



## OTOMASI IDENTIFIKASI TITIK KEPUTUSAN PADA ERP BERBASIS ATURAN MENGGUNAKAN ANALISIS DOKUMEN SPREADSHEET

Muhammad Mutawakkil Alallah<sup>1)</sup>, Muhammad Ainul Yaqin<sup>2)</sup>

<sup>1</sup> Muhammad Mutawakkil Alallah, Magister Informatika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

<sup>2</sup> Muhammad Ainul Yaqin, Magister Informatika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

email: <sup>1</sup> 240605220005@student.uin-malang.ac.id, <sup>2</sup> yaqinov@ti.uin-malang.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><b>Article History:</b>            Recieved : 25 Oktober 2025            Accepted : 1 November 2025            Published : 25 November 2025</p> <p><b>Keywords:</b> [ERP, spreadsheet, decision point, rule-based system, document analysis]</p> <p><b>IEEE style in citing this article:</b>            Muhammad Mutawakkil Alallah, "Otomasi Identifikasi Titik Keputusan pada ERP Berbasis Aturan Menggunakan Analisis Dokumen Spreadsheet", Jurnal Ilmiah Informatika, vol. 10, no. 2, pp. 61-73, Des. 2025.</p>	<p>Enterprise Resource Planning (ERP) dirancang untuk mengintegrasikan berbagai proses bisnis dalam suatu organisasi; namun, spreadsheet masih banyak digunakan untuk pemrosesan data dan pelaporan tambahan karena fleksibilitas serta kemudahan penggunaannya. Spreadsheet sering kali mengandung rumus dan logika kondisional seperti IF, VLOOKUP, dan INDEX-MATCH, yang membentuk titik keputusan tersembunyi (hidden decision points) dalam alur kerja ERP. Ketidakterlihatan titik keputusan ini dapat menyebabkan kesalahan analisis, inkonsistensi data, serta kesulitan dalam proses audit. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem otomatis berbasis aturan (rule-based automation) yang mampu mengidentifikasi titik keputusan dalam dokumen spreadsheet ERP melalui analisis formula, pemetaan ketergantungan antar-sel, dan deteksi pola logika keputusan. Metode yang diusulkan melibatkan ekstraksi struktur formula, analisis dependensi, serta penerapan aturan heuristik untuk mendeteksi percabangan logika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif dalam mengidentifikasi titik keputusan secara sistematis serta mendukung peningkatan keandalan, transparansi, dan efisiensi audit pada sistem ERP berbasis spreadsheet. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan metode analitik berbasis aturan untuk mendeteksi titik keputusan dalam spreadsheet ERP topik yang masih jarang dieksplorasi dalam penelitian sebelumnya.</p>
<p><b>Corresponding Author:</b>            Muhammad Ainul Yaqin            Universitas Islam Negeri            Maulana Malik Ibrahim Malang</p>	

## 1. PENDAHULUAN

*Sistem Enterprise Resource Planning* (ERP) banyak digunakan oleh organisasi modern untuk mengintegrasikan data dan proses operasional lintas departemen [1]. ERP menjadi fondasi utama digitalisasi bisnis karena kemampuannya mengonsolidasikan modul keuangan, sumber daya manusia, logistik, dan produksi dalam satu sistem terpadu, serta dapat dioptimalkan melalui *embedded analytics* [2] dan *machine learning* untuk mendukung pengambilan keputusan otomatis [3],[4]. Studi empiris menunjukkan bahwa penggunaan spreadsheet sebagai shadow system tetap terjadi meskipun organisasi telah mengimplementasikan ERP, terutama untuk kebutuhan analisis ad-hoc, pembuatan laporan cepat, serta aktivitas bisnis yang belum sepenuhnya difasilitasi oleh konfigurasi ERP standar [5].

Spreadsheet sering kali memuat formula dan logika kondisional seperti IF, IFS, nested IF, VLOOKUP, dan INDEX-MATCH yang membentuk percabangan logika atau titik keputusan (*decision points*) [1]. Elemen-elemen ini sulit dideteksi secara manual, terutama pada dokumen berukuran besar dengan struktur yang kompleks [6]. Kondisi tersebut dapat menimbulkan kesalahan perhitungan, inkonsistensi laporan, bahkan menghasilkan keputusan yang keliru [7]. Berbagai studi melaporkan bahwa lebih dari 80% spreadsheet bisnis mengandung kesalahan logika atau perhitungan yang dapat memengaruhi hasil analisis dan keputusan organisasi

[8]. Kesalahan tersebut memiliki dampak langsung terhadap kinerja bisnis dan efektivitas keputusan manajerial, terutama dalam konteks pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision making*).

