

INTEGRASI *ROBOTIC PROCESS AUTOMATION* DAN *REINFORCEMENT LEARNING* UNTUK NOTIFIKASI CERDAS DI LINGKUNGAN PENDIDIKAN: TINJAUAN LITERATUR SISTEMATIS

INTEGRATION OF ROBOTIC PROCESS AUTOMATION AND REINFORCEMENT LEARNING FOR SMART NOTIFICATIONS IN EDUCATIONAL ENVIRONMENTS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Hani Irmayanti¹, Sufa Atin^{2*}, Andri Heryandi³, Zainal Arifin Hasibuan⁴, Sri Supatmi⁵, Bobi Kurniawan⁶

E-mail: ¹hani.75725003@mahasiswa.unikom.ac.id, ²sufaatin.75725002@mahasiswa.unikom.ac.id,

³andri.75725023@mahasiswa.unikom.ac.id, ⁴zhasibua@email.unikom.ac.id,

⁵sri.supatmi@email.unikom.ac.id, ⁶bobi@email.unikom.ac.id

^{1,2,3,4,6} Doktoral Sistem Informasi, Fakultas Pascasarjana, Universitas Komputer Indonesia

⁵ Magister Sistem Informasi, Fakultas Pascasarjana, Universitas Komputer Indonesia

Abstrak

Penelitian ini memetakan tren integrasi *Robotic Process Automation* (RPA) dan *Reinforcement Learning* (RL) untuk mengatasi ledakan informasi (*information overload*) pada sistem notifikasi cerdas di lingkungan pendidikan. Menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan pedoman PRISMA, sebanyak 132 artikel relevan dari basis data Scopus (2021-2025) dianalisis. Temuan menunjukkan bahwa riset di bidang ini tumbuh pesat, dengan *Deep Learning* sebagai motor utama di mana RL berfungsi sebagai otak adaptif untuk optimasi keputusan, sementara RPA berperan sebagai eksekutor otomatis. Meski demikian, fokus pengembangan saat ini masih didominasi oleh penguatan algoritma dibandingkan implementasi praktis. Penelitian ini juga mengidentifikasi celah krusial pada aspek keamanan model (*Trustworthiness*) dan infrastruktur desentralisasi (*Edge Computing*). Sebagai langkah maju, direkomendasikan pengembangan arsitektur *Trustworthy AI* untuk menjamin keamanan data dalam sistem informasi pendidikan. Kontribusi utama penelitian ini adalah penyediaan landasan konseptual bagi pengembangan sistem notifikasi cerdas berbasis RPA-RL yang adaptif dan skalabel. Temuan ini krusial untuk meningkatkan efisiensi penyampaian informasi *real-time* di ekosistem pendidikan digital.

Kata kunci: *Robotic Process Automation, Reinforcement Learning, Information Overload, Sistem Notifikasi Cerdas, Systematic Literature Review*

Abstract

This research outlines the trend in the combination of Robotic Process Automation (RPA) and Reinforcement Learning (RL) and the smoothing of information overload in smart notifications systems. 132 papers from Scopus database (2021-2025) in adherence with PRISMA were analyzed using a Systematic Literature Review (SLR) method. The research has shown a positive prospect as the major driving force is Deep Learning with RL as the adaptive brain for decision making and RPA as the executor. The development trend is dominated by the improvement of the algorithms with little to no implementation of the algorithms. This research has also identified the absence of the model's security (Trustworthiness) and fundamental absence of decentralized infrastructures (Edge Computing) as significant gaps. Thus the development of a Trustworthy AI is essential in the educational information systems to ensure the security of data. The main contribution of this research is the provision of conceptual basis for the development of an adaptive and scalable RPA-RL-based smart notification system. These findings are crucial for improving the efficiency of real-time information delivery in the digital education ecosystem.

Keywords: *Robotic Precess Automation, Reinforcement Learning, Information Overload Smart Nofotication System, Systematic Literature Review*

1. PENDAHULUAN

Dalam satu decade terakhir, transformasi digital telah mengubah paradigma interaksi manusia dan computer secara fundamental, Dimana perangkat seluler dan aplikasi Perusahaan kini menjadi pusat aktivitas operasional yang berdampak pada lonjakan volume notifikasi setiap harinya [1], [2]. Meskipun notifikasi bertujuan menyampaikan informasi penting secara real-time, volume yang tidak terkendali sering kali memicu isu *information overload* dan gangguan kognitif [3] sehingga studi *Human-Computer Interaction* (HCI) terbaru menegaskan bahwa notifikasi tanpa konteks cenderung diabaikan dan menurunkan efektivitas komunikasi [4], [5]. Oleh karena itu dasar pertimbangan penelitian ini berfokus pada urgensi kebutuhan mekanisme notifikasi *context-aware* yang mampu memprediksi waktu terbaik pengiriman informasi, yang menjadi krusial untuk menjaga kesejahteraan digital (*digital wellgeing*) pengguna [6].

