

PERKEMBANGAN KAJIAN SISTEM MULTI-AGEN DAN JARINGAN SENSOR TERDESENTRALISASI: SEBUAH STUDI LITERATUR

Aiga Talia Rosa Br Ginting¹, Nina Dewani², Nur Laila Sari Saragih³, Dicky Apdilah⁴

^{1,2,3,4}Prodi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Asahan

Email: aigataliarosa313@gmail.com¹, ninadewani01@gmail.com², nurlaila91717@gmail.com³, dicky@nusa.net.id⁴

Published: Juli, 2026

ABSTRACT

The rapid advancement of information and communication technology has driven a paradigm shift from centralized computing toward distributed and autonomous systems. Two core concepts serving as the pillars of this transformation are Multi-Agent Systems (MAS) and Decentralized Sensor Networks. This study aims to map, analyze, and synthesize the scientific development regarding the integration of these two domains, while incorporating modern artificial intelligence techniques such as Machine Learning (ML), Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, and Autonomous AI Agent. The methodology employs a descriptive-qualitative literature review by examining 12 key reference sources consisting of 9 scientific journals (2016–2025) and 3 fundamental textbooks. The results indicate that Machine Learning achieves prediction accuracy up to 94% using the Decision Tree algorithm, the ABC algorithm proves effective in optimization with an average silhouette coefficient of 0.67 and ABC-BPNN classification accuracy of 93.9%, and Autonomous AI Agents can increase operational efficiency by up to 40% and reduce production time by 30%. These three approaches provide significant contributions to the development of robust, adaptive, and efficient decentralized systems to support digital transformation in Indonesia.

Keywords: Multi-Agent Systems, Decentralized Sensor Networks, Machine Learning, Artificial Bee Colony, Autonomous AI Agent, Literature Study, Digital Transformation.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi informasi telah mendorong pergeseran paradigma dari sistem komputasi terpusat menuju sistem yang terdistribusi dan mandiri. Dua konsep utama yang menjadi pilar transformasi ini adalah Sistem Multi-Agen (Multi-Agent Systems/MAS) dan Jaringan Sensor Terdesentralisasi (Decentralized Sensor Networks). Penelitian ini bertujuan untuk memetakan, menganalisis, dan menyintesis perkembangan kajian ilmiah mengenai integrasi kedua domain tersebut, dengan mengintegrasikan teknik-teknik kecerdasan buatan modern seperti Machine Learning (ML), Algoritma Artificial Bee Colony (ABC), dan Autonomous AI Agent. Metode yang digunakan adalah Studi Literatur Deskriptif-Kualitatif dengan menelaah 12 sumber referensi utama yang terdiri dari 9 jurnal ilmiah (2016–2025) dan 3 buku teks fundamental. Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan Machine Learning mampu mencapai akurasi prediksi hingga 94% menggunakan algoritma Decision Tree, algoritma Artificial Bee Colony terbukti efektif dalam optimasi dengan rata-rata nilai silhouette coefficient 0,67 dan akurasi klasifikasi ABC-BPNN mencapai 93,9%, serta Autonomous AI Agent mampu meningkatkan efisiensi operasional hingga 40% dan mengurangi waktu produksi sebesar 30%. Ketiga pendekatan ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem terdesentralisasi yang tangguh, adaptif, dan efisien untuk mendukung transformasi digital di Indonesia.

Kata Kunci: Sistem Multi-Agen, Jaringan Sensor Terdesentralisasi, Machine Learning, Artificial Bee Colony, Autonomous AI Agent, Studi Literatur, Transformasi Digital.

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

PENDAHULUAN

Di era modern yang ditandai dengan ledakan volume data dan interkoneksi perangkat, tuntutan terhadap sistem komputasi yang tangguh, adaptif, dan efisien menjadi semakin mendesak. Sistem komputasi tradisional yang mengandalkan arsitektur terpusat mulai menghadapi batasan yang signifikan, terutama ketika dihadapkan pada masalah skala besar, risiko kegagalan titik tunggal (single point of failure), dan keterbatasan bandwidth komunikasi. Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, paradigma komputasi terdistribusi dan terdesentralisasi muncul sebagai fokus utama riset sains komputer dan teknik elektro.

Sistem Multi-Agen (MAS) merupakan lingkungan komputasi di mana beberapa agen otonom saling berinteraksi dan bekerja sama untuk mencapai tujuan tertentu. Di sisi lain, Jaringan Sensor Terdesentralisasi merepresentasikan infrastruktur fisik yang terdiri dari node-node sensor tersebar secara geografis dengan kemampuan pemrosesan komputasi lokal. Untuk mengoptimalkan kinerja sistem terdesentralisasi ini, dibutuhkan teknik kecerdasan buatan modern yang mencakup Machine Learning, Algoritma Artificial Bee Colony, dan Autonomous AI Agent.

Machine Learning telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi prediksi dan klasifikasi di Indonesia. Wardhana et al. (2023) menunjukkan bahwa algoritma Decision Tree mampu memprediksi tingkat kasus penyakit dengan akurasi 83–94%. Sementara itu, Diana et al. (2023) mengidentifikasi peran Machine Learning dalam monitoring pendidikan yang memungkinkan pembelajaran yang lebih personal dan efisien. Musthafa et al. (2025) juga membuktikan kemampuan ML dalam menganalisis sentimen publik terhadap kebijakan TAPERA dengan akurasi SVM mencapai 88%.

Algoritma Artificial Bee Colony (ABC) sebagai bagian dari kecerdasan kawanan (swarm intelligence) memberikan kontribusi besar dalam optimasi sistem terdesentralisasi. Furqan et al. (2022) berhasil menerapkan ABC untuk mengoptimalkan rute distribusi pipa air bersih, sedangkan Abidin et al. (2025) membuktikan bahwa ABC-BPNN mencapai akurasi 93,9% dalam klasifikasi diabetes, lebih unggul dibandingkan metode konvensional. Nugroho et al. (2016) juga menunjukkan keunggulan ABCKM dengan rata-rata nilai silhouette 0,667 dibandingkan K-means biasa.

Autonomous AI Agent sebagai sistem cerdas yang mampu bertindak secara otonom menjadi komponen kunci dalam mendukung efisiensi automasi digital. Robani et al. (2025) menemukan bahwa AI Agent dapat meningkatkan efisiensi operasional hingga 40% dan mengurangi waktu produksi sebesar 30%. Negnevitsky (2025) menjelaskan bahwa arsitektur Autonomous AI Agent terdiri dari empat lapisan: persepsi, kognisi, aksi, dan memori/adaptasi yang memungkinkan sistem bekerja secara mandiri dalam lingkungan yang kompleks.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Memetakan perkembangan kajian Sistem Multi-Agen dan Jaringan Sensor Terdesentralisasi berdasarkan literatur ilmiah terkini.
2. Menganalisis kontribusi Machine Learning, Artificial Bee Colony, dan Autonomous AI Agent dalam optimasi dan automasi digital.
3. Mengidentifikasi tren dan peluang penelitian masa depan dalam pengembangan sistem terdesentralisasi yang cerdas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode Studi Literatur Deskriptif yang bertujuan untuk memetakan, menganalisis, dan menyintesis perkembangan teori serta aplikasi Sistem Multi-Agen (MAS) dan Jaringan Sensor Terdesentralisasi dari perspektif teknik kecerdasan buatan modern.

2.1 Korpus Literatur

Subjek utama dalam penelitian ini berupa dokumen ilmiah formal yang dipilih secara purposive sampling. Korpus data terdiri dari 12 sumber referensi otoritatif yang dikelompokkan ke dalam dua kategori:

- 9 Jurnal Ilmiah: Publikasi nasional dan internasional tahun 2016–2025 yang membahas Machine Learning, Artificial Bee Colony, dan Autonomous AI Agent.

- 3 Buku Teks Fundamental: Referensi utama di bidang kecerdasan buatan, algoritma ABC, dan Machine Learning.

Tabel 1. Distribusi Literatur Berdasarkan Tema

No	Tema	Jumlah Jurn	Jumlah Buk	Total
1	Machine Learning	3	1	4
2	Artificial Bee Colony	3	1	4
3	Autonomous AI Agent	2	1	3
4	ML + Sentimen	1	–	1
Total		9	3	12

2.2 Tahapan Analisis

Pelaksanaan studi literatur diorganisasikan ke dalam empat tahapan sistematis:

1. Tahap Identifikasi: Mengumpulkan dan memverifikasi keaslian bibliografi dari 12 referensi kunci serta memetakan garis waktu publikasinya.
2. Tahap Telaah Dokumen: Melakukan pembacaan mendalam untuk mengekstrak premis teoretis, arsitektur sistem, dan hasil penelitian dari setiap literatur.
3. Tahap Pengelompokkan: Mengklasifikasikan materi ke dalam sub-tema: Machine Learning, Artificial Bee Colony, Autonomous AI Agent, dan integrasi ketiganya.
4. Tahap Sintesis: Menyintesis hasil temuan ke dalam narasi ilmiah yang utuh dengan sitasi standar APA Style.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis mendalam terhadap 12 referensi utama, hasil penelitian menunjukkan bahwa perkembangan kajian Sistem Multi-Agen (MAS) dan Jaringan Sensor Terdesentralisasi sangat erat kaitannya dengan kemajuan teknik kecerdasan buatan modern, khususnya Machine Learning, Artificial Bee Colony, dan Autonomous AI Agent.

3.1 Fondasi Teoretis: Keputusan Statistik dan Komputasi Paralel

Akar dari fungsionalitas jaringan terdesentralisasi dan agen otonom terletak pada bagaimana sebuah entitas mengambil keputusan di tengah ketidakpastian lingkungan. Russell & Norvig (2021) dalam *Artificial Intelligence: A Modern Approach* menjelaskan bahwa agen cerdas harus mampu memproses informasi secara efisien untuk menghasilkan keputusan yang optimal. Kerangka kerja ini menjadi fondasi utama bagi pengembangan Machine Learning sebagai teknik pembelajaran berbasis data yang memungkinkan sistem belajar dari pengalaman tanpa harus diprogram secara eksplisit.

Komputasi paralel dan terdistribusi menjadi jembatan penting dalam evolusi ini. Prinsip-prinsip sinkronisasi data, konvergensi algoritma terdistribusi, dan mitigasi delay komunikasi menjadi landasan operasional utama bagi pengembangan Jaringan Sensor Terdesentralisasi. Géron (2022) dalam *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow* menegaskan bahwa implementasi ML modern memanfaatkan komputasi paralel untuk memproses dataset berskala besar secara efisien.

3.2 Penerapan Machine Learning dalam Sistem Terdesentralisasi

Machine Learning memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan kemampuan prediksi dan klasifikasi pada sistem terdesentralisasi. Wardhana et al. (2023) melakukan penelitian penerapan ML untuk memprediksi tingkat kasus penyakit di Indonesia menggunakan dataset Profil Kesehatan Indonesia 2016–2021. Hasil perbandingan akurasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Akurasi Algoritma ML dalam Prediksi Penyakit

Algoritma	Tuberculosis	Diare	DBD	Malaria	Kusta	Difteri
Logistic Regression	0,75	0,50	0,75	0,67	0,69	0,82

Random Forest	0,75	0,91	0,81	0,78	0,72	0,82
SVM	0,75	0,52	0,78	0,67	0,69	0,82
Decision Tree	0,83	0,94*	0,83*	0,81*	0,72	0,65
XGBoost	0,80	0,88	0,86	0,78	0,72	0,80

*Nilai akurasi tertinggi pada jenis penyakit tersebut

Selain prediksi penyakit, Diana et al. (2023) mengkaji pemanfaatan Machine Learning dalam monitoring kegiatan belajar mengajar di SMK Bina Sriwijaya Palembang. Penelitian ini mengidentifikasi empat keunggulan utama ML dalam pendidikan: (1) pembelajaran yang dipersonalisasi sesuai kebutuhan individu siswa, (2) analisis konten otomatis untuk memastikan kualitas materi pembelajaran, (3) penilaian otomatis yang mengurangi beban kerja guru, dan (4) pemantauan kemajuan siswa secara individual dan berkelanjutan.

Musthafa et al. (2025) mengaplikasikan ML untuk analisis sentimen terhadap program TAPERA menggunakan 2.936 komentar dari platform media sosial X. Hasil evaluasi menggunakan confusion matrix disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Performa SVM dan Random Forest

Metrik	SVM	Random Forest
Akurasi	88%*	86%
Presisi	89%*	88%
Recall	88%*	86%
F1-Score	88%*	86%

*SVM menunjukkan performa lebih unggul

3.3 Algoritma Artificial Bee Colony dalam Optimasi Jaringan

Algoritma Artificial Bee Colony (ABC) yang terinspirasi dari perilaku koloni lebah dalam mencari sumber makanan (Karaboga, 2005) memberikan solusi efektif untuk permasalahan optimasi dalam sistem terdesentralisasi. ABC memiliki kemampuan pencarian global yang kuat dan mampu menghindari jebakan lokal optima, menjadikannya sangat relevan untuk optimasi jaringan sensor.

Furqan et al. (2022) menerapkan ABC untuk mengoptimalkan rute jalur terpendek distribusi pipa air bersih pada PDAM Tirtanadi Cabang Medan Denai. Dataset terdiri dari 8 titik pemasangan rumah pelanggan dan 1 titik Instalasi Pengolahan Air (IPA). Algoritma ABC berhasil menemukan rute optimal $V1 \rightarrow V7 \rightarrow V4 \rightarrow V9 \rightarrow V8 \rightarrow V2 \rightarrow V6 \rightarrow V3 \rightarrow V5$ dengan total jarak yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional.

Abidin et al. (2025) mengusulkan ABC untuk mengoptimalkan bobot awal Neural Network Backpropagation (BPNN) dalam klasifikasi penyakit diabetes menggunakan dataset Pima India dari UCI Machine Learning Repository. Perbandingan hasil disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Akurasi Metode Klasifikasi Diabetes

Metode	MSE	Akurasi
Neural Network Tuning Parameter	16,00	84,00%
Fuzzy Modified-ABC	17,32	82,68%
ABC-BPNN (Penelitian ini)	6,11	93,90%*

*Akurasi tertinggi dengan MSE terendah

Nugroho et al. (2016) mengimplementasikan ABC untuk pemilihan centroid pada algoritma K-means (ABCKM) menggunakan lima dataset berbeda. Hasil evaluasi menggunakan Silhouette coefficient disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata Nilai Silhouette ABCKM vs K-means

Dataset	ABCKM	K-means
Crime Rate	0,479	0,476
Dow Jones Index	0,802*	0,771
Wholesale Customer	0,645*	0,606
Birth and Death Rates	0,741*	0,715
Rata-rata Total	0,667*	0,642

*ABCKM lebih unggul dari K-means konvensional

3.4 Autonomous AI Agent dalam Automasi Sistem Terdesentralisasi

Autonomous AI Agent merupakan evolusi tertinggi dari sistem terdesentralisasi, di mana agen tidak hanya mengumpulkan dan memproses data, tetapi juga mampu mengambil keputusan dan bertindak secara otonom. Negnevitsky (2025) menjelaskan arsitektur Autonomous AI Agent terdiri dari empat lapisan utama:

1. Perception Layer: Lapisan persepsi yang mengintegrasikan Computer Vision, Natural Language Processing (NLP), dan Sensor Fusion untuk membangun pemahaman real-time tentang lingkungan.
2. Cognitive Layer: Lapisan kognitif yang menggunakan Reinforcement Learning, Meta-learning, dan Neural-Symbolic Integration untuk pengambilan keputusan strategis.
3. Action Layer: Lapisan aksi yang mengeksekusi keputusan melalui Robotic Actuation, API-based Execution, dan Multi-agent Communication.
4. Memory and Adaptation Layer: Lapisan memori yang memungkinkan agen belajar dari pengalaman dan beradaptasi terhadap perubahan lingkungan secara berkelanjutan.

Robani et al. (2025) melakukan kajian literatur sistematis terhadap 28 artikel ilmiah mengenai peran AI Agent dalam efisiensi automasi digital. Temuan utama disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Temuan Utama Penerapan AI Agent dalam Automasi Digital

No	Aspek	Temuan
1	Efisiensi Operasional	Peningkatan hingga 40%
2	Waktu Produksi	Pengurangan hingga 30%
3	Efisiensi RPA	Peningkatan 60–80%
4	Biaya Operasional	Penurunan 30–40%
5	Perusahaan dengan kendala integrasi	47% menghadapi tantangan
6	Multi-agent system efficiency	85% studi menunjukkan peningkatan

3.5 Analisis Integrasi Ketiga Pendekatan

Berdasarkan kajian terhadap seluruh literatur, ditemukan bahwa Machine Learning, Artificial Bee Colony, dan Autonomous AI Agent memiliki potensi integrasi yang sangat besar dalam pengembangan sistem terdesentralisasi. Tabel 7 menyajikan potensi kombinasi ketiganya.

Tabel 7. Potensi Integrasi ML, ABC, dan AI Agent

Kombinasi	Potensi Aplikasi	Manfaat
ML + ABC	Optimasi hyperparameter model ML	Peningkatan akurasi model secara otomatis

ML + AI Agent	Sistem prediksi otonom	Pengambilan keputusan real-time
ABC + AI Agent	Optimasi perencanaan age	Efisiensi pencarian solusi jaringan
ML + ABC + AI Ager	Sistem cerdas terpadu	Solusi komprehensif transformasi digital

Tabel 8. Ringkasan Performa Ketiga Pendekatan

Pendekatan	Metrik Utama	Nilai Terbaik	Aplikasi Terbaik
Machine Learning	Akurasi	94% (Decision Tree)	Klasifikasi & Prediksi
Artificial Bee Colony	Silhouette / Akurasi	0,802 / 93,9%	Optimasi & Clustering
Autonomous AI Ager	Efisiensi Operasional	+40%	Automasi Digital

KESIMPULAN

Berdasarkan studi literatur yang mendalam terhadap 12 referensi utama (9 jurnal dan 3 buku), penelitian ini menyimpulkan tiga hal mendasar:

- Machine Learning telah berhasil diterapkan secara luas di Indonesia dengan tingkat akurasi tinggi mencapai 94% menggunakan algoritma Decision Tree (Wardhana et al., 2023). Penerapannya mencakup prediksi penyakit, monitoring pendidikan (Diana et al., 2023), dan analisis sentimen kebijakan publik (Musthafa et al., 2025), menjadikannya komponen krusial dalam sistem pengambilan keputusan berbasis data.
- Algoritma Artificial Bee Colony terbukti efektif sebagai metode optimasi unggul dalam berbagai permasalahan kompleks. ABC-BPNN mencapai akurasi 93,9% dalam klasifikasi diabetes (Abidin et al., 2025), ABCKM menghasilkan rata-rata silhouette 0,667 lebih baik dari K-means konvensional (Nugroho et al., 2016), dan ABC berhasil mengoptimalkan rute distribusi jaringan pipa air bersih (Furqan et al., 2022).
- Autonomous AI Agent memiliki potensi transformatif dalam mendukung automasi digital dengan kemampuan meningkatkan efisiensi operasional hingga 40% (Robani et al., 2025; Negnevitsky, 2025). Integrasi arsitektur empat lapisan (persepsi, kognisi, aksi, dan memori) memungkinkan sistem bekerja secara otonom dan adaptif dalam lingkungan yang dinamis dan kompleks.

Saran

Dari hasil sintesis literatur yang telah dilakukan, beberapa saran akademik dan praktis dapat diajukan untuk penelitian selanjutnya:

- Bagi Peneliti Akademik: Penelitian berikutnya dapat mengintegrasikan konsep Internet of Things (IoT) dan Edge Computing dengan pendekatan ML, ABC, dan AI Agent untuk menghasilkan sistem terdesentralisasi yang lebih efisien dan responsif.
- Bagi Pengembang Sistem: Dalam merancang arsitektur multi-agen, disarankan untuk mengoptimalkan kombinasi algoritma ABC dengan ML untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi sistem secara bersamaan.

- Bagi Metodologi Penelitian: Pendekatan studi literatur ini dapat diperdalam menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan protokol PRISMA dan Kitchenham untuk memetakan volume publikasi secara lebih masif, terstruktur, dan sistematis.

REFERENCES

- Abidin, Z., Pramunendar, R. A., Asy'ari, F. H., & Bijanto. (2025). Penerapan algoritma artificial bee colony untuk optimasi bobot awal pada neural network backpropagation dalam klasifikasi penyakit diabetes. *Jurnal Edukasi Elektromatika (JEE)*, 6(1), 11–22.
- Diana, R., Warni, H., & Sutabri, T. (2023). Penggunaan teknologi machine learning untuk pelayanan monitoring kegiatan belajar mengajar pada SMK Bina Sriwijaya Palembang. *JUTEKIN: Jurnal Teknik Informatika*, 11(1), 41–50. <https://doi.org/10.51530/jutekin.v11i1.709>
- Furqan, M., Nasution, Y. R., & Khairunnisa. (2022). Penerapan algoritma artificial bee colony untuk optimasi rute jalur terpendek distribusi pipa air bersih. *JOMLAI: Journal of Machine Learning and Artificial Intelligence*, 1(2), 125–132. <https://doi.org/10.55123/jomlai.v1i2.768>
- Géron, A. (2022). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow* (3rd ed.). O'Reilly Media.
- Karaboga, D. (2005). An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Computer Engineering Department, Erciyes University.
- Musthafa, A., Harmini, T., Rafiq, A., & Marantika, N. (2025). Pemanfaatan machine learning dalam menganalisis sentimen terhadap program TAPERA di platform digital X. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(2), 587–597. <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i2.1801>
- Negnevitsky, M. (2025). The rise of autonomous AI agents: Automating complex tasks. *International Journal of Artificial Intelligence for Science*, 1(2), 1–13. <https://doi.org/10.63619/ijai4s.v1i2.007>
- Nugroho, A. B., Purwitasari, D., & Fatichah, C. (2016). Implementasi artificial bee colony untuk pemilihan titik pusat pada algoritma K-means. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), A608–A613.
- Robani, M. T., Aderiyana, F. R., Manahan, N. S., Wilantara, M. P., Fathoni, & Ibrahim, A. (2025). Analisis literatur mengenai peran AI agent dalam efisiensi automasi digital. *JOISIE: Journal of Information Systems and Informatics Engineering*, 9(1), 77–90.
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
- Wardhana, R. G., Wang, G., & Sibuea, F. (2023). Penerapan machine learning dalam prediksi tingkat kasus penyakit di Indonesia. *Journal of Information System Management (JOISM)*, 5(1), 40–47.