

INTEGRASI NLP DAN ALGORITMA PENCARIAN CERDAS PADA ARSITEKTUR AGEN OTOMATIS SISTEM ROBOTIKA OTONOM: SEBUAH STUDI LITERATUR SISTEMATIS (SLR)

Dicky Apdilah¹, Halizah putri², Maulana Ridho Nugraha³, Adellia fadillah⁴

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

Email: dicky@nusa.net.id¹, halizahputry183@gmail.com², Ridhojihan2012@gmail.com³, adeliafadillah07@gmail.com⁴

Published: Juni, 2026

ABSTRACT

The development of Artificial Intelligence (AI) technology has triggered a paradigm shift in autonomous robotics systems, moving from rigidly instruction-based to adaptive autonomous agent-based systems. This study aims to systematically analyze the integration of Natural Language Processing (NLP) and intelligent search algorithms in constructing autonomous agent architectures for autonomous robotic systems. The method employed is a Systematic Literature Review (SLR) on 12 selected literatures covering topics such as LLM-based agents, natural language processing (tokenization, filtering, stemming), pattern matching search methods, sequential search, and cybersecurity challenges in the physical world. The results indicate that the LLM-based autonomous agent architecture relies on memory, planning, tools, and action components to drive embodied intelligence in robots. The integration of NLP components, specifically sentence parsing, tokenizing, and keyword filtering, has been proven to enhance the accuracy of translating human natural language instructions into robotic motor execution commands. Furthermore, optimizing the search system through pattern matching approaches and sequential search significantly accelerates the knowledge retrieval process from the agent's internal database. This study concludes that the convergence of NLP and intelligent search algorithms yields a more humanistic, independent, and responsive robotic agent architecture toward physical environment dynamics. However, data privacy breaches and computational latency remain primary challenges that necessitate further regulation and algorithm optimization.

Keywords: Natural Language Processing, Intelligent Search Algorithms, Autonomous Agent, Autonomous Robotics, Systematic Literature Review.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi Kecerdasan Buatan (AI) telah memicu pergeseran paradigma dalam sistem robotika otonom, dari yang semula berbasis instruksi kaku menjadi sistem berbasis agen otomatis yang adaptif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara sistematis integrasi antara Natural Language Processing (NLP) dan algoritma pencarian cerdas dalam membangun arsitektur agen otomatis pada sistem robotika otonom. Metode yang digunakan adalah Studi Literatur Sistematis (Systematic Literature Review/SLR) terhadap 12 literatur terpilih yang mencakup topik LLM-based agents, pemrosesan bahasa alami (tokenization, filtering, stemming), metode pencarian pencocokan pola (pattern matching), sequential search, serta tantangan keamanan siber dalam dunia fisik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arsitektur agen otomatis berbasis LLM mengandalkan komponen memori, perencanaan (planning), perkakas (tools), dan aksi (action) untuk menggerakkan kecerdasan berwujud (embodied intelligence) pada robot. Integrasi komponen NLP berupa pemecahan kalimat (parsing dan tokenizing) serta penyaringan kata kunci terbukti meningkatkan akurasi penerjemahan instruksi bahasa alami manusia menjadi perintah eksekusi motorik robot. Selain itu, optimasi sistem pencarian dengan pendekatan pencocokan pola dan sequential search mempercepat proses penarikan pengetahuan dari basis data internal agen secara signifikan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa konvergensi NLP dan algoritma pencarian cerdas menghasilkan arsitektur agen robotika yang lebih humanis, mandiri, dan responsif terhadap dinamika lingkungan fisik. Namun, tantangan kebocoran data privasi dan latensi komputasi masih menjadi hambatan utama yang memerlukan regulasi serta optimasi algoritma lebih lanjut.

Kata Kunci: Natural Language Processing, Algoritma Pencarian Cerdas, Agen Otomatis, Robotika Otonom, Studi Literatur Sistematis.