Dalam konteks ini, sistem notifikasi cerdas diposisikan sebagai sub-sistem yang paling esensial dalam Sistem Informasi (SI), khususnya dalam konteks *Decision Support System* (DSS) dan *Alerting System*. Sebagai sistem pendukung keputusan, notifikasi cerdas berfungsi lebih dari sekadar pengingat, tetapi secara aktif menfilter dan menyaring informasi relevan sehingga dapat membantu pengguna memprioritaskan tindakan. Dalam ekosistem pendidikan, peran alerting system yang cerdas menjadi sangat kritis untuk menjaga efisiensi kognitif pengguna dalam pengelolaan tugas-tugas administratif dan akademik yang rumit.

Beberapa *Systematic Literature Review* (SLR) sebelumnya telah mengeksplorasi potensi otomatisasi, namun terdapat kesenjangan yang signifikan. Tinjauan terdahulu cenderung berfokus secara terpisah pada optimasi *Robotic Process Automation* (RPA) untuk efisiensi bisnis [7], [8], atau penerapan *Reinforcement Learning* (RL) untuk personalisasi rekomendasi [9], tanpa adanya pemetaan komprehensif mengenai integrasi holistik kedua teknologi ini [10].

Berbeda dengan studi terdahulu, kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada usulan arsitektur integratif yang memposisikan RPA sebagai eksekutor dan RL sebagai pengambil Keputusan cerdas dalam manajemen notifikasi, sebuah posisi penelitian yang mengisi celah adaptabilitas sistem yang ada. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan penelitian (RQ) utama : (1) menganalisis tren publikasi dan karakteristik *bibliometric* integrasi RPA dan RL pada sistem notifikasi cerdas dalam rentang waktu 2021-2025, (2) memetakan struktur tematik dan mekanisme integrasi Teknik yang dominan, serta (3) mengidentifikasi kesenjangan penelitian utama sebagai dasar pengembangan system notifikasi otonom di masa depan. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada : Penyusunan pemetaan komprehensif integrasi RPA-RL yang menjawab tren pertumbuhan global, Identifikasi mekanisme integrasi teknis melalui struktur tematik, serta perumusan arah riset strategis berbasis kesenjangan kritis pada aspek *Trustworthy AI* dan *Edge Computing* untuk mendukung pengembangan sistem yang adaptif dan andal.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) yang mengacu pada pedoman PRISMA [11], mencakup tahap *identification*, *screening*, *eligibility*, dan *inclusion*. Data dikumpulkan melalui basis data Scopus dalam rentang waktu 2021-2025, Dimana dari 2.259 dokumen awal, terpilih menjadi 132 artikel yang relevan setelah melalui proses penyaringan yang ketat. Kelebihan dalam menggunakan metode ini terletak pada transparansi dan objektivitas dalam memetakan *state-of-the-art* integrasi RPA-RL secara sistematis. Penelitian ini memiliki keterbatasan yaitu hanya mencakup literatur ilmiah terpublikasi dalam periode lima tahun terakhir dan hanya berfokus pada integrasi RPA dan RL, sehingga tidak mencakup *grey literature* atau model kecerdasan buatan di luar lingkup tersebut.

2.1 Identifikasi

Proses identifikasi dilakukan dengan mencari literatur mengenai integrasi RPA dan RL pada sistem notifikasi [11]. Pencarian dilakukan pada basis data akademik utama menggunakan *Query Boolean* [12] Kata kunci yang digunakan terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Tabel Kata Kunci Pencarian

Kelompok Logika	Kata Kunci (Search String)	Justifikasi Pemilihan
Grup 1: Domain & Core App	("Student" OR "University") AND ("Notification System" OR "Early Warning System") AND ("Robotic Process Automation" OR "Reinforcement Learning")	Menjangkau studi kasus spesifik pada institusi pendidikan tinggi yang menggunakan sistem peringatan dini sebagai aplikasi utama.
Grup 2: Integrasi Teknologi (Hybrid)	("Robotic Process Automation" OR "RPA") AND ("Reinforcement Learning" OR "Deep Reinforcement Learning" OR "Q-Learning") AND ("Optimization" OR "Intelligent Automation")	Menangkap literatur teknis mengenai integrasi "otak" (RL) dan "otot" (RPA) untuk mencapai Tabel 1. Kata Kunci (Search String) otomatisasi cerdas yang optimal.
Grup 3: Stakeholder & Luaran	("Student Performance" OR "Academic Achievement") AND ("Parental Notification" OR "Parent Involvement" OR "Guardian Alert") AND ("Information System" OR "Monitoring App")	Mengidentifikasi dampak sistem terhadap keterlibatan orang tua dan prestasi siswa, memposisikan notifikasi sebagai alat monitoring akademik.
Grup 4: Fungsionalitas & Metrik	("Adaptive Notification" OR "Intelligent Alert" OR "Context-aware Notification") AND ("Reinforcement Learning" OR "Machine Learning") AND ("User Engagement" OR "Response Rate")	Memfokuskan pada aspek adaptivitas dan metrik keberhasilan sistem (HCI), seperti tingkat respons dan keterlibatan pengguna.

2.2 Screening

Proses *Screening* disesuaikan dengan Langkah PRISMA [13], sedangkan kriteria inklusi dan eksklusinya terdapat pada tabel 2.

