	3	0,173475	3

TOPSIS menghasilkan urutan yang identik dengan SAW pada seluruh sembilan aset. Tingkat kesesuaian peringkat mencapai 100% dan koefisien *Spearman* untuk setiap kategori adalah 1,000. Kesamaan ini tidak membuktikan SAW lebih unggul, tetapi menunjukkan bahwa peringkat utama pada *dataset* tidak hanya muncul akibat mekanisme penjumlahan SAW. SAW tetap dipilih sebagai mesin operasional karena kontribusi $w_j r_{ij}$ lebih mudah dijelaskan kepada pengguna, sedangkan TOPSIS digunakan sebagai validasi pembanding.

3.9 Pembahasan Komparatif

Penelitian terdahulu pada pengadaan dan tender menggunakan MCDM atau evaluasi multi-aspek terutama untuk menentukan alternatif dan prioritas keputusan [10], [12]–[15]. Fawaz *et al*. [10] menerapkan WASPAS untuk memprioritaskan tender konstruksi yang sesuai dengan kapabilitas perusahaan, sedangkan penelitian ini menggunakan SAW sebagai mesin operasional setelah pembobotan *Group* AHP. Dibandingkan penelitian optimalisasi reserve *price* berbasis hasil lelang [11], kerangka ini menekankan karakteristik aset sebelum lelang tetapi belum menggunakan perilaku penawaran atau hasil transaksi aktual. Dibandingkan pendekatan valuasi properti [16]–[18], penelitian ini mencakup tiga kategori dan terintegrasi dengan aplikasi, tetapi median belum dilengkapi penyesuaian kuantitatif lokasi, ukuran, varian, dan kondisi.

Secara kuantitatif, kontribusi empiris penelitian terdiri atas konsistensi *Group* AHP dengan CR maksimum 0,008734, selisih perhitungan ulang maksimum $1{,}01\times10^{-6}$ tanpa perubahan peringkat, kesesuaian peringkat SAW–TOPSIS 100%, peringkat stabil pada 80 skenario perubahan bobot, serta penerimaan pengguna 87,33%. Pemeriksaan median LAYAK-saja menunjukkan perubahan antara −10,00% dan +7,58% pada lima aset dan tidak berubah pada empat aset. Bukti tersebut mendukung konsistensi komputasional dan ketahanan peringkat, tetapi tidak mengukur galat moneter terhadap nilai profesional.

3.10 Implikasi Praktis dan Keterbatasan

Bagi penjual, kerangka menyediakan dasar awal yang lebih terstruktur daripada menetapkan harga hanya berdasarkan intuisi. Bagi admin atau pejabat lelang, bobot, skor, pembanding, dan hasil dapat ditelusuri sehingga alasan rekomendasi lebih mudah diperiksa. Bagi

pengembang sistem, pemisahan AHP luring dan SAW daring mengurangi beban pengguna akhir serta memungkinkan bobot diperbarui secara terkontrol.

Keterbatasan penelitian meliputi: (1) hanya sembilan aset sebagai pembuktian konsep; (2) harga pembanding merupakan harga penawaran, bukan transaksi; (3) 19 pembanding berstatus PERLU TINJAU dan belum menggunakan penyesuaian harga eksplisit; (4) beberapa aset hanya memiliki satu atau dua pembanding berstatus LAYAK; (5) normalisasi SAW bergantung pada komposisi alternatif; (6) formula NL = V × HP merupakan *heuristik* operasional yang belum dikalibrasi terhadap *appraisal*; (7) UAT melibatkan 15 responden; dan (8) pengujian fungsional berfokus pada sepuluh alur utama serta belum mencakup beban, keamanan, dan seluruh skenario negatif.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan kerangka rekomendasi nilai limit awal yang mengintegrasikan *Group* AHP, penilaian kategori-spesifik, SAW, dan median data pembanding pada aplikasi e-lelang. Kontribusi utama bukan pengembangan algoritma AHP–SAW baru, melainkan integrasi proses yang dapat ditelusuri dari penilaian pakar, skor aset, pembanding pasar, hingga keluaran moneter. Seluruh matriks kelompok konsisten, selisih maksimum terhadap perhitungan ulang presisi penuh sebesar $1{,}01\times10^{-6}$ tanpa perubahan peringkat, peringkat SAW identik dengan TOPSIS, dan perubahan seluruh bobot hingga ±10% tidak menyebabkan pembalikan peringkat. Sepuluh fungsi inti menghasilkan keluaran sesuai skenario, sedangkan UAT mencapai 87,33%. Hasil mendukung penggunaan sistem sebagai rekomendasi awal yang transparan, tetapi belum membuktikan akurasi ekonomi. Penelitian lanjutan perlu mengkalibrasi formula dengan *appraisal* atau transaksi aktual, menerapkan *benchmark* normalisasi dan penyesuaian kuantitatif pembanding, memperluas aset dan pengguna, serta mengevaluasi keamanan dan kinerja sistem.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kementerian Keuangan Republik Indonesia, Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2023 tentang Petunjuk Pelaksanaan Lelang. Jakarta, Indonesia, 2023.

[2] J. Więckowski, W. Sałabun, B. Kizielewicz, A. Bączkiewicz, A. Shekhovtsov, B. Paradowski, and J. Wątróbski, "Recent advances in multi-criteria decision analysis: A comprehensive review of applications and trends," International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems, vol. 27, pp. 367–393, 2023, doi: 10.3233/KES-230487.

[3] R. Kumar and D. Pamucar, "A comprehensive and systematic review of Multi-Criteria Decision-Making methods to solve decision-making problems: Two decades from 2004 to 2024," Spectrum of Decision Making and Applications, vol. 2, no. 1, pp. 177–196, 2025, doi: 10.31181/sdmap21202524.

[4] T. Avramova, T. Peneva, and A. Ivanov, "Overview of Existing Multi-Criteria Decision-Making Methods Used in Industrial Environments," Technologies, vol. 13, art. 444, 2025, doi: 10.3390/technologies13100444.

[5] T. L. Saaty, "How to make a decision: The analytic hierarchy process," European Journal of Operational Research, vol. 48, no. 1, pp. 9–26, 1990, doi: 10.1016/0377-2217(90)90057-I.

[6] P. Grošelj and G. Dolinar, "*Group* AHP framework based on geometric standard deviation and interval *Group* pairwise comparisons," Information Sciences, vol. 626, pp. 370–389, 2023, doi: 10.1016/j.ins.2023.01.034.

[7] Sapriadi and Ismaun, "Sistem Pemilihan Penerima Sembako Menggunakan Metode SAW-TOPSIS di Desa Bonde," Journal of Computer and Information System (J-CIS), vol. 6, no. 1, pp. 25–36, 2023, doi: 10.31605/jcis.v6i1.3591.

[8] T. U. Lusianti, A. R. E. Najaf, and S. F. A. Wati, "Implementation of a Decision Support System for Selecting the Best Employees Using the AHP-SAW Method," Bit-Tech, vol. 8, no. 2, 2025, doi: 10.32877/bt.v8i2.2770.

[9] D. S. Utomo and L. A. S. Tosungku, "Seleksi Asisten Praktikum dengan Fuzzy AHP dan SAW," Jurnal Rekayasa Industri, vol. 5, no. 1, 2023, doi: 10.37631/jri.v5i1.857.

[10] M. A. Fawaz, E. Wahyudi, M. Iqbal, and A. P. U. Siahaan, "Decision Support System Penentuan Keikutsertaan dalam Tender Pekerjaan Konstruksi dengan Metode WASPAS," Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Sistem Komputer TGD, vol. 6, no. 2, pp. 515–526, 2023.

[11] *J. Rhuggenaath, A. Akcay, Y. Zhang, and U. Kaymak, "Setting Reserve Prices in Second-Price Auctions with Unobserved Bids," INFORMS Journal on Computing, vol. 34, no. 6, pp. 2950–2967, 2022, doi: 10.1287/ijoc.2022.1199.*

[12] A. Alkabaa, S. O. Ammari, and A. Z. Hameed, "Multi-Criteria Decision-Making for Bid Evaluation and Selection in Water Resource Management Projects," Journal of King Abdulaziz University: Engineering Sciences, vol. 35, no. 2, pp. 123–139, 2025, doi: 10.64064/1658-4260.1011.

[13] A. R. Radhi, Y. S. Nassar, and H. K. Alhilli, "A Bidding Assessment Framework using CRITIC and MABAC Methods," Engineering, Technology & Applied Science Research, vol. 15, no. 3, pp. 23048–23053, 2025, doi: 10.48084/etasr.10665.

[14] B. Ardiansyah, B. Mochtar, and Habir, "Evaluasi Tender pada Proyek Konstruksi di Kabupaten Kutai Kartanegara," Media Bina Ilmiah, vol. 19, no. 11, pp. 6357–6370, 2025.

[15] N. S. Nithya, S. Thota, L. Rathour, and P. Shanmugasundaram, "A new multi-criteria decision making method for the selection of construction contractors using interval valued fuzzy set," BMC Research Notes, vol. 17, art. 113, 2024, doi: 10.1186/s13104-024-06769-w.

[16] K. Agustin, H. Soewandi, and S. Widjojo, "On the Weights for Characteristics and Comparables for Property Valuation using Quality Rating Valuation Estimation," Civil Engineering Dimension, vol. 25, no. 1, pp. 37–47, 2023, doi: 10.9744/ced.25.1.37-47.

[17] D. Setijono, "Causal Relationship Between Valuation Adjustments in Market Comparable Method and Market Value Estimate of a Commercial Property," Seminar Nasional Official Statistics, vol. 2024, no. 1, pp. 521–526, 2024, doi: 10.34123/semnasoffstat.v2024i1.2067.

[18] A. Deaconu, A. Buiga, and H. Tothăzan, "Real estate valuation models performance in *price* prediction," International Journal of Strategic Property Management, vol. 26, no. 2, pp. 86–105, 2022, doi: 10.3846/ijspm.2022.15962.

[19] F. Ciardiello and A. Genovese, "A comparison between TOPSIS and SAW methods," Annals of Operations Research, vol. 325, no. 2, pp. 967–994, 2023, doi: 10.1007/s10479-023-05339-w.

[20] M. I. Sabir, "Implementasi Metode RAD pada Sistem Manajemen Berita Desa Berbasis Web," Journal of Computer and Information System, vol. 9, no. 1, pp. 169–181, 2026, doi: 10.31605/jcis.v9i1.6204.