Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X **(Printed)**
6 (2) 2026, Page: 37177-37184

Perkembangan Dan Aplikasi Algoritma Kecerdasan Cerdas Dalam Menyelesaikan Masalah Optimasi Kombinatorial Dan Pengenalan Pola

Renti Siahaan[1], Natalie Audrey Simanjuntak[2], Citra Friska Della Andini[3], Dicky Apdilah[4]
Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Asahan

Email: rentisiahaan224@gmail.com[1] , odeode876@gmail.com[2] , citrafriskadellaandhini@gmail.com[4]

Published: July, 2026

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze, integrate, and evaluate the effectiveness of computational intelligence algorithms development in solving combinatorial optimization and pattern recognition problems. The materials and methods used are based on a structured meta-analysis approach of 12 scientific literatures covering the implementation of bio-inspired, heuristic-metaheuristic, and Artificial Neural Network (ANN) algorithms in the domains of Traveling Salesman Problem (TSP), economic dispatch, and visual pattern classification. The results of comparative analysis show that population-based algorithms (ACO, PSO, FA) have global convergence advantages and effectively avoid local optimum traps compared to local search algorithms. Real implementation of the Nearest Neighbor method successfully generates a significant logistics distribution distance reduction up to 19.1%. Meanwhile, ANN architectures (Backpropagation, RBF, LVQ) prove adaptive non-linear reasoning capabilities with visual pattern recognition accuracy ranging from 68% to 92% using supervised learning schemes. The conclusion of this research confirms that the utilization of intelligent algorithms plays a vital role in boosting global industrial operational efficiency and smart system automation.

Keywords: *Intelligent Algorithm, Combinatorial Optimization, Pattern Recognition, Artificial Neural Network, TSP.*

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis, mengintegrasikan, dan mengevaluasi efektivitas perkembangan algoritma kecerdasan cerdas dalam menyelesaikan masalah optimasi kombinatorial dan pengenalan pola. Materi dan metode yang digunakan berbasis pendekatan meta-analisis terstruktur terhadap 12 literatur ilmiah yang mencakup implementasi algoritma bio-inspired, heuristik-metaheuristik, dan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) pada domain *Travelling Salesman Problem* (TSP), economic dispatch, serta klasifikasi pola visual. Hasil analisis komparatif menunjukkan bahwa algoritma berbasis populasi (ACO, PSO, FA) memiliki keunggulan konvergensi global dan efektif menghindari jebakan optimum lokal dibandingkan algoritma pencarian lokal. Implementasi nyata metode *Nearest Neighbor* mampu menghasilkan reduksi jarak distribusi logistik secara signifikan hingga 19,1%. Sementara itu, arsitektur JST (*Backpropagation*, RBF, LVQ) membuktikan kapabilitas penalaran non-linear yang adaptif dengan akurasi pengenalan pola visual berkisar antara 68% hingga 92% menggunakan skema pembelajaran terawasi. Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa pemanfaatan algoritma kecerdasan cerdas memegang peranan vital dalam mendongkrak efisiensi operasional industri global dan otomatisasi sistem cerdas.

Kata Kunci: Algoritma Cerdas, Optimasi Kombinatorial, Pengenalan Pola, Jaringan Syaraf Tiruan, TSP.

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 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

Perkembangan arsitektur komputasi modern dan teknologi informasi di era digital saat ini telah membawa perubahan paradigma yang sangat masif dalam cara manusia memecahkan masalah industri yang kompleks. Berbagai sektor krusial seperti manajemen logistik, distribusi barang, ketenagalistrikan, keamanan biometrik, dan pengelolaan administrasi akademik dihadapkan pada tantangan pengolahan data berskala besar dengan variabel keputusan yang sangat padat. Masalah-masalah di dunia nyata tersebut umumnya bermuara pada dua kategori utama dalam ilmu komputer, yaitu masalah optimasi kombinatorial dan masalah pengenalan pola. Ketika ukuran sampel data atau titik koordinat pencarian solusi bertambah secara linier, ruang pencarian solusi potensialnya sering kali

membengkak secara eksponensial. Karakteristik ini diklasifikasikan sebagai masalah *non-deterministic polynomial-time hard*, yang secara teoritis sulit diselesaikan secara presisi dan cepat menggunakan algoritma matematika murni atau deterministik konvensional.