Tabel 2. Tabel Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Topik	Studi yang membahas penerapan RPA, RL, atau Sistem Notifikasi Cerdas (terutama dalam konteks monitoring/akademik)	Studi yang hanya membahas robotik fisik (<i>hardware</i>) tanpa aspek otomatisasi lunak, atau sistem notifikasi manual
Jenis Publikasi	Artikel Jurnal (<i>Peer-reviewed</i>) dan Prosiding Konferensi Internasional	<i>Grey Literature</i> (Blog, Whitepaper), Tesis/Disertasi yang tidak dipublikasikan, Editorial, <i>Review Buku</i> .
Bahas	Bahasa Inggris	Selain Bahasa Inggris
Akses	Full-Text Tersedia	Hanya abstrak dan <i>Citation Only</i>
Tahun	2021-2025	Sebelum tahun 2021

2.3 Eligibility

Pada tahap *eligibility*, dilakukan penyaringan manual terhadap dokumen tersisa guna memvalidasi relevansi tematik melalui pemeriksaan judul dan abstrak. Peneliti menerapkan kriteria eksklusi ketat untuk mengeliminasi studi yang hanya berfokus pada teknologi Tunggal tanpa membahas integrasi antara *Robotic Process Automation* (RPA) dan *Reinforcement Learning* (RL) dalam sistem informasi pendidikan.

2.4 Include

Pada bagian ini dilakukan pembacaan text penuh, yang sesuai kriteria selanjutnya akan digunakan sebagai bahan untuk analisis *Systematic Literature Review* [14].

2.5 Perangkat Lunak dan Analisis Data (*Tools and Analysis Software*)

Untuk memastikan akurasi analisis bibliometrik, penelitian ini menggunakan perangkat lunak R-Studio dengan *package Bibliometrix (Biblioshiny)* untuk mengekstraksi metrik pertumbuhan literatur, kolaborasi internasional, dan analisis kata kunci. Selain itu, VOSviewer digunakan untuk memetakan visualisasi struktur tematik dan jaringan bibliografis guna mengidentifikasi emerging themes dalam integrasi RPA-RL.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi

Hasil pencarian awal menghasilkan 2259 dokumen yang berasal dari database scopus. Dokumen 2259 didapatkan dengan menggunakan strategi pencarian (*Search String*) dengan *keyword* yang terdapat dalam Tabel 1.

3.2 Screening

Dokumen hasil pencarian awal sebanyak 2.259 akan di screening dengan Langkah awalnya yaitu menghilangkan redudansi. Proses ini menghasilkan eksklusi sebanyak 997 dokumen yang teridentifikasi sebagai duplikat, sehingga menyisakan sebanyak 1.262 dokumen unik. Selanjutnya, 1.262 dokumen tersebut disaring dengan menerapkan kriteria kelayakan awal (inklusi/eksklusi) secara otomatis. Kriteria yang diterapkan meliputi Batasan waktu (*timespan*) tahun terbit 2021 hingga 2025, tipe dokumen (*Dokument type*) hanya dokumen berupa artikel jurnal (*article*) dan prosiding konferensi (*Conference Proceeding*) yang dipertahankan. Jenis dokumen lain (*Review, Book Chapter, Letter, Erratum*) dieksklusi dan Bahasa (*Language*) dibatasi pada Bahasa Inggris untuk mematikan proses data *extraction* dan analisis isi dapat dilakukan secara konsisten dan akurat. Setelah penerapan ketiga kriteria otomatis ini, Tersisa 702 dokumen yang lolos ke tahap selanjutnya.

3.3 Eligibility

Setelah proses penyaringan awal yang otomatis tersisa 702 dokumen yang memenuhi kriteria dasar (waktu, jenis publikasi, dan bahasa). Dokumen-dokumen ini kemudian menjalani proses penyaringan manual yang ketat untuk memastikan relevansi tematik yang mendalam dengan topik integrasi *Robotic Process Automation (RPA)* dan *Reinforcement Learning (RL)*. Proses penyaringan dimulai dengan pengecekan judul dan abstrak. Peneliti menerapkan kriteria eksklusi utama untuk mengeliminasi dokumen yang tidak relevan secara substansial. Kriteria yang diterapkan Adalah focus teknologi Tunggal. Dokumen dieksklusi apabila hanya berfokus pada RPA saja atau RL saja tanpa membahas kontribusi, mekanisme, atau *framework* yang menggabungkan kedua teknologi tersebut. Berdasarkan kriteria tersebut, sebanyak 394 dokumen berhasil diesklusi. Proses ini menyisakan 308 dokumen yang dinilai berpotensi kuat untuk dianalisis lebih lanjut.

3.4 Include

Dalam proses include, 308 dokumen yang tersisa dilanjutkan ke pembacaan teks penuh (*Full-Text Screening*) untuk validasi akhir. Pada fase ini, jika setelah membaca teks penuh, klaim integrasi RPA-RL yang ada di abstrak ternyata hanya bersifat konseptual murni, atau merupakan referensi minor yang tidak didukung oleh implementasi teknis maupun hasil empiris yang memadai, maka akan diesklusi. Setelah verifikasi mendalam pada 308 dokumen tersebut, ditemukan bahwa 132 dokumen memenuhi persyaratan substansial. Dokumen-dokumen ini kemudian menjadi dasar data yang valid untuk menjawab *research questions* yang telah ditetapkan.