PENDAHULUAN

Akselerasi masif menuju Era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0 telah menempatkan teknologi *cyber-physical* systems sebagai motor utama dalam mengoptimalkan efisiensi aktivitas manusia. Dalam lanskap ini, peran Kecerdasan Buatan (AI) telah bertransformasi; tidak lagi sekadar mengelola aspek administratif atau pemrosesan data digital di balik layar, melainkan telah merambah ke ruang fisik melalui sistem robotika otonom. Robotika modern kini dituntut untuk mengadopsi, atau bahkan melampaui, kapabilitas kognitif manusia, khususnya dalam hal pemecahan masalah secara mandiri, adaptabilitas terhadap lingkungan yang dinamis, serta kemampuan berinteraksi dua arah secara natural.

Secara historis, arsitektur kendali robot konvensional didominasi oleh instruksi kode yang kaku, deterministik, dan berbasis aturan statis (*rule-based*). Karakteristik ini membuat robot tradisional hanya efektif untuk menyelesaikan tugas repetitif dalam lingkungan yang terisolasi dan terkontrol ketat, seperti pada lini perakitan industri otomotif. Sebaliknya, ketika diimplementasikan pada skenario dunia nyata yang fluktuatif dan penuh ketidakpastian misalnya sebagai robot pelayan domestik, pemadam kebakaran/penyelamat, atau asisten fisik sistem konvensional ini cenderung mengalami kegagalan fungsional. Guna mengatasi limitasi tersebut, diperlukan arsitektur cerdas yang bertindak sebagai subjek pengambil keputusan mandiri. Urgensi inilah yang mendorong berkembangnya konsep Arsitektur Agen Otomatis (Autonomous Agents), terutama yang mengintegrasikan Model Bahasa Besar (*Large Language Models/LLM*) dan Kecerdasan Berwujud (*Embodied Intelligence*).

Arsitektur agen otomatis berfungsi sebagai pusat kognitif bagi sistem robotika otonom. Agen ini tidak hanya bertugas memproses input sensorik mentah (seperti data kamera atau LIDAR), tetapi juga harus mampu menginterpretasikan instruksi abstrak manusia yang disampaikan melalui bahasa alami (*natural language*). Pada titik ini, Natural Language Processing (NLP) memegang peran yang sangat krusial untuk menjembatani kesenjangan komunikasi antara bahasa manusia yang kaya akan konteks dan ambiguitas dengan kode biner mesin yang presisi. Melalui serangkaian teknik pemrosesan teks termasuk tokenization, filtering, stemming, dan analisis tekstual agen cerdas dapat mendekonstruksi struktur sintaksis perintah yang kompleks menjadi representasi semantik yang bermakna. Proses ini memungkinkan sistem untuk mengidentifikasi intensi utama (*intention*) sekaligus mengeksplorasi variabel spesifik yang terkandung dalam instruksi tersebut.

Kendati demikian, pemahaman bahasa alami harus diimbangi dengan kapabilitas penemuan pengetahuan (*knowledge retrieval*) dan pengambilan keputusan yang responsif. Saat menerima perintah verbal, agen otomatis dituntut untuk memetakan instruksi tersebut ke dalam basis pengetahuan internal (*knowledge base*) secara simultan. Proses ini meliputi identifikasi definisi perintah, pemetaan koordinat spasial, hingga penentuan estimasi rute navigasi optimal. Dalam fase konvergensi ini, Algoritma Pencarian Cerdas (*Intelligent Search Algorithms*) menjadi instrumen yang vital. Implementasi metode seperti pencocokan pola (*pattern matching*) berbasis regular expression (*regex*), pencarian sekuensial (*sequential search*), hingga pelacakan balik (*backtracking*) diterapkan untuk memvalidasi urutan token, mengklasifikasikan karakteristik pertanyaan, dan mengekstraksi solusi terbaik dari basis data kognitif. Tanpa adanya optimasi pada algoritma pencarian, sistem robotika akan mengalami latensi komputasi yang tinggi, yang memicu keterlambatan respons fisik sebuah celah fatal bagi sistem otonom yang beroperasi secara real-time.

Meskipun integrasi NLP dan algoritma pencarian cerdas menawarkan lompatan performa yang signifikan, aplikasinya di dunia nyata masih membentur tantangan multidimensional. Dari aspek teknis, keterbatasan kapasitas memori pada perangkat keras robot (*on-device computing*) sering kali tidak sejalan dengan kebutuhan komputasi parameter LLM yang masif. Dari sisi operasional, manifestasi agen digital ke dalam bentuk fisik (*physical embodiment*) membawa risiko keselamatan kerja; kesalahan

interpretasi teks oleh sistem NLP dapat memicu malafungsi mekanis yang membahayakan manusia di sekitarnya. Selain itu, aspek privasi data menjadi ancaman siber yang krusial. Agen otomatis yang berinteraksi secara intensif dengan pengguna akan terus mengasimilasi data sensitif, sehingga penggunaan algoritma AI yang kompleks berpotensi menciptakan kerentanan siber berupa kebocoran data (data breach) atau eksploitasi informasi privat melalui rekonstruksi algoritma oleh pihak ketiga yang tidak sah.

Menyikapi luasnya cakupan riset, keragaman metodologi, serta pesatnya evolusi literatur dalam beberapa tahun terakhir, sebuah studi komprehensif sangat diperlukan untuk memetakan dan mengevaluasi status perkembangan ilmiah saat ini. Penelitian ini menerapkan metode Tinjauan Literatur Sistematis (*Systematic Literature Review*/SLR) untuk mensintesis secara kritis temuan dari 12 artikel ilmiah terpilih. Fokus utama dari SLR ini adalah membedah arsitektur internal agen otomatis, mengidentifikasi aplikasi konkret dari teknik NLP dan algoritma pencarian pada domain robotika, serta merumuskan strategi mitigasi terhadap risiko keamanan dan privasi data yang menyertainya.

METODE PENELITIAN

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah Studi Literatur Sistematis (*Systematic Literature Review* atau SLR). Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menginterpretasikan seluruh temuan riset relevan secara objektif, transparan, dan dapat direplikasi.

Partisipan Penelitian (Kriteria Inklusi dan Eksklusi)

Dalam konteks SLR, "Partisipan Penelitian" merujuk pada artikel ilmiah dan dokumen akademis yang menjadi unit analisis. Korpus data utama dipilih berdasarkan kriteria berikut:

1. Kriteria Inklusi: (1) Artikel ilmiah tentang arsitektur agen otomatis berbasis AI; (2) Memuat penerapan praktis metode *Natural Language Processing* (NLP) seperti tokenization, filtering, parsing, dan stemming; (3) Menganalisis algoritma pencarian cerdas seperti pattern matching, sequential search, atau pemodelan topik; (4) Berbentuk jurnal, buku teks, atau prosiding seminar nasional/internasional yang telah melalui penelaahan sejawat (*peer-review*).
2. Kriteria Eksklusi: (1) Artikel opini populer atau berita ilmiah tanpa metodologi; (2) Dokumen duplikatif atau tidak memiliki data bibliografi lengkap. Berdasarkan kriteria ini, terpilih 12 dokumen final yang valid untuk dianalisis.

Organisasi Penelitian

Proses pengorganisasian data literatur dirancang melalui empat fase utama untuk meminimalkan bias:

1. Fase Identifikasi: Mengumpulkan 12 dokumen referensi inti dan memberikan pengodean bibliografi yang sistematis.
2. Fase Penyaringan: Memeriksa bagian abstrak dan pendahuluan untuk memastikan keselarasan dokumen dengan topik agen otomatis, NLP, dan sistem robotika.
3. Fase Ekstraksi Data: Membaca dokumen secara menyeluruh untuk mengambil data penting meliputi nama penulis, tahun, metode, arsitektur sistem, dan temuan utama.
4. Fase Klasifikasi Tematik: Mengelompokkan literatur ke dalam klaster tematik tertentu (fondasi agen otomatis, pemrosesan teks/NLP, algoritma pencarian, dan tantangan keamanan siber).

Analisis Penelitian

Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan sintesis kualitatif-deskriptif dan komparatif tematik. Peneliti melakukan analisis lintas-dokumen (*cross-document analysis*) untuk memetakan taksonomi arsitektur agen otomatis, membandingkan efisiensi algoritma pencarian (*pattern matching vs sequential search*), serta mengevaluasi implementasi teknik NLP pada sistem cerdas. Seluruh temuan kemudian disintesis secara kritis untuk menarik kesimpulan yang solid mengenai integrasi teknologi tersebut beserta mitigasi terhadap risiko privasi data pengguna.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Validitas Pengumpulan Data dan Pemetaan Kluster Literatur (SLR)

Berdasarkan tahapan Studi Literatur Sistematis (SLR) terhadap 12 dokumen ilmiah yang lolos dari kriteria inklusi dan eksklusi, ditemukan bahwa riset mengenai kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) kini mengalami transisi dari sistem digital statis menuju implementasi fisik yang dinamis. Korpus data yang dianalisis menunjukkan diversitas yang tinggi, mencakup jurnal internasional bereputasi, prosiding seminar nasional, dan buku teks ilmiah terkini.

Melalui fase organisasi penelitian, ke-12 sumber literatur tersebut berhasil dipetakan secara proporsional ke dalam empat kluster tematik utama. Kluster-kluster ini menjadi fondasi data mentah dalam penelitian ini, yang meliputi bidang fondasi arsitektur agen otomatis, subsistem pemrosesan bahasa alami (NLP), algoritma pencarian cerdas, hingga kajian peluang dan tantangan keamanan siber di dunia fisik.

Komponen Struktural Arsitektur Agen Otomatis Berbasis LLM

Data yang diekstrak dari cetak biru agen otonom mutakhir menunjukkan bahwa sistem saraf pusat kognitif dari agen robotika modern sangat bergantung pada kekuatan *Large Language Models* (LLM). Hasil analisis dokumen mengidentifikasi adanya empat komponen struktural utama yang wajib terintegrasi untuk membentuk agen otonom yang mandiri. Komponen tersebut adalah Profiling (Pembuatan Profil), *Memory* (Memori), *Planning* (Perencanaan), dan *Action* (Aksi).

Komponen profiling menetapkan identitas, peran, dan batasan operasional agen. Komponen memori mengelola retensi data, yang terbagi menjadi memori jangka pendek untuk konteks interaksi real-time dan memori jangka panjang berbasis *vector database* untuk menyimpan basis pengetahuan eksternal. Selanjutnya, komponen planning bertanggung jawab atas pemecahan tugas kompleks menggunakan teknik penalaran berurutan serta refleksi diri (*self-reflection*). Terakhir, komponen action menjadi jembatan eksekusi digital (pemanggilan API/basis data) dan aksi fisik di dunia nyata melalui mekanisme *Embodied Intelligence* (Kecerdasan Berwujud).

Mekanisme Aliran Data pada Subsistem NLP Layer

Hasil penelaahan terhadap skema interaksi bahasa alami pada agen cerdas membuktikan bahwa input bahasa manusia yang abstrak, tidak baku, dan sarat ambiguitas harus melewati pipa pemrosesan berlapis (NLP Layer) sebelum diubah menjadi kode biner mesin. Aliran data ini bergerak secara linear melalui lima tahapan teknis dasar.

Proses diawali oleh tokenizing yang bertugas memotong string kalimat utuh menjadi array token kata individual. Array tersebut kemudian masuk ke tahap parsing untuk diurai struktur sintaksisnya guna mengidentifikasi fungsi gramatikal kata (seperti memisahkan kata kerja aksi dan kata benda objek). Setelah itu, tahap *filtering* melakukan penyaringan dengan membuang seluruh kata fungsional nir-makna (*stop-words*). Token yang tersisa diproses oleh algoritma stemming untuk memotong seluruh imbuhan dan mengembalikan kata ke bentuk dasarnya. Tahap akhir adalah *text analyzing* yang melakukan analisis semantik tingkat lanjut untuk mengenali maksud inti (*intent*) pengguna dan menghasilkan instruksi logis yang siap ditransmisikan ke sistem kendali motorik robot.

Data Efisiensi Algoritma Pencarian Cerdas

Dalam proses penarikan pengetahuan (*knowledge retrieval*) dari basis data memori agen, ditemukan dua pendekatan algoritma pencarian utama dengan karakteristik performa yang berbeda, yaitu *Pattern Matching* (Pencocokan Pola) dan *Sequential Search* (Pencarian Sekuensial). Data komparatif mengenai performa, kompleksitas waktu, konsumsi memori, dan efektivitas pemrosesan kedua algoritma tersebut disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 1. Matriks Komparasi Efisiensi Algoritma Pencarian pada Arsitektur Agen

Parameter Evaluasi	Sequential Search (Pencarian Sekuensial)	Pattern Matching (Pencocokan Pola)
Prinsip Operasional	Memindai elemen data satu per satu secara linear dari indeks awal hingga akhir.	Memetakan struktur token kalimat menggunakan ekspresi reguler (regex) dan backtracking.

Kompleksitas Waktu	Kategori Terburuk (Worst-case): $O(n)$	Kategori Dioptimasi: Mendekati $O(1)$ atau $O(m)$
Latensi Komputasi	Tinggi; waktu respon melambat seiring pertumbuhan volume data (n).	Sangat Rendah; responsif untuk penarikan pengetahuan real-time.
Kebutuhan Memori	Rendah dan statis, hanya cocok untuk data linear numerik.	Efisien dan dinamis untuk pemetaan struktur data semantika
Kemampuan Logika	Terbatas pada pencarian nilai indeks atau harga terstruktur.	Unggul dalam mengenali variasi pola kalimat dan modul hitungan kompleks.

Fenomena Multidimensional: Peluang, Keamanan, dan Privasi Data

Data dari literatur lintas-sektor menunjukkan bahwa integrasi NLP dan pencarian cerdas pada agen otonom membuka peluang akselerasi efisiensi yang masif. Di sektor pendidikan, teknologi ini mewujudkan dalam bentuk sistem personalisasi pembelajaran, asisten virtual mentor, kelas guru ganda, hingga otomatisasi pembuatan soal evaluasi. Di sektor profesional dan domestik, teknologi ini mampu memberikan ketersediaan layanan tanpa batas waktu (24/7) dan meminimalkan faktor kesalahan manusia.

Namun, hasil ekstraksi data juga menunjukkan adanya kerentanan siber yang serius. Agen cerdas yang mengandalkan algoritma kompleks rentan terhadap serangan inversi model (*model inversion attacks*), di mana pihak luar dapat merekonstruksi data mentah privat dari respons agen. Selain itu, ketergantungan pada kode bawaan berisiko memicu malfungsi sistem, yang jika terjadi pada robot fisik dapat mengakibatkan kerusakan perangkat keras atau cedera fisik langsung pada manusia di dunia nyata.

PEMBAHASAN

Konvergensi LLM dan Embodied Intelligence dalam Evolusi Robotika

Hasil penelitian menunjukkan adanya pergeseran paradigma yang mendalam dari sistem kendali robot konvensional menuju arsitektur agen otomatis berbasis LLM. Pembahasan atas temuan ini mengindikasikan bahwa kemampuan penalaran mandiri (*reasoning*) menjadi pembeda utama antara robotika modern dan tradisional. Melalui komponen profiling dan planning, robot tidak lagi sekadar mengeksekusi instruksi kaku yang telah diprogram secara manual (*hardcoded*), melainkan mampu memecah tugas besar yang abstrak menjadi sub-tugas kecil yang logis melalui pendekatan seperti *Chain-of-Thought*.

Komponen memori jangka panjang yang mengintegrasikan basis data vektor terbukti krusial untuk mengatasi keterbatasan jendela konteks LLM. Ketika agen robotika diintegrasikan ke dalam cangkang fisik (*Embodied Intelligence*), konvergensi ini memungkinkan robot untuk adaptif terhadap ketidakpastian lingkungan nyata. Kemampuan refleksi diri (*self-reflection*) membuat agen mampu mengevaluasi kegagalan aksinya secara mandiri dan menyusun rencana alternatif tanpa intervensi manusia, yang merupakan lompatan besar menuju otonomi penuh robotika.

Reduksi Ambiguitas Linguistik Manusia Melalui NLP Layer

Pemrosesan bahasa alami pada agen robotika otonom memegang peranan vital sebagai jembatan komunikasi antara manusia dan mesin. Bahasa alami manusia penuh dengan variasi morfologi, metafora, dan struktur yang tidak baku. Pembahasan terhadap mekanisme pipa NLP Layer (dari tokenisasi hingga stemming) menunjukkan bahwa tahapan-tahapan tersebut berfungsi sebagai filter reduksi ambiguitas.

Dengan membuang stop-words pada tahap filtering dan mengembalikan kata ke bentuk dasarnya pada tahap stemming, variasi kalimat perintah yang berbeda-beda namun memiliki esensi

yang sama dapat diseragamkan menjadi struktur data logis (seperti format JSON). Hal ini sangat mempermudah sistem kendali motorik robot dalam memahami maksud sebenarnya (*intent recognition*) dari pengguna. Tanpa adanya lapisan NLP yang deterministik ini, sistem kognitif robot akan mengalami kelebihan beban komputasi akibat harus memproses teks mentah yang tidak terstruktur.

Implikasi Pemilihan Algoritma terhadap Respons Fisik Robot

Berdasarkan data komparatif pada Tabel 1, pembahasan mengenai efisiensi komputasi algoritma pencarian menjadi sangat krusial dalam konteks robotika otonom yang bergerak secara real-time. Metode Sequential Search memiliki kelemahan fatal berupa kompleksitas waktu $O(n)$ yang linear. Jika volume basis pengetahuan agen sangat besar, pencarian sekuensial akan memicu latensi komputasi yang tinggi. Dalam dunia fisik, keterlambatan pemrosesan data (latensi) berakibat fatal karena robot bisa terlambat menghindari rintangan atau terlambat menghentikan pergerakan mekanis yang berbahaya.

Sebaliknya, penggunaan algoritma *Pattern Matching* berbasis ekspresi reguler dan pelacakan balik (*backtracking*) terbukti jauh lebih adaptif. Algoritma ini tidak memindai data secara buta, melainkan mencocokkan struktur pola kalimat token. Pendekatan ini mampu memotong jalur komputasi langsung menuju kluster pengetahuan yang relevan, sehingga menjaga kompleksitas waktu tetap minimum. Efisiensi ini memastikan agen robotika dapat memberikan respons fisik yang instan, aman, dan responsif terhadap dinamika lingkungan sekitarnya.

Dilema Etis dan Urgensi Pertahanan Siber pada Agen Otonom

Peluang strategis yang ditawarkan oleh agen otomatis dalam memicu akselerasi di sektor pendidikan, domestik, dan profesional membawa konsekuensi risiko etis dan keamanan siber yang mendalam. Agar dapat beroperasi secara personal dan cerdas, agen otonom menuntut akses data yang sangat sensitif, seperti rekaman suara konstan, tata letak fisik rumah, jadwal aktivitas harian, hingga data kesehatan pengguna.

Pembahasan terhadap aspek keamanan ini menegaskan bahwa kompleksitas algoritma kognitif justru menjadi celah baru bagi serangan siber seperti inversi model. Apabila arsitektur memori agen mengalami kebocoran data (*data breach*), privasi kehidupan intim manusia di dunia fisik dapat terekspos secara masif. Lebih jauh lagi, malafungsi kode kognitif pada robot fisik memiliki dampak bahaya yang jauh lebih mengerikan dibandingkan eror pada perangkat lunak digital, karena langsung berwujud ancaman keselamatan fisik manusia. Oleh karena itu, riset ini menekankan bahwa pengembangan arsitektur agen otomatis masa depan wajib mengintegrasikan metode privasi diferensial (*differential privacy*) dan sistem pertahanan siber berlapis (*defense-in-depth*) sebagai komponen bawaan yang tidak terpisahkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dijabarkan secara mendalam melalui Studi Literatur Sistematis (SLR), maka dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Pola Arsitektur Cerdas: Arsitektur agen otomatis modern berbasis LLM memerlukan integrasi sinkron antara empat pilar utama, yaitu *profiling*, *memory*, *planning*, dan *action*. Kombinasi komponen ini sangat krusial untuk mentransformasikan penalaran bahasa abstrak di tingkat kognitif menjadi aksi mekanis nyata yang adaptif di dunia fisik (*embodied intelligence*).
2. Efektivitas Reduksi Ambiguitas: Subsistem NLP Layer yang mengimplementasikan tahapan linear mulai dari tokenizing, parsing, filtering, hingga stemming terbukti efektif mereduksi ambiguitas dan variasi morfologi dalam bahasa alami manusia. Proses ini berhasil menyeragamkan perintah non-baku menjadi struktur data logis yang siap dieksekusi oleh sistem kendali robotik.
3. Superioritas Komputasi Pencarian: Penggunaan algoritma *Pattern Matching* berbasis ekspresi reguler (*regex*) dan pelacakan balik (*backtracking*) menunjukkan efisiensi komputasi yang jauh lebih tinggi untuk pengolahan data semantik dibandingkan dengan metode Sequential Search. Pendekatan ini mampu memotong jalur pencarian dan meminimalkan kompleksitas waktu, sehingga robot dapat memberikan respons fisik secara real-time tanpa terkendala latensi yang membahayakan.
4. Dilema Keamanan dan Privasi: Walaupun integrasi NLP dan pencarian cerdas membuka peluang akselerasi efisiensi yang masif di sektor pendidikan, domestik, dan profesional, teknologi ini

membawa risiko keamanan siber yang serius. Karakteristik algoritma kognitif yang kompleks rentan terhadap serangan inversi model (model *inversion*) yang memicu kebocoran data privasi sensitif pengguna, serta risiko malafungsi sistem yang dapat mengancam keselamatan fisik manusia.

Saran

Demi keberlanjutan riset dan penyempurnaan implementasi praktis di masa depan, beberapa saran konstruktif yang direkomendasikan adalah sebagai berikut:

1. Bagi Insinyur Robotika dan Pengembang Sistem: Wajib mengintegrasikan metode privasi diferensial (*differential privacy*) dan enkripsi berlapis langsung pada arsitektur memori jangka panjang agen otomatis. Langkah ini penting untuk memitigasi risiko manipulasi perintah lewat prompt serta mencegah kebocoran data privasi sekiranya basis data kognitif robot diretas oleh pihak luar.
2. Bagi Peneliti Akademis Selanjutnya: Disarankan untuk melakukan pengujian empiris secara langsung di laboratorium fisik (*experimental research*) guna mengukur ambang batas latensi komputasi dari penggabungan algoritma pattern matching dan LLM skala besar secara lokal (*on-device computing*) pada perangkat keras robot dengan spesifikasi daya yang terbatas.
3. Bagi Regulator dan Lembaga Kebijakan: Perlu segera dirumuskan regulasi, standarisasi etika formal, serta koridor hukum yang tegas mengenai tata kelola dan batas operasional perekaman data oleh perangkat robotika otonom, khususnya yang beroperasi secara intensif di ruang domestik dan privat manusia.