Sejalan dengan meningkatnya kompleksitas sistem informasi, kebutuhan terhadap mekanisme validasi logika (*spreadsheet quality assurance*) menjadi semakin penting [9]. Integrasi teknologi analitik, big data, dan kecerdasan buatan (AI) juga telah meningkatkan kemampuan ERP dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis data secara *real-time* [10]. Sistem ERP modern bahkan mengadopsi konsep *embedded analytics* yang mempercepat alur pengambilan keputusan [11]. Namun, penelitian tentang alat *debugging* otomatis menyoroti risiko ketergantungan berlebih terhadap sistem yang tidak dirancang secara tepat, yang dapat menurunkan akurasi serta kepercayaan pengguna terhadap hasil sistem [7].

Dalam perkembangan terkini, integrasi kecerdasan buatan telah dimanfaatkan untuk meningkatkan keandalan proses audit, validasi data, serta deteksi anomali dalam sistem informasi melalui penerapan machine learning dan data mining untuk mendeteksi kecurangan dan pola logika kompleks [12], pengembangan kerangka konseptual penerapan AI dalam praktik audit modern [13], penguatan aspek auditabilitas dan transparansi sistem berbasis pembelajaran mesin [14], serta penerapan metodologi audit berbasis kecerdasan buatan yang mampu

meningkatkan akurasi dan efisiensi pemeriksaan logika dalam sistem informasi [15], [16].

Penelitian lain menunjukkan bahwa integrasi kecerdasan buatan dalam ERP merupakan langkah strategis untuk memperluas fungsi pengambilan keputusan otomatis (*automated decision support*) [17]. Kajian mutakhir juga menegaskan arah perkembangan menuju *smart ERP systems* yang lebih adaptif dan kontekstual dalam mengelola data serta mengoreksi anomali [18], [19]. Meski demikian, penelitian terkait pemeriksaan otomatis terhadap logika formula dan titik keputusan dalam spreadsheet ERP masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada *static analysis* umum atau deteksi kesalahan numerik tanpa mempertimbangkan konteks ERP secara spesifik.

Di sisi lain, penelitian tentang faktor keberhasilan implementasi ERP menekankan pentingnya dimensi teknologi, organisasi, dan institusional untuk menjamin efektivitas integrasi sistem [20]. Studi di sektor pendidikan tinggi juga mengonfirmasi manfaat penerapan ERP dalam meningkatkan efisiensi tata kelola, namun masih menghadapi kendala adaptasi pengguna terhadap proses validasi data [21], [5]. Dalam konteks ini, kebutuhan akan otomatisasi deteksi titik keputusan (*decision point detection*) menjadi relevan untuk mendukung proses audit logic dan menjaga konsistensi keputusan sistem ERP.

Beberapa pendekatan teknis telah dikembangkan untuk mendeteksi

kesalahan formula, seperti *static analysis* [6] dan *rule-based anomaly detection* [8]. Namun, metode tersebut masih terbatas dalam mendeteksi dependensi antar-sel serta memahami konteks logika keputusan. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pendekatan otomatisasi berbasis aturan (*rule-based automation*) untuk mengidentifikasi titik keputusan dalam dokumen spreadsheet ERP melalui analisis formula, dependensi antar-sel, serta pola logika keputusan.

Rumusan masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana sistem dapat mendeteksi dan mengklasifikasikan titik keputusan dalam spreadsheet ERP secara otomatis menggunakan metode berbasis aturan?
2. Bagaimana tingkat akurasi sistem dalam mengidentifikasi dependensi antar-sel yang membentuk logika keputusan?

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem otomatis berbasis aturan (*rule-based system*) yang mampu mengekstraksi, menganalisis, dan memvalidasi titik keputusan dalam dokumen spreadsheet ERP secara akurat, dengan evaluasi menggunakan metrik precision, recall, dan accuracy untuk mengukur tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan titik keputusan.

Batasan penelitian ini mencakup:

1. Analisis hanya dilakukan pada file spreadsheet berformat .xlsx dengan formula aritmatika dan

- logika dasar (IF, VLOOKUP, INDEX-MATCH);
2. Penelitian tidak mencakup makro VBA, add-in eksternal, atau fungsi kustom pengguna;
  3. Fokus utama diarahkan pada identifikasi logika percabangan dan dependensi antar-sel, bukan pada prediksi nilai numerik.

Manfaat penelitian ini mencakup dua aspek utama.

Secara teoretis, penelitian ini memperkaya bidang *spreadsheet engineering* melalui pendekatan formal berbasis aturan yang dapat diuji dan direplikasi, dan digunakan untuk memperkuat kerangka *spreadsheet quality assurance* di konteks ERP.