3.5 Hasil Deskriptif

Berdasarkan metodologi seleksi yang ketat, kami telah mengidentifikasi dan memvalidasi 132 dokumen yang relevan secara substansial mengenai *Robotic Process Automation (RPA)*, *Reinforcement Learning (RL)* dan *Early Warning System*. Dokumen-dokumen tersebut menjadi

dataset primer untuk analisis mendalam. Bagian selanjutnya akan menyajikan analisis *bibliometric* dan sintesis tematik dari kumpulan data ini untuk menjawab *research question*.

3.5.1 RQ 1 : Analisis Tren Publikasi dan Bibliometrik

Analisis bibliometrik berdasarkan 132 dokumen yang tervalidasi mengungkapkan Gambaran mengenai perkembangan riset integrasi *Robotic Process Automation* (RPA), *Reinforcement Learning* (RL), *Early Warning System* dalam priode 2021 hingga 2025. Data terlampir pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Overview Information

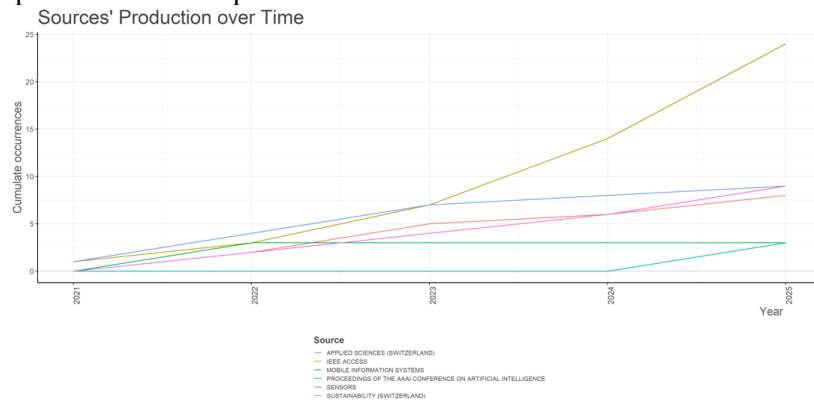
Data periode 2021-2025 mengkonfirmasi topik ini sebagai area riset baru (*emerging field*) dengan rata-rata usi dokumen 1,32 tahun dan laju pertumbuhan 74,16% menghasilkan 132 dokumen dari 67 sumber. Dampak ilmiahnya tergolong tinggi dengan rata-rata 13,87 sitasi per dokumen. Riset ini melibatkan 544 penulis dengan pola kerja tim yang dominan (rata-rata 4,31 penulis per dokumen dan hanya 11 penulis Tunggal) serta kolaborasi internasional yang substansial sebesar 43,94%. Cakupan bahasan topik ini luas, meliputi 527 kata kunci penulis dan didukung 1.292 referensi. Kualitas riset tervalidasi oleh venue publikasi berkualitas tinggi yang terdapat pada tabel 2, Dimana mayoritas jurnal (16 dari 22) masuk kategori Q1 dengan SJR kuat, didominasi penerbit IEEE (seperti *IEEE Access*) dan MDPI (seperti *Sensors*) yang berfokus pada Teknik, Komputer dan Informatika Kesehatan.

Tabel 3. Tabel Sumber Publikasi

No	Nama Jurnal	Publisher	SJR (2024)	Quartile	H-Index
1	IEEE Access	IEEE	0.849	Q1	290
2	IEEE Internet of Things Journal	IEEE	2.483	Q1	208
3	IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics	IEEE	1.649	Q1	168
4	Sensors	MDPI	0.764	Q1	273
5	Applied Science	MDPI	0.521	Q2	162
6	Sustainability	MDPI	0.688	Q1	207
7	Electronics	MDPI	0.615	Q2	110
8	Healthcare	MDPI	0.754	Q2	72
9	Journal of Personalized Medicine	MDPI	0.863	Q2	62
10	Diagnostics	MDPI	0.773	Q2	81
11	International Journal of Medical Informatics	Elsevier	1.189	Q1	141
12	Computer Method and Programs in Biomedicine	Elsevier	1.130	Q1	150
13	Journal of Biomedical Informatics	Elsevier	1.257	Q1	137
14	Informatics in Medicine Unlocked	Elsevier	0.762	Q2	66
15	Journal of Medical systems	Springer	0.962	Q1	120
16	Scientific Reports	Nature P	0.874	Q1	347
17	BMC Medical Informatics and Decision Making	MBC (Springer)	1.041	Q1	107
18	Automated Software Engineering	Springer	0.625	Q2	54
19	PeerJ Computer Science	PeerJ	0.719	Q1	59
20	PLOS ONE	PLOS	0.803	Q1	467