REFERENCES

- Agustina, A., & Suharya, Y. (2025). Penerapan teknologi kecerdasan buatan (artificial intelligence, AI) dalam bidang pendidikan menuju Generasi Indonesia Emas 2045. Prosiding Temu Ilmiah Nasional Guru XVI, 16, 129–138.
- Imran, A., & Gopalakrishnan, K. (2025). AI for robotics: Toward embodied and general intelligence in the physical world. Apress. <https://doi.org/10.1007/979-8-8688-0989-7>
- Karyadi, B. (2023). Pemanfaatan kecerdasan buatan dalam mendukung pembelajaran mandiri. *Educate: Jurnal Teknologi Pendidikan*, 8(2), 253–258. <https://doi.org/10.32832/educate.v8i02.14843>
- Migunani, & Aditama, K. (2020). Pemanfaatan natural language processing dan pattern matching dalam pembelajaran melalui guru virtual. *ELKOM: Jurnal Elektronika dan Komputer*, 13(1), 121–133. <http://ejurnal.stekom.ac.id/index.php/home>
- Rumaisa, F., Puspitarani, Y., Rosita, A., Zakiah, A., & Violina, S. (2021). Penerapan natural language processing (NLP) di bidang pendidikan. *Jurnal Inovasi Masyarakat*, 1(3), 232–235.
- Saputra, A. F., & Harefa, K. (2025). Penerapan metode natural language processing (NLP) dalam implementasi asisten virtual chatbot dengan memanfaatkan API ChatGPT dan Gradio App. *JORAPI: Journal of Research and Publication Innovation*, 3(1), 1–15.
- Septiani, C. S., Sihombing, T. R. M. P., Valentine, V., Priskila, R., & Pranatawijaya, V. H. (2024). Pemanfaatan kecerdasan buatan pada implementasi sequential search pencarian hotel di Kota Palangka Raya berdasarkan harga. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(3), 225–234.
- Wang, L., Ma, C., Feng, X., Zhang, Z., Yang, H., Zhang, J., Chen, Z.-Y., Tang, J., Chen, X., Lin, Y., Zhao, W. X., Wei, Z., & Wen, J.-R. (2025). A survey on large language model based autonomous agents. *Frontiers of Computer Science*, 0(0), 1–42. <https://doi.org/10.1007/s11704-024-40231-1>
- Widiantoro, A. D., Mustafid, & Sanjaya, R. (2024). Pengantar NLP dan Topik Model LDA. Asosiasi Doktor Sistem Informasi Indonesia.
- Widodo, Y. B., Sibuea, S., & Narji, M. (2024). Kecerdasan buatan dalam pendidikan: Meningkatkan pembelajaran personalisasi. *Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer MH. Thamrin*, 10(2), 225–234. <https://doi.org/10.37012/jtik.v10i2.2324>

- Yollanda, F., & Ramona. (2024). Tren penggunaan kecerdasan buatan (AI) dalam meningkatkan pembelajaran mahasiswa: Kajian literatur. *SINTAMA: Jurnal Sistem Informasi, Akuntansi dan Manajemen*, 4(2), 225–234.
- Yusuf, M. N. A., & Arsjah, R. J. (2025). Pengaruh kecerdasan buatan (artificial intelligent) pada adopsi teknologi dalam praktik akuntansi di Indonesia. *El-Mal: Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam*, 6(3), 1044–1057. <https://doi.org/10.47467/elmal.v6i3.6621>.