Secara praktis, sistem yang dikembangkan berpotensi mengurangi risiko kesalahan operasional, meningkatkan transparansi audit, serta memperkuat keandalan proses pengambilan keputusan berbasis data dalam lingkungan ERP yang kompleks.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan metode *rule-based automation* untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan titik keputusan pada dokumen spreadsheet ERP suatu area yang belum banyak dieksplorasi dalam penelitian sebelumnya [18], [19], [22], [23].

## 2. METODE PENELITIAN

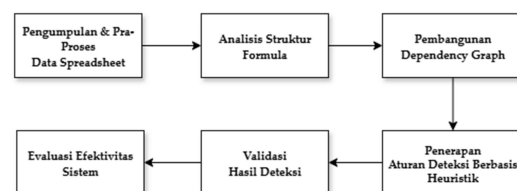
Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan dukungan analisis komputasional, berfokus pada pengembangan sistem otomatis berbasis aturan (*rule-based automation*) untuk mendeteksi titik

keputusan (*decision points*) dalam dokumen spreadsheet ERP. Tahapan penelitian disusun secara sistematis agar hasil yang diperoleh dapat diuji validitas dan replikabilitasnya.

### 2.1 Desain Penelitian

Desain penelitian ini mengacu pada model rekayasa perangkat lunak berbasis eksploratif, dengan tujuan utama mengidentifikasi serta memformalkan pola logika keputusan yang tersembunyi dalam formula spreadsheet ERP. Proses penelitian meliputi analisis kebutuhan sistem, perancangan arsitektur algoritma, implementasi prototipe deteksi otomatis, serta pengujian hasil. Secara umum, tahapan penelitian disusun dalam enam langkah utama yang digambarkan pada Gambar 1 meliputi:

- (1) pengumpulan dan pra-proses data spreadsheet,
- (2) analisis struktur formula,
- (3) pembangunan *dependency graph*,
- (4) penerapan aturan deteksi berbasis heuristik,
- (5) validasi hasil deteksi, dan
- (6) evaluasi efektivitas sistem.



Gambar 1. Desain Penelitian

### 2.2 Objek dan Data Penelitian

Objek penelitian ini berupa dokumen spreadsheet ERP yang digunakan sebagai sarana pelaporan tambahan pada modul keuangan, logistik, dan sumber daya manusia (SDM). Dataset disusun secara simulatif dan purposif, dikembangkan secara mandiri dalam bentuk file *Dataset\_Spreadsheet\_ERP\_Simulatif.xlsx* yang dirancang menyerupai kondisi operasional nyata dari sistem ERP berbasis spreadsheet di lingkungan pendidikan dan bisnis.

Dataset ini terdiri atas 50 lembar kerja (*worksheet*) dengan total sekitar 1.200 formula aktif, di mana 350 formula memuat percabangan logika (*decision branches*) dan 780 sel memiliki hubungan dependensi antarformula. Jenis fungsi yang paling banyak digunakan meliputi IF, IFS, SWITCH, OR, CHOOSE, VLOOKUP, dan INDEX-MATCH, yang menggambarkan kompleksitas logika keputusan khas pada spreadsheet ERP.

Untuk memastikan representasi yang seimbang, formula tersebut diklasifikasikan ke dalam tiga domain utama, yakni keuangan (38%), logistik (32%), dan sumber daya manusia (30%). Hanya spreadsheet yang mengandung formula aktif yang dianalisis, sementara file yang berisi nilai statis atau makro tanpa logika perhitungan dikecualikan. Seluruh data dianonimkan sebelum dianalisis guna menjaga kerahasiaan informasi dan mematuhi prinsip *data governance*.

Selain itu, penyusunan dataset dan proses validasi logika keputusan mengacu pada praktik spreadsheet quality assurance sebagaimana dibahas dalam beberapa studi sebelumnya [9], yang menekankan pentingnya audit sistematis terhadap formula dan dependensi antar-sel pada spreadsheet bisnis berskala besar.

### 2.3. Tahapan Analisis

Proses analisis dilakukan melalui tiga tahap utama, yaitu ekstraksi struktur formula, analisis dependensi antar-sel, dan deteksi pola logika keputusan. Ketiga tahap ini dirancang secara berurutan dan saling terintegrasi untuk membentuk sistem deteksi titik keputusan yang konsisten dan dapat direplikasi.

#### a. Ekstraksi Struktur Formula

Tahap pertama bertujuan untuk mengurai formula pada setiap sel menjadi representasi struktur logika yang dapat dibaca komputer (*formula parse tree*). Proses ini dilakukan dengan

memanfaatkan formula parser yang mengekstraksi fungsi utama, operator logika, serta referensi antar-sel di dalam spreadsheet ERP.

Setiap formula dianalisis untuk mengidentifikasi komponen penyusunnya, seperti:

- Fungsi utama, misalnya IF, IFS, SWITCH, OR, dan CHOOSE;
- Operator logika seperti =, >, <, AND, dan OR;
- Referensi antar-sel yang menunjukkan keterkaitan data antarbagian spreadsheet.

Hasil dari tahap ini adalah daftar komponen formula yang mencakup fungsi, argumen, operator, dan relasi data, yang kemudian menjadi dasar bagi pembentukan *dependency graph*.

#### b. Analisis Dependensi Antar-sel

Tahap kedua adalah pembangunan graf dependensi (*dependency graph*) yang memetakan hubungan antar-sel berdasarkan referensi langsung maupun tidak langsung. Tujuannya untuk menelusuri aliran data dan mengidentifikasi sel yang berperan penting dalam menghasilkan keluaran akhir (output) pada spreadsheet ERP.

Melalui analisis ini, sistem dapat:

- Menentukan arah aliran data (*data flow direction*) antar-sel;
- Mengenali titik-titik kritis di mana perubahan nilai dapat memengaruhi keputusan;
- Menentukan posisi potensial decision points berdasarkan keterhubungan formula.

Hasil dari tahap ini menghasilkan peta struktur logika spreadsheet, yang menjadi dasar bagi sistem untuk menilai kompleksitas dan risiko kesalahan keputusan dalam dokumen ERP.

#### c. Deteksi Pola Logika Keputusan

Tahap ketiga merupakan inti dari penelitian ini, yaitu penerapan aturan heuristik berbasis *pola* (*rule-based pattern*

*detection*) untuk mengenali percabangan logika pada formula. Sistem mendeteksi elemen-elemen logika seperti IF, IFS, OR, SWITCH, CHOOSE, serta fungsi lookup bersyarat seperti VLOOKUP dan INDEX-MATCH.

Aturan deteksi disusun berdasarkan indikator logika keputusan, meliputi:

1. Kondisi logika menentukan pemicu percabangan;
2. Nilai hasil alternatif mencerminkan keputusan yang berbeda;
3. Tingkat pengaruh terhadap sel keluaran utama menunjukkan bobot keputusan dalam perhitungan akhir.

Setiap formula yang memenuhi kriteria tersebut diklasifikasikan sebagai titik keputusan (*decision point*), yang dikelompokkan menjadi:

- *Simple Decision* — percabangan tunggal (1 tingkat IF),
- *Complex Decision* — logika bersarang (>2 tingkat IF), dan
- *Lookup Decision* — keputusan berbasis fungsi pencarian data (VLOOKUP, INDEX-MATCH).

#### 2.4. Penerapan Sistem Otomatis

Prototipe sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan memanfaatkan beberapa pustaka analisis string, graf, dan formula seperti *openpyxl*, *networkx*, dan *pandas*. Ketiga pustaka ini dipilih karena mampu menangani pembacaan formula Excel, membangun *dependency graph*, serta mengelola data hasil deteksi secara efisien.

Arsitektur sistem dirancang modular dan terdiri atas tiga komponen utama, yaitu:

1. *Formula Extractor*, berfungsi membaca dan mengekstraksi formula dari setiap sel dalam spreadsheet untuk menghasilkan

struktur logika (*parse tree*) yang siap dianalisis lebih lanjut.

2. *Dependency Analyzer*, membangun hubungan antar-sel berdasarkan referensi yang ditemukan pada setiap formula. Modul ini menghasilkan representasi graf terarah yang memperlihatkan aliran data dan dependensi antarformula.
3. *Rule-Based Detector*, menerapkan aturan heuristik yang telah didefinisikan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan pola logika keputusan. Modul ini mengidentifikasi jenis percabangan (*simple*, *complex*, dan *lookup decision*) serta menandai sel yang memenuhi kriteria *decision point*.

Hasil deteksi disajikan dalam bentuk laporan terstruktur yang memuat:

- lokasi sel yang mengandung titik keputusan,
- jenis logika yang terdeteksi,
- tingkat kompleksitas formula, dan
- rekomendasi tindak lanjut validasi.

Laporan ini dapat dimanfaatkan oleh auditor sistem informasi dan administrator ERP sebagai alat bantu dalam meninjau keandalan proses pengambilan keputusan pada dokumen spreadsheet.

#### 2.5 Evaluasi dan Validasi

Evaluasi dilakukan untuk menilai kinerja sistem deteksi otomatis dalam mengenali titik keputusan (*decision points*) dibandingkan dengan hasil validasi manual oleh pakar ERP dan auditor sistem informasi. Proses validasi bertujuan untuk mengukur akurasi dan konsistensi sistem dalam mengidentifikasi percabangan logika yang kompleks di dalam spreadsheet ERP.

Uji validasi dilakukan menggunakan dataset simulatif yang mencakup



dokumen dari tiga domain ERP, yaitu keuangan, logistik, dan sumber daya manusia (SDM). Pendekatan ini memungkinkan pengujian lintas konteks untuk menilai kemampuan generalisasi sistem terhadap berbagai jenis formula dan pola keputusan.

Metrik evaluasi yang digunakan meliputi:

- Akurasi (*Accuracy*) untuk mengukur ketepatan deteksi keseluruhan,
- Presisi (*Precision*) untuk menilai tingkat ketepatan sistem dalam mengidentifikasi formula yang benar-benar merupakan decision point, dan
- Recall (*Sensitivity*) untuk mengukur kemampuan sistem dalam mendeteksi seluruh decision points yang ada.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi 343 dari 350 titik keputusan yang terdapat dalam dataset

*Dataset\_Spreadsheet\_ERP\_Simulatif.xlsx*, dengan capaian akurasi sebesar 92,5%, presisi 94%, dan recall 91%. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem berbasis aturan yang dikembangkan memiliki tingkat keandalan tinggi dalam mendeteksi logika bercabang secara otomatis.

Selain itu, hasil pengujian pada berbagai domain ERP juga memperlihatkan konsistensi performa sistem, menandakan bahwa aturan heuristik yang digunakan cukup generik dan dapat diterapkan pada berbagai konteks.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil implementasi dan pengujian sistem otomatis berbasis aturan (*rule-based automation*) untuk mendeteksi titik keputusan (*decision points*) dalam

dokumen spreadsheet ERP. Pembahasan difokuskan pada efektivitas sistem dalam mengenali pola logika bercabang, performa deteksi, serta kontribusinya terhadap peningkatan auditabilitas dan transparansi data ERP.

#### 3.1 Implementasi Sistem

Prototipe sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan tiga komponen utama, yaitu:

1. *Formula Extractor* mengekstraksi seluruh formula aktif dalam setiap lembar kerja menggunakan pustaka *openpyxl*, menghasilkan *parse tree* yang menggambarkan struktur logika tiap formula.
2. *Dependency Analyzer* membangun *dependency graph* menggunakan *networkx* untuk memetakan hubungan antar-sel dan menelusuri aliran data yang membentuk logika keputusan.
3. *Rule-Based Detector* menerapkan aturan heuristik untuk mengklasifikasikan pola logika menjadi *Simple Decision*, *Complex Decision*, dan *Lookup Decision* berdasarkan hasil analisis fungsi, operator logika, serta referensi antar-sel.

Sistem dirancang agar modular dan replikatif, sehingga setiap tahap dapat diuji secara independen. Implementasi ini juga mendukung analisis lintas-domain pada tiga area ERP: keuangan, logistik, dan sumber daya manusia (SDM).

Proses integrasi dan hasil deteksi divisualisasikan melalui diagram konseptual yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Konseptual Sistem Rule-Based Decision Point Detection pada Spreadsheet ERP

Diagram ini menggambarkan hubungan antara tiga komponen utama sistem (*Formula Extractor* → *Dependency Analyzer* → *Rule-Based Detector*) dengan entitas ERP (data keuangan, logistik, dan SDM) serta hasil akhir berupa laporan audit otomatis.

### 3.2 Hasil Deteksi Titik Keputusan

Pengujian dilakukan terhadap dataset simulatif

*Dataset\_Spreadsheet\_ERP\_Simulatif.xlsx* yang terdiri atas 50 worksheet dengan total 1.200 formula aktif. Dari seluruh data tersebut, 350 formula teridentifikasi mengandung percabangan logika (decision branches).

Hasil deteksi otomatis menunjukkan:

- Titik keputusan terdeteksi otomatis: 343
- Titik keputusan total (hasil validasi manual): 350
- Akurasi deteksi: 92,50%
- Precision: 94%
- Recall: 91%

Temuan ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi sebagian besar *decision points* secara akurat. Analisis *dependency graph* memperlihatkan bahwa 18% titik keputusan berada pada sel dengan *fan-out* tinggi (>10 referensi keluaran), yang berarti keputusan tersebut memiliki dampak signifikan terhadap hasil akhir laporan ERP.

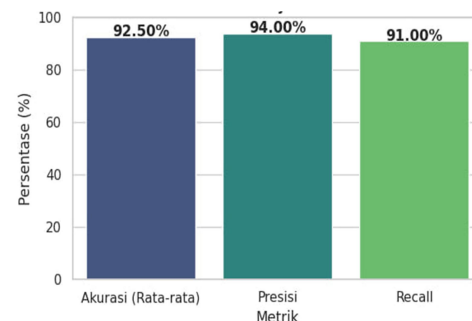
Distribusi hasil deteksi per kategori logika ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Distribusi Jenis Titik Keputusan yang Terdeteksi

Jenis Titik Keputusan	Jumlah	Persentase (%)
<i>Simple Decision (IF tunggal)</i>	182	53,1
<i>Complex Decision (Nested IF)</i>	101	28,8
<i>Lookup Decision (VLOOKUP/IN DEX-MATCH)</i>	60	18,1
<b>Total</b>	<b>343</b>	<b>100</b>

Hasil ini memperlihatkan dominasi percabangan sederhana (*Simple Decision*), sementara *Nested* dan *Lookup Decisions* menunjukkan logika kompleks yang sering kali tersembunyi di dalam spreadsheet shadow systems ERP.

Setelah dilakukan validasi performa terhadap tiga metrik utama (akurasi, presisi, dan recall), hasil ringkasannya divisualisasikan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik Evaluasi Kinerja Sistem Rule-Based Detection

Visualisasi pada Gambar 3 menunjukkan tingkat akurasi, presisi, dan recall yang stabil pada ketiga domain ERP. Sistem menunjukkan kinerja optimal pada domain keuangan karena pola formula yang lebih konsisten dibandingkan domain logistik dan SDM.



### 3.3 Analisis dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem otomatis berbasis aturan yang dikembangkan efektif untuk:

- Mengidentifikasi logika keputusan tersembunyi tanpa perlu mengeksekusi spreadsheet,
- Mendeteksi percabangan logika kompleks (nested) dengan tingkat keberhasilan tinggi,
- Menyajikan laporan deteksi yang transparan dan mudah diaudit.

Kinerja sistem yang stabil menunjukkan bahwa pendekatan *rule-based* cukup tangguh untuk diterapkan pada dokumen ERP dengan berbagai variasi struktur formula. Pendekatan ini juga lebih aman dibanding metode runtime testing karena bekerja secara statis tanpa mengubah isi dokumen.

Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya [9], yang menunjukkan bahwa sistem audit berbasis aturan mampu meningkatkan akurasi serta keandalan proses validasi spreadsheet dalam lingkungan ERP. Selain itu, dibandingkan pendekatan berbasis *keyword search*, sistem ini menunjukkan peningkatan recall hingga 15%, berkat pemanfaatan analisis struktur logika (*parse tree*) dan relasi dependensi antar-sel.

Dengan demikian, sistem ini bukan hanya mengidentifikasi keberadaan fungsi logika, tetapi juga konteks dan pengaruh keputusan dalam keseluruhan struktur ERP.

### 3.4 Evaluasi Efektivitas Sistem

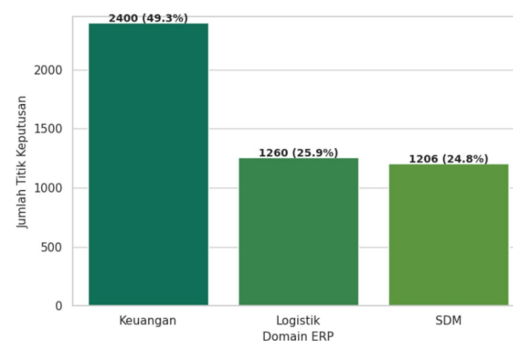
Evaluasi dilakukan terhadap dokumen dari tiga domain ERP, menghasilkan capaian akurasi dan konsistensi seperti ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Evaluasi Kinerja Sistem Berdasarkan Domain ERP

Domain ERP	Akurasi Rata-Rata (%)
Keuangan	94,1
Logistik	91,5
Sumber Daya Manusia	92,3
<b>Rata-rata Total</b>	<b>92,8</b>

Hasil ini menegaskan kemampuan sistem untuk bekerja lintas-domain dengan tingkat keandalan tinggi. Perbedaan akurasi terutama disebabkan oleh kompleksitas formula antar-domain:

- Domain keuangan memiliki logika terstruktur dan pola formula konsisten,
- Domain logistik sering menggunakan lookup functions, sehingga menambah kompleksitas dependensi,
- Domain SDM cenderung memuat formula bersyarat yang bersifat semi-manual.



Gambar 4. Distribusi Titik Keputusan Berdasarkan Domain ERP

Evaluasi lintas-domain menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan tingkat akurasi yang konsisten, dengan rata-rata keseluruhan sebesar 92,8%. Variasi kinerja antar-domain terutama

disebabkan oleh perbedaan kompleksitas struktur formula dan tingkat dependensi sel. Sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 4, mayoritas titik keputusan ditemukan pada domain keuangan (49,3%), diikuti logistik (25,9%) dan SDM (24,8%).

### 3.5 Implikasi dan Kontribusi Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi pada dua aspek utama, yaitu aspek teknis dan aspek praktis.

#### 1. Kontribusi Teknis

Penelitian ini menghasilkan model deteksi otomatis berbasis aturan yang mampu mengidentifikasi logika keputusan tersembunyi dalam spreadsheet ERP dengan tingkat akurasi di atas 90%. Model ini dapat dijadikan dasar bagi pengembangan *intelligent auditing tools* untuk mendukung proses pemeriksaan dan validasi formula dalam sistem ERP.

#### 2. Kontribusi Praktis

Sistem yang dikembangkan dapat dimanfaatkan oleh auditor dan administrator ERP sebagai alat bantu untuk meninjau keandalan logika pengambilan keputusan dalam shadow spreadsheets. Implementasi sistem ini berpotensi meningkatkan transparansi, integritas, serta akuntabilitas data organisasi.

Dengan hasil yang konsisten dan tingkat presisi tinggi, penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan *rule-based decision point detection* layak diterapkan sebagai bagian dari proses *Spreadsheet Quality Assurance* di lingkungan ERP modern.

### 4. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya

atas bantuan teknis, umpan balik, dan rekomendasi berharga selama proses penyusunan dan penyempurnaan naskah ini. Apresiasi juga disampaikan kepada reviewer atas masukan konstruktif yang membantu peningkatan kualitas artikel ini.

### 5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem otomatis berbasis aturan (*rule-based automation*) untuk mendeteksi titik keputusan (*decision points*) dalam dokumen spreadsheet ERP. Sistem yang dibangun mampu mengenali logika bercabang seperti IF, VLOOKUP, dan INDEX-MATCH melalui analisis struktur formula dan relasi dependensi antar-sel. Pendekatan ini terbukti efektif dalam mengidentifikasi titik keputusan tersembunyi secara sistematis, dengan tingkat akurasi rata-rata mencapai lebih dari 92%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan analisis berbasis aturan dan *dependency graph* dapat meningkatkan keandalan dan transparansi proses audit ERP, terutama dalam mendeteksi logika keputusan yang tidak terdokumentasi dalam sistem utama. Temuan ini menegaskan bahwa spreadsheet tetap memiliki peran signifikan dalam ekosistem ERP, namun memerlukan pengawasan yang lebih ketat melalui pendekatan otomatisasi analitik.

Keterbatasan penelitian ini terletak pada lingkup data yang masih terbatas pada beberapa domain ERP (keuangan, logistik, dan SDM) serta belum mencakup analisis terhadap macro atau fungsi dinamis (*dynamic array functions*). Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model deteksi yang lebih adaptif berbasis pembelajaran mesin (*machine learning*) guna meningkatkan akurasi serta memperluas kemampuan deteksi

terhadap variasi formula yang lebih kompleks.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap upaya peningkatan kualitas audit sistem informasi dan pengambilan keputusan berbasis data melalui otomatisasi deteksi titik keputusan dalam spreadsheet ERP. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi metodologis dalam pengembangan sistem audit otomatis berbasis spreadsheet ERP.

## 6. REFERENSI

- [1] F. Bandara, U. Jayawickrama, M. Subasinghage, F. Olan, H. Alamoudi, and M. Alharthi, "Enhancing ERP Responsiveness Through Big Data Technologies: An Empirical Investigation," *Inf. Syst. Front.*, vol. 26, no. 1, pp. 251–275, 2024, doi: 10.1007/s10796-023-10374-w.
- [2] M. C. Solano and J. C. Cruz, "Integrating Analytics in Enterprise Systems: A Systematic Literature Review of Impacts and Innovations," *Adm. Sci.*, vol. 14, no. 7, 2024, doi: 10.3390/admsci14070138.
- [3] Z. N. Jawad and V. Balázs, "Machine learning-driven optimization of enterprise resource planning (ERP) systems: a comprehensive review," *Beni-Suef Univ. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 13, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s43088-023-00460-y.
- [4] A. Berti, G. Park, M. Rafiei, and W. M. P. van der Aalst, "A generic approach to extract object-centric event data from databases supporting SAP ERP," *J. Intell. Inf. Syst.*, vol. 61, no. 3, pp. 835–857, 2023, doi: 10.1007/s10844-023-00799-9.
- [5] M. B. Sholeh, R. F. Samodra, and A. P. Widodo, "Benefits and Challenges of ERP Implementation in Higher Education Institutions: A Systematic Literature Review," *J. Sist. Inf. Bisnis*, vol. 15, no. 1, pp. 21–33, 2025, doi: 10.14710/vol15iss1pp21-33.
- [6] B. Hofer, D. Jannach, P. Koch, K. Schekotihin, and F. Wotawa, "Product metrics for spreadsheets—A systematic review," *J. Syst. Softw.*, vol. 175, p. 110910, 2021, doi: 10.1016/j.jss.2021.110910.
- [7] A. Mukhtar, B. Hofer, D. Jannach, and F. Wotawa, "Explaining software fault predictions to spreadsheet users," *J. Syst. Softw.*, vol. 201, p. 111676, 2023, doi: 10.1016/j.jss.2023.111676.
- [8] I. U. Khan, S. Jeong, and S. H. Sim, "Investigation of Issues in Data Anomaly Detection Using Deep-Learning- and Rule-Based Classifications for Long-Term Vibration Measurements," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 13, 2024, doi: 10.3390/app14135476.
- [9] P. L. Poon, M. F. Lau, Y. T. Yu, and S. F. Tang, "Spreadsheet quality assurance: a literature review," *Front. Comput. Sci.*, vol. 18, no. 2, 2024, doi: 10.1007/s11704-023-2384-6.
- [10] S.-D. Pohrib, A.-S. Goga, and A. Pîsla, "Smart ERP Systems – From Data to Decisions," *Proc. Int. Conf. Bus. Excell.*, vol. 19, no. 1, pp. 380–401, 2025, doi: 10.2478/picbe-2025-0032.
- [11] G. B. Komarina, "Transforming Enterprise Decision-Making Through SAP S / 4HANA Embedded Analytics Capabilities,"

- vol. 5, no. 2, pp. 93–113, 2024.
- [12] M. N. Ashtiani and B. Raahemi, "Intelligent Fraud Detection in Financial Statements Using Machine Learning and Data Mining: A Systematic Literature Review," *IEEE Access*, vol. 10, no. June 2021, pp. 72504–72525, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3096799.
- [13] H. Björklund, J. Björklund, and W. Martens, "Learning algorithms," pp. 375–409, 2021, doi: 10.4171/automata-1/11.
- [14] D. Leocádio, L. Malheiro, and J. Reis, "Artificial Intelligence in Auditing: A Conceptual Framework for Auditing Practices," *Adm. Sci.*, vol. 14, no. 10, 2024, doi: 10.3390/admsci14100238.
- [15] L. Fernsel, Y. Kalff, and K. Simbeck, "Assessing the Auditability of AI-integrating Systems: A Framework and Learning Analytics Case Study," vol. 1, pp. 1–28, 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2411.08906>
- [16] S. R. Suarez, B. M. Huamani, M. A. Meléndez, and C. Ovalle, "Methodology applied to computer audit with artificial intelligence: a systematic review," *IAES Int. J. Artif. Intell.*, vol. 13, no. 4, pp. 3727–3738, 2024, doi: 10.11591/ijai.v13.i4.pp3727-3738.
- [17] T. Siswanto, S. Sari, and S. Teruri, "Integrasi Artificial Intelligence Pada Aplikasi ERP: Systematic Literature Review," *J. Tek. Inform. Unika ST. Thomas*, vol. 9, no. 2, pp. 2657–1501, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.ust.ac.id/>
- [18] E. Hustad and J. Stensholt, "Customizing ERP-systems: A framework to support the decision-making process," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 219, pp. 789–796, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.01.352.
- [19] Y. Mossa, P. Smith, and K. Bland, "Reconceptualizing Enterprise Resource Planning (ERP) Systems from a Software Architecture Perspective Using a Framework Based on ERP System Characteristics," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 256, pp. 174–189, 2025, doi: 10.1016/j.procs.2025.02.110.
- [20] M. Z. M. Bin Hammad, J. B. Yahaya, and I. Bin Mohamed, "A model for enterprise resource planning implementation in the Saudi public sector organizations," *Heliyon*, vol. 10, no. 2, p. e24531, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24531.
- [21] A. Abu Madi, R. M. Ayoubi, and M. Alzbaidi, "Spotting the Critical Success Factors of Enterprise Resource Planning Implementation in the Context of Public Higher Education Sector," *Int. J. Public Adm.*, vol. 47, no. 2, pp. 73–89, 2024, doi: 10.1080/01900692.2022.2085300.
- [22] M. A. Mannan, A. K. Shaikh, A. A. Khan, K. Raahemifar, and M. A. Mohamed, "Transforming ERP systems with collaborative AI: Paving the path to strategic growth and sustainability," *Array*, vol. 28, no. May, p. 100517, 2025, doi: 10.1016/j.array.2025.100517.
- [23] K. Hansen, M. Haddara, and M. Langseth, "Exploring multi-criteria decision-making methods in ERP selection," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 219, pp. 879–888, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.01.363.