Untuk mengatasi dinding pembatas komputasi tersebut, komunitas peneliti global secara intensif mengembangkan dan menerapkan rumpun algoritma kecerdasan cerdas. Pendekatan ini membagi dirinya ke dalam dua metodologi besar yang terinspirasi oleh fenomena alam semesta. Pendekatan pertama didasarkan pada perilaku kelompok makhluk hidup, koloni serangga, maupun hukum fisika alam yang dirangkum sebagai algoritma berbasis biologis (*Bio-Inspired Algorithm*) dan metode heuristik atau metaheuristik. Pendekatan kedua mengadopsi struktur mikro biologi organ otak makhluk hidup, yang dimodelkan dalam bentuk matematis artifisial sebagai Jaringan Syaraf Tiruan. Kedua rumpun teknologi cerdas ini tidak lagi mencari solusi mutlak dengan melakukan pemindaian satu per satu terhadap seluruh kemungkinan kombinasi solusi, melainkan melakukan eksplorasi ruang pencarian secara cerdas demi mendapatkan solusi suboptimal yang paling mendekati nilai ideal dalam kurun waktu eksekusi yang singkat.

Rumpun algoritma metaheuristik dan *Bio-Inspired Algorithm* mengandalkan prinsip kecerdasan kolektif atau perbaikan iteratif lokal. Algoritma *Ant Colony Optimization*, misalnya, menduplikasi perilaku koloni semut nyata yang mampu menemukan jalur terpendek antara sarang dan sumber makanan melalui akumulasi jejak zat kimia feromon. Sementara itu, *Particle Swarm Optimization* mengadopsi sinkronisasi pergerakan dinamis dari kawanan burung atau sekumpulan ikan yang bergerak serempak mencari makanan dengan mengombinasikan pengalaman posisi terbaik individual dan posisi terbaik kelompok. Di sisi lain, *Firefly* Algorithm memanfaatkan fenomena fluktuasi intensitas pancaran kilatan cahaya kunang-kunang untuk proses tarik-menarik menuju solusi optimal. Sebagai pembanding, metode lokal seperti *Hill* Climbing bekerja mengevaluasi tetangga terdekat untuk mendaki menuju puncak nilai heuristik tertinggi, meskipun rentan terjebak pada kondisi optimum lokal.

Di kutub komputasi cerdas lainnya, Jaringan Syaraf Tiruan menawarkan keunggulan dalam hal pembelajaran adaptif dari data masa lalu, pengelompokan mandiri, dan kemampuan pemetaan hubungan non-linear yang rumit antara variabel masukan dan keluaran. Melalui proses pelatihan, algoritma pembelajaran seperti Backpropagation akan menghitung nilai galat di lapisan keluaran, kemudian menyebarkannya kembali secara mundur untuk memperbarui nilai bobot secara berkala menggunakan metode penurunan gradien. Selain Backpropagation, variasi arsitektur cerdas lain seperti Radial *Basis Function* memanfaatkan fungsi matematika basis radial untuk mempercepat proses transformasi ruang data, sementara *Learning Vector Quantization* menerapkan prinsip pembelajaran kompetitif terawasi untuk langsung mengelompokkan vektor pola masukan ke dalam kategori kelas target yang spesifik.

Kajian komparatif teknis terhadap efektivitas kedua rumpun sistem cerdas ini menjadi sangat krusial karena aplikasinya telah menyentuh problem operasional vital di Indonesia. Di bidang logistik, *Travelling* Salesman Problem merupakan variasi kasus yang jamak dijumpai, seperti pada optimasi jalur penjemputan paket kurir PT POS Indonesia Cabang Surabaya Selatan dan pengiriman air minum isi ulang di Mataram yang memanfaatkan metode *Nearest Neighbor* dan *Clarke and Wright Saving* Algorithm. Kasus optimasi juga ditemukan pada rute ekspedisi CV. Cahaya Bintang Makassar serta agen otonom penembakan otomatis pada game simulasi roket. Selain logistik, optimasi pembagian beban ekonomis pada unit generator thermal di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Jati B juga menjadi contoh nyata masalah *non-linear* yang dipecahkan menggunakan komparasi algoritma *Particle Swarm Optimization* dan *Firefly* Algorithm.

Pada domain pengenalan pola dan analisis prediktif, Jaringan Syaraf Tiruan memegang peranan dominan dalam memodernisasi sistem otentikasi data dan perencanaan institusi. Pola visual seperti tanda tangan digital, pengenalan wajah untuk gerbang keamanan biometrik, verifikasi karakter tulisan tangan jenis cetak, hingga peramalan kuantitas pendaftaran mahasiswa baru di Universitas Wijaya Putra Surabaya merupakan contoh keandalan praktis dari model *Backpropagation*, Radial Basis Function, dan *Learning Vector Quantization*. Melalui integrasi analitis terhadap dua belas sumber

referensi ilmiah primer, artikel jurnal ini bertujuan menyajikan tinjauan mendalam mengenai peta perkembangan, keunggulan teknis, serta potensi pengembangan model cerdas di masa depan.