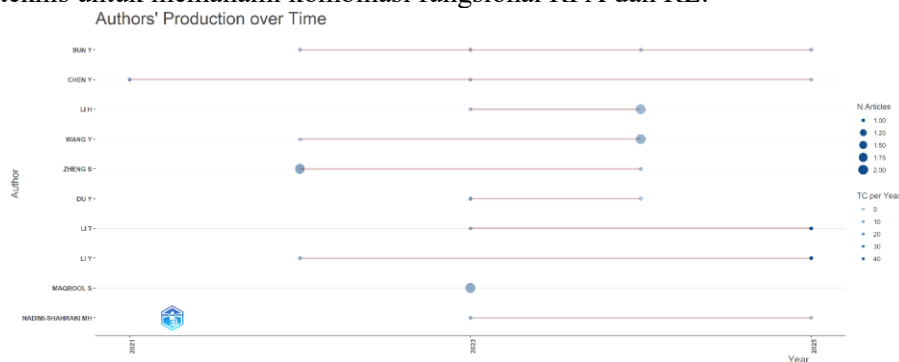
No	Nama Jurnal	Publisher	SJR (2024)	Quartile	H-Index
21	JMIR Medical Informatics	JMIR P	1.007	Q1	55
22	Journal of Robotics and Control (JRC)	UMY (Indonesia)	0.435	Q2	26

Analisis dinamika sumber memperlihatkan dominasi volume publikasi yang jelas, Dimana Grafik Produksi sumber dari Waktu ke Waktu mengkonfirmasi IEEE Access (garis kuning) memimpin kontribusi kumulatif dengan pertumbuhan paling tajam dan terus meningkat sepanjang 2021-2025. Kenaikan kontribusi yang signifikan juga ditunjukkan oleh *Applied Scieeces* (garis merah) dan Sensors (garis biru tua), menegaskan bahwa jurnal open access dan teknis merupakan venue utama bagi riset integrasi RPA-RL. Data dapat dilihat pada Gambar 2. Dominasi penerbit Q1 seperti IEEE dan MDPI memvalidasi integrasi RPA-RL sebagai solusi teknis berstandar tinggi. Sifat *open-access* dari jurnal-jurnal ini mempercepat diseminasi inovasi, sehingga model notifikasi cerdas dapat bertransformasi lebih cepat dari skala riset ke implementasi praktis di institusi pendidikan.



Gambar 2. Sources Production Over Time

Profil produktivitas penulis pada Gambar 3 menunjukkan konsistensi kontribusi, Dimana Sun Y., Chen Y., dan Wang Y. mencatat aktivitas publikasi berkelanjutan pada periode kunci 2023-2025, sementara Li T. dan Li Y., menonjol dengan dampak sitasi kumulatif sangat tinggi (titik biru tua) yang mengindikasikan pengaruh akademis kuat. Menyusul pemetaan tren makro ini, analisis selanjutnya difokuskan secara mendalam pada struktur tematik dan mekanisme integrasi teknis untuk memahami kombinasi fungsional RPA dan RL.

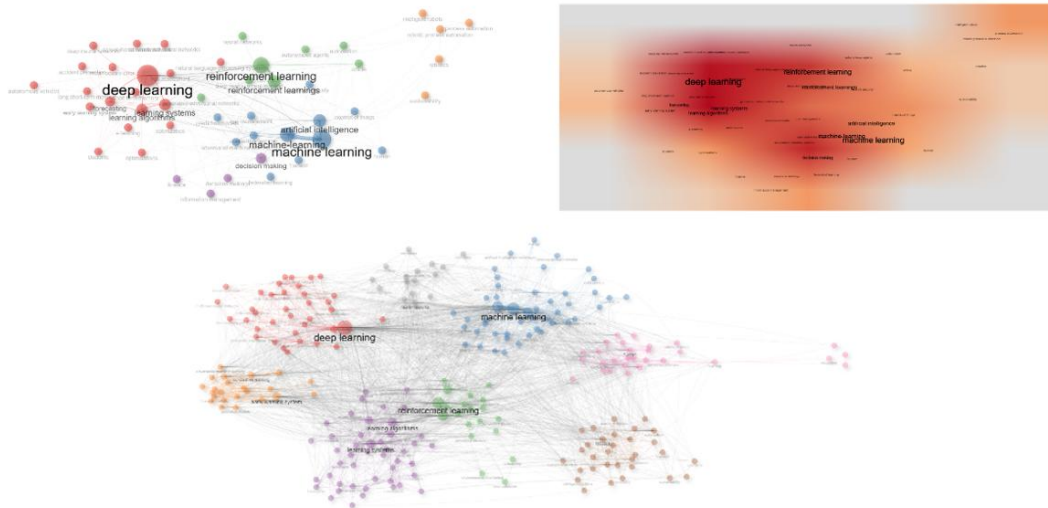


Gambar 3. Author Production Over Time

3.5.2 RQ 2 : Memetakan Struktur Tematik Mekanisme Integrasi Teknis

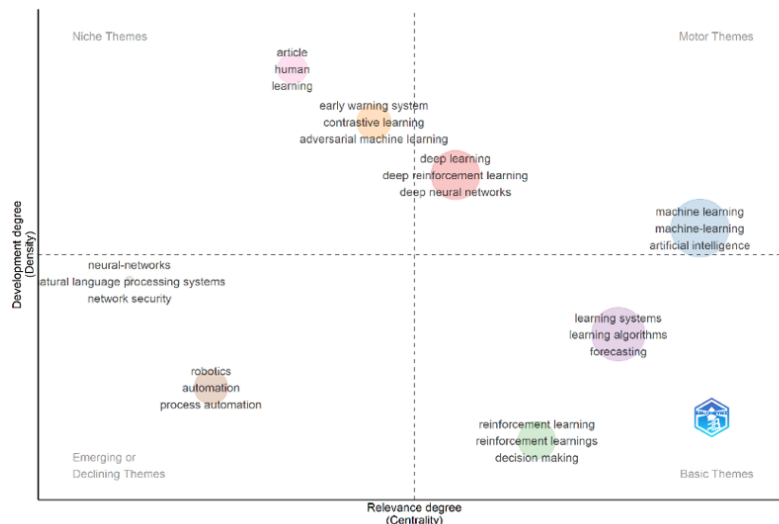
Analisis *co-occurrence* pada Gambar 4 dan pemetaan tematik pada Gambar 5 mengidentifikasi sinergi teknologi ini dalam ekosistem integrasi RPA-RL. Dalam mekanisme ini, *Reinforcement Learning* (RL) berperan sebagai “otak” atau mesin pengambil keputusan adaptif yang mengoptimalkan tindakan berdasarkan umpan balik lingkungan. Sebaliknya, *Robotic Process Automation* (RPA) berfungsi sebagai “tangan” atau eksekutor deterministik yang menjalankan tugas administrative secara otomatis. Integrasi ini memungkinkan transformasi

sistem dari sekedar otomatisasi kaku menjadi system cerdas yang mampu menangani *information overload* secara dinamis.



Gambar 4. Analisis Co-Occurance dan Thematic Network

Visualisasi jaringan *co-occurrence* menegaskan dominasi AI, Dimana *Deep Learning* dan *Machine Learning* menjadi pondasi prediktif fundamental yang menopang *Reinforcement Learning* (RL) sebagai mekanisme sentral optimasi keputusan adaptif. Sementara *Forecasting* dan *Early Warning System* merupakan aplikasi langsung *Deep Learning*, posisi RPA di perifer menandakan perannya sebatas eksekutor dan bukan inti teknis, dinamika ini didukung oleh IoT yang menyediakan data *real-time* via *Machine Learning* untuk memfasilitasi Keputusan cerdas. Peta tematik dalam Gambar 5 membagi topik menjadi empat kuadran, dimana yang menjelaskan peran tematik masing-masing kluster.



Gambar 5. Thematic Map

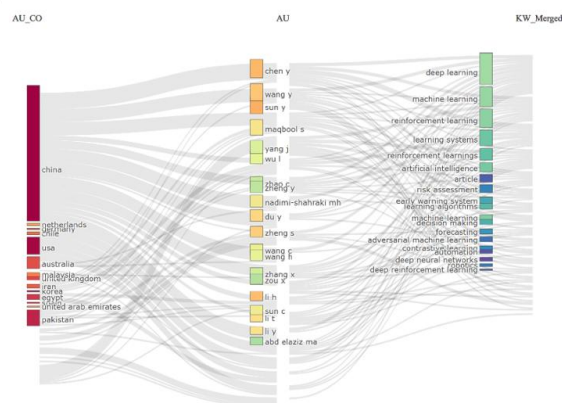
Berdasarkan data pada tabel 4, perbandingan antar tema menunjukkan kontras signifikan antara kematangan algoritma dan kesipaan implementasi, dimana kluster *Machine Learning* dan RL pada kuadran *Motor Themes* memiliki densitas serta sentralitas jauh lebih tinggi dibandingkan *Robotics* yang berada di *Niche Themes*. Kondisi ini mengindikasikan bahwa *consensus* riset telah mapan dalam aspek “kecerdasan” namun masih terisolasi secara spesialisasi pada aspek ‘eksekusi’. Selain itu, berbeda dengan *Basic Themes* yang hanya berfungsi sebagai fondasi

teoritis, tema dalam *Niche Themes* seperti *Early Warning System* menunjukkan pengembangan teknis mendalam namun memiliki keterhubungan lemah dengan kerangka *Decesion Making* utama, ketimpangan antar kuadran ini mempertegas urgensi integrasi yang lebih holistik di masa depan.

Tabel 4. Tabel Perbandingan antar Tema

Kuadran (Peran Tematik)	Klaster Dominan & Node	Implikasi Teknis
Theme Motor (Kanan Atas)	Machine Learning, Reinforcement Learning, Human	Tema ini merepresntasikan klister maju dan terintegrasi dengan densitas serta sentralitas tinggi, yang berfungsi sebagai pendorong utama riset saat ini dengan fokus spesifik pada optimasi Keputusan yang melibatkan interaksi manusia [15]
Theme Basic (Kanan Bawah)	Learning Systems, Learning Argorithms	Ditandai dengan sentralitas tinggi namun densitas rendah, kategori ini berfungsi sebagai fondasi teoritis yang menyediakan alat dan konsep dasar bagi Pembangunan system RL/DL, meskipun tidak lagi menjadi fokus utama inovasi [16]
Theme Niche (Kiri Atas)	Deep Learning, Early Warning System, Forecasting, Robotics	Ciri tema ini spesialisasi tinggi (densitas tinggi, sentralitas rendah), yang berkembang pesat secara internal namun belum terintegrasi kuat dengan tema motor utama. Hal ini terlihat pada topik Early Warning System dan Forecasting yang dikembangkan secara mendalam berbasis Deep Learning, namun posisinya masih terisolasi dari klister Decision Making utama [17]
Theme Emerging/ Declining (Kanan Bawah)	(Klaster tidak jelas di kuadran ini)	Klaster pada kuadran ini biasanya Adalah topik baru atau yang sudah memudar, menunjukkan bahwa mayoritas klister anda termasuk dalam tema Motor atau Niche yang releva [18]

Penemuan pada struktur tematik tersebut telah memberikan implikasi yang mendalam pada arsitektur sistem informasi notifikasi. Integrasi RPA-RL telah mengubah paradigma SI dari struktur *static-rule-based* menjadi arsitektur *adaptive-loop*. Secara arsitektural, RL berperan sebagai *Processing Layer* yang menganalisis perilaku pengguna dan RPA berperan sebagai *Execution Layer* yang menjembatani *back-end* cerdas dengan platform antarmuka tanpa modifikasi API yang rumit. Persatuan itu memungkinkan Badan Notifikasi “lebih ringan” tetapi tetap cerdas prediktif karena membutuhkan notifikat yang sama di semua platform dan media tanpa adanya information overload.



Gambar 6. Three-Field Plot

Analisis *Three-Field Plot* dan kepadatan tematik pada Gambar 6 memetakan aliran pengetahuan terstruktur dari China dan penulis utama (Chen Y., Wang Y., Sun Y.) menuju topik sentral *Deep Learning* dan RL, menegaskan dominasi pengembangan algoritma dari wilayah tersebut. Temuan ini kontras dengan posisi kluster *Robotics* dan *Automation* di kuadran *Emerging or Declining Themes*, mengindikasikan bahwa aspek eksekutor ini dipandang kurang matang secara teknis dibandingkan tema Motor yang berfungsi sebagai mekanisme cerdasnya..

3.5.3 RQ 3 : Kesenjangan Penelitian Dominasi sebagai Landasan Pengembangan Masa Depan

Analisis tematik menyingkap tiga kesenjangan utama sebagai tantangan sekaligus peluang riset masa depan. Pertama, Kesenjangan Keamanan dan Ketahanan (*Trustworthy AI*) terlihat dari posisi peripheral topik keamanan siber yang mengidentifikasi ketidakseimbangan antara fokus akurasi model dan ketahanannya, sehingga menuntut pengembangan arsitektur RL yang lebih aman. Kedua, kesenjangan desentralisasi dan privasi data muncul akibat minimnya sentralitas topik *Edge Computing* dan *Federated Learning* yang meningkatkan risiko latensi serta kebocoran data pada pemrosesan terpusat, sehingga mendesak adopsi prinsip *Edge AI*. Ketiga, kesenjangan integrasi aplikasi pada kluster *Robotics* dan *Automation* di kuadran *Emerging Themes* menunjukkan posisi RPA yang belum menyatu integral dalam proses pembelajaran RL. Oleh karena itu, strategi masa depan harus menyematkan aspek *Trustworthiness* dan desentralisasi ke dalam kerangka kerja RPA-RL guna menciptakan system yang tidak hanya cerdas, tetapi juga Tangguh, aman, dan skalabel.

3.5.4 Skenario Aplikasi Potensial di Sektor Pendidikan (Potential Application Scenarios)

Berdasarkan sintesis literatur, terdapat tiga skenario utama implementasi integrasi RPA-RL dalam ekosistem pendidikan digital:

1. Sistem Peringatan Dini (*Early Warning System*) Akademik: RL menganalisis pola keterlambatan tugas; RPA mengeksekusi notifikasi personal otomatis ke wali murid/dosen.
2. Otomatisasi Administrasi Beasiswa dan Pendaftaran: RPA memverifikasi dokumen repetitif; RL memprioritaskan antrean notifikasi berbasis urgensi data.
3. Manajemen Penjadwalan Kuliah Real-Time: RPA memperbarui sistem secara menyeluruh; RL mengoptimalkan waktu pengiriman notifikasi saat pengguna aktif agar informasi efektif tersampaikan.

4. KESIMPULAN

Integrasi RPA dan RL terbukti menjadi solusi cerdas untuk mengatasi *information overload* melalui transformasi sistem notifikasi adaptif di lingkungan pendidikan. Meskipun riset tumbuh pesat sebesar 74,16%, terdapat ketimpangan antara kematangan algoritma keputusan dan infrastruktur eksekusi yang masih bersifat emerging. Sebagai rekomendasi strategis, agenda jangka pendek harus diprioritaskan pada pengembangan *context-aware framework* dan modularitas RPA untuk meningkatkan efisiensi sistem informasi. Sementara itu, agenda jangka panjang perlu difokuskan pada penguatan arsitektur *Trustworthy AI* serta desentralisasi melalui *Edge AI* guna menjamin keamanan, privasi data, dan ketangguhan operasional sistem secara real-time.

5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] J.Lee, J. Park, J. Kim, K. Kim, and S. Han, "A Local patch regression-based generative model for urban flood prediction in data-poor areas," *Expert Syst. Appl.*, vol.280, 2025, doi:10.1016/j.eswa.2025.127489.
- [2] J.Kim and S. Park, "Empowering Individual Preferences in Mobile Notifications: A balanced Approach to Cognitive Load and Information Needs," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 44936-44950, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3549033
- [3] D. Gavilan and G. Martinez-Navarro, "Exploring User's Experience of push notifications: a grounded theory approach," *Qual.Mark. Res. An Int. J.*, Vol 25, no.2, pp.233-255, 2022, doi:https://doi.org/10.1108/QMR-05-2021-0061.

- [4] D. Wu, G. D. Moody, J. Zhang, and P. B. Lowry, "Effects of the design of mobile security notifications and mobile app usability on users' security perceptions and continued use intention," *Inf. Manag.*, vol. 57, no. 5, 2020, doi:10.1016/j.im.2019.103235.
- [5] C. Stephanidis *et al.*, "Seven HCI Grand Challenges Revisited: Five-Year Progress," *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 41, no. 19, pp. 11947–11995, 2025, doi:10.1080/10447318.2025.2450411.
- [6] J. A. Brenes, G. López, F. J. Ferrández-Pastor, and G. Marín-Raventós, "Usability assessment of a greenhouse context-aware alert system for small-scale farmers," *Front. Comput. Sci.*, vol. 6, 2024, doi: 10.3389/fcomp.2024.1412913.
- [7] R. Syed *et al.*, "Robotic Process Automation: Contemporary themes and challenges," *Comput. Ind.*, vol. 115, p. 103162, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103162>.
- [8] Y. P. Tsang, V. Tang, C. H. Wu, and F. Li, "Unlocking the Potential of Robotic Process Automation for Digital Transformation in Logistics and Supply Chain Management," *J. Glob. Inf. Manag.*, vol. 32, no. 1, 2024, doi:10.4018/JGIM.361710.
- [9] C. L. Vidal *et al.*, "A Comparative Study of a Deep Reinforcement Learning Solution and Alternative Deep Learning Models for Wildfire Prediction," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 7, 2025, doi: 10.3390/app15073990.
- [10] M. Â. Pereira *et al.*, "Manufacturing Management Processes Integration Framework," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 16, 2025, doi: 10.3390/app15169165.
- [11] J. Nazir and P. K. Das, "A systematic literature review on factors of perception impacting entrepreneurial success based on PRISMA framework," *J. Innov. Entrep.*, vol. 14, no. 1, 2025, doi: 10.1186/s13731-025-00491-y.
- [12] G. Schryen, M. Marrone, and J. Yang, "Exploring the scope of generative AI in literature review development," *Electron. Mark.*, vol. 35, no. 1, 2025, doi:10.1007/s12525-025-00754-2.
- [13] T. Truong and Q. B. Diep, "Technological Spotlights of Digital Transformation in Tertiary Education," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 40954–40966, 2023, doi:10.1109/ACCESS.2023.3270340.
- [14] M. H. Widiyanto and B. Juarto, "Smart Farming Using Robots in IoT to Increase Agriculture Yields: A Systematic Literature Review," *J. Robot. Control*, vol. 4, no.3, pp. 330–341, 2023, doi: 10.18196/jrc.v4i3.18368.
- [15] F. Tahiru, S. Parbanath, and S. Agbesi, "Machine Learning-based Predictive Systems in Higher Education: A Bibliometric Analysis," *J. Scientometr. Res.*, vol.12, no. 2, pp. 436–447, 2023, doi: 10.5530/jscires.12.2.040.
- [16] O. Oyeboode, J. R. Fowles, D. Steeves, and R. O. Orji, "Machine Learning Techniques in Adaptive and Personalized Systems for Health and Wellness," *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 39, no. 9, pp. 1938–1962, 2023, doi:10.1080/10447318.2022.2089085.
- [17] X. Lun, Y. Wang, Q. Fu, Q. Liu, and T. Wang, "A machine-learning-dependent early warning system for corporate financial crises," *J. Comput. Methods Sci. Eng.*, vol.25, no. 5, pp. 4581–4599, 2025, doi: 10.1177/14727978251337876.
- [18] Y. Wang, G. Li, and S. Zhu, "Graph recurrent neural networks-integrated real-time prediction of key displacements for fire-induced collapse early warning of steel frames," *Appl. Soft Comput.*, vol. 163, 2024, doi: 10.1016/j.asoc.2024.111942.