METODE PENELITIAN

Partisipan Penelitian dan Sumber Data

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah meta-analisis terstruktur dan studi literatur sistematis. Subjek atau partisipan utama dalam kajian ini bukan berupa individu manusia, melainkan seluruh data empiris, parameter teknis, dan hasil pengujian komputasi yang tercantum di dalam dua belas dokumen literatur ilmiah terakreditasi yang dieksplorasi. Sumber data primer dan sekunder tersebut diklasifikasikan ke dalam dua pilar pembahasan kecerdasan cerdas.

Klaster data pertama fokus pada kasus optimasi kombinatorial dan rute, yang mencakup data operasional kurir Kantor Pos Surabaya Selatan, koordinat sebaran konsumen air minum di Mataram, rute pengiriman ekspedisi CV. Cahaya Bintang Makassar, data game simulasi roket, serta parameter kapasitas daya pada sistem kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Jati B. Klaster data kedua fokus pada kasus pengenalan pola dan prediksi, yang meliputi dataset sampel citra tanda tangan digital, citra wajah manusia untuk sistem keamanan, citra guratan karakter tulisan tangan jenis cetak, serta data sekunder runtun waktu jumlah pendaftar mahasiswa baru di Universitas Wijaya Putra Surabaya.

Organisasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini diatur melalui beberapa tahapan organisasi yang sistematis guna menjaga validitas penarikan kesimpulan. Langkah awal dimulai dari tahap pengumpulan dan penyaringan literatur untuk menginventarisasi dokumen referensi utama yang relevan dengan algoritma optimasi rute dan Jaringan Syaraf Tiruan. Tahap kedua adalah ekstraksi parameter metodologis untuk mengisolasi variabel internal yang digunakan oleh peneliti asli, seperti nilai laju pembelajaran, koefisien momentum, batasan iterasi, target galat minimum, serta parameter internal algoritma berbasis populasi dan biologis.

Tahap ketiga dilanjutkan dengan kategorisasi temuan ke dalam matriks perbandingan performa untuk memisahkan hasil kelompok algoritma optimasi dan kelompok pengenalan pola. Tahap keempat merupakan analisis silang untuk menilai konsistensi hasil di mana keterbatasan dari satu metode dapat dilengkapi oleh keunggulan metode lainnya. Tahap akhir diakhiri dengan merumuskan rekomendasi pemodelan sistem hibrida untuk komputasi masa depan.

Analisis Penelitian

Prosedur analisis penelitian bertumpu pada evaluasi komparatif secara kuantitatif dan kualitatif terhadap performa masing-masing algoritma berdasarkan laporan data yang ada. Untuk kelompok algoritma optimasi rute kombinatorial, analisis dilakukan dengan mengevaluasi efisiensi selisih pemangkasan jarak tempuh dalam satuan kilometer, reduksi durasi waktu perjalanan dalam satuan jam atau menit, serta penghematan pengeluaran biaya bahan bakar pembangkit listrik thermal. Evaluasi jarak antar titik koordinat dianalisis berdasarkan perhitungan jarak lurus atau Euclidean Jarak.

Sementara itu, untuk kelompok Jaringan Syaraf Tiruan dalam kasus pengenalan pola dan prediksi, analisis difokuskan pada tingkat ketepatan identifikasi klasifikasi target melalui persentase akurasi, minimalisasi nilai galat kuadratik rata-rata (*Mean Squared Error*), serta kecepatan iterasi untuk mencapai titik konvergensi yang stabil. Pengaruh variasi parameter internal seperti laju pembelajaran, jumlah lapisan tersembunyi, dan fungsi aktivasi dianalisis secara naratif untuk melihat dampaknya terhadap performa akhir jaringan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Performa Algoritma Optimasi Rute Kombinatorial

Pengujian terhadap algoritma optimasi kombinatorial, khususnya dalam menyelesaikan masalah *Travelling Salesman Problem* (TSP), memberikan gambaran yang sangat jelas mengenai efisiensi

operasional di dunia nyata. Kasus pertama yang dianalisis secara mendalam adalah operasional penjemputan kiriman barang dari tujuh belas titik mitra oleh kurir pada Kantor Pos Surabaya Selatan. Sebelum diterapkannya sistem komputasi cerdas, kurir logistik bergerak berdasarkan intuisi spasial sehari-hari, yang menghasilkan rute konvensional dengan total jarak tempuh mencapai puluhan kilometer. Setelah diintegrasikan dengan metode *Nearest Neighbor* dan *Clarke and Wright Saving* Algorithm, terjadi rekonstruksi rute yang sangat masif. Sistem secara cerdas menyusun ulang urutan kunjungan dengan memprioritaskan simpul terdekat yang belum pernah dikunjungi dari posisi kurir saat itu. Hasil pengujian menunjukkan adanya pemotongan jarak tempuh harian yang signifikan dari rute awal. Penghematan jarak ini setara dengan efisiensi belasan persen dari total rute semula, yang berimplikasi langsung pada pengurangan durasi kerja kurir secara riil. Kurir tidak lagi menghabiskan waktu luang di jalan raya akibat penentuan jalur yang tumpang tindih, sehingga produktivitas harian meningkat dan kelelahan kerja dapat ditekan secara drastis.

Keandalan serupa juga ditemukan pada analisis kasus pengantaran komoditas air minum isi ulang di wilayah Kota Mataram. Karakteristik rute distribusi air minum isi ulang memiliki kompleksitas tinggi karena melibatkan sebaran konsumen yang padat di area perkotaan dengan kondisi lalu lintas yang tidak menentu. Melalui implementasi metode *Nearest Neighbor*, sistem komputasi mampu menghasilkan matriks jarak antarkota yang presisi dan memilih jalur sirkular terpendek. Penyelidikan ini membuktikan bahwa algoritma pencarian lokal heuristik sangat andal dalam memberikan solusi cepat tanpa menuntut konsumsi memori komputer yang besar. Kecepatan eksekusi yang instan membuat metode ini sangat aplikatif untuk digunakan oleh operator lapangan dalam menyusun jadwal pengiriman harian secara dinamis.

Namun demikian, analisis kritis terhadap metode pencarian lokal seperti *Nearest Neighbor* maupun Simple Hill Climbing mengungkap adanya keterbatasan mendasar dalam hal kualitas solusi jangka panjang. Berdasarkan kajian teoretis dan eksperimental pada berbagai pengujian koordinat TSP, algoritma Simple Hill Climbing bekerja dengan cara yang sangat kaku. Algoritma ini mengevaluasi keadaan tetangga terdekat, dan jika keadaan tersebut memiliki nilai heuristik yang lebih baik, sistem akan langsung berpindah ke simpul tersebut tanpa memeriksa opsi tetangga lainnya secara komprehensif. Pada variasi *Steepest-Ascent Hill Climbing*, seluruh tetangga memang dievaluasi terlebih dahulu sebelum keputusan perpindahan diambil. Meskipun demikian, kedua jenis algoritma pencarian lokal ini tetap rentan terjebak pada kondisi yang disebut dengan puncak lokal atau local minima. Kondisi ini terjadi ketika semua simpul tetangga di sekitar posisi saat ini menunjukkan nilai yang lebih buruk, sehingga algoritma menghentikan pencarian dan menganggap posisi tersebut sebagai solusi optimal, padahal solusi terbaik yang sesungguhnya (*optimum global*) berada di luar jangkauan radar pencariannya. Selain puncak lokal, algoritma ini juga sering kali mengalami kegagalan fungsi akibat kondisi daerah datar atau plateau, di mana semua tetangga di sekitarnya memiliki nilai heuristik yang sama persis, membuat arah pencarian menjadi tidak menentu dan berputar-putar tanpa akhir yang produktif.

Evaluasi Efisiensi Bio-Inspired Algorithm Berbasis Populasi

Untuk mengatasi kelemahan fatal dari algoritma pencarian lokal, kelompok Bio-Inspired Algorithm berbasis populasi menyajikan pendekatan yang jauh lebih kokoh melalui prinsip kecerdasan kolektif. Studi kasus pada jaringan distribusi ekspedisi logistik CV. Cahaya Bintang Makassar memberikan bukti empiris mengenai efektivitas Algoritma Semut atau *Ant Colony Optimization* (ACO). Berbeda dengan metode pencarian tunggal, ACO memanfaatkan sekumpulan agen semut tiruan yang mengeksplorasi ruang pencarian secara paralel. Setiap agen semut meninggalkan jejak memori buatan berupa zat kimia feromon pada jalur yang mereka lalui. Jalur yang lebih pendek secara matematis akan diselesaikan lebih cepat oleh semut, sehingga frekuensi pelintasan pada jalur tersebut menjadi lebih tinggi dalam kurun waktu yang sama. Akibatnya, akumulasi konsentrasi feromon pada jalur terpendek akan tumbuh lebih tebal dibandingkan dengan jalur alternatif yang panjang. Melalui proses iterasi yang berulang, ketebalan feromon ini akan mengarahkan seluruh populasi semut untuk berkonvergen memilih satu jalur optimal global, sekaligus mengabaikan jalur panjang karena adanya parameter penguapan feromon yang berjalan secara konstan seiring waktu.

Fleksibilitas dari modifikasi algoritma berbasis semut ini juga diuji dalam ranah yang berbeda, yaitu pada pengembangan kecerdasan agen otonom penembakan otomatis pada game simulasi roket berbasis tank. Dalam eksperimen interaktif ini, struktur konvensional ACO mengalami modifikasi radikal, di mana kalkulasi parameter jarak fisik dieliminasi dari fungsi objektif utama. Sistem komputasi agen didesain untuk murni mengandalkan klasifikasi akumulasi bobot feromon yang dikumpulkan oleh agen penembak selama simulasi berlangsung. Melalui seratus kali pengujian iteratif yang ketat, modifikasi parameter ini terbukti mampu mendongkrak akurasi ketepatan tembakan roket secara signifikan. Agen otonom berhasil mengenali pola pergerakan tower sasaran secara dinamis dan melakukan keputusan penembakan dengan tingkat presisi yang jauh lebih tinggi dibandingkan jika menggunakan algoritma ACO standar yang kaku. Hal ini membuktikan bahwa algoritma berbasis populasi memiliki tingkat adaptabilitas yang luar biasa tinggi untuk diterapkan pada domain di luar masalah rute fisik konvensional.

Analisis komparatif tingkat tinggi dilakukan pada sektor ketenagalistrikan makro, khususnya pada masalah pembagian beban ekonomis (*economic dispatch*) unit generator thermal di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B. Studi ini mengevaluasi secara mendalam dua raksasa algoritma metaheuristik modern, yaitu *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan *Firefly* Algorithm (FA), untuk menyuplai variasi beban sistem kelistrikan interkoneksi berskala besar. Karakteristik masalah pembagian beban ini sangat kompleks karena setiap generator memiliki kurva biaya bahan bakar yang bersifat non-linear dan dibatasi oleh limit kapasitas teknis minimum serta maksimum yang ketat. Ketika sistem diuji pada tingkat beban konstan tertentu, kedua algoritma cerdas ini diwajibkan mencari kombinasi output daya terkecil dari setiap unit generator agar total pengeluaran biaya operasional bahan bakar fosil mencapai titik paling minimum.

Hasil simulasi komputasi memperlihatkan kompetisi performa yang sangat ketat antara PSO dan FA. Pada pengujian beban sistem yang lebih rendah maupun pada tingkat beban puncak yang lebih tinggi, *Particle Swarm Optimization* terbukti menghasilkan nilai total biaya pembangkitan yang sedikit lebih murah dan ekonomis dibandingkan dengan nilai yang disodorkan oleh *Firefly* Algorithm. Walaupun perbedaan nominal biaya per jam di antara keduanya tergolong sangat tipis, analisis perilaku konvergensi menunjukkan perbedaan yang fundamental bagi stabilitas industri komputasi. Masalah utama yang ditemukan pada *Firefly* Algorithm adalah ketidakstabilan solusi; nilai pengeluaran biaya yang dihasilkan cenderung fluktuatif dan bervariasi setiap kali simulasi baru dijalankan ulang dari awal pada parameter beban yang sama. Hal ini disebabkan karena pergerakan kunang-kunang dalam algoritma FA sangat bergantung pada koefisien daya tarik visual yang meluruh secara eksponensial terhadap kuadrat jarak antarkunang-kunang, sehingga sangat sensitif terhadap posisi inisialisasi awal populasi.

Sebaliknya, PSO mendemonstrasikan konsistensi konvergensi yang sangat kokoh dan stabil secara kontinu. Setiap partikel dalam kawanan PSO dipandu secara ketat oleh kombinasi vektor kecepatan dinamis yang selalu mengacu pada memori posisi terbaik yang pernah dicapai oleh individu tersebut beserta koordinasi posisi terbaik yang ditemukan oleh seluruh kelompok secara global. Karakteristik konvergensi yang cepat dan stabil ini menempatkan PSO sebagai algoritma yang lebih ideal untuk sistem kendali otomatisasi energi yang membutuhkan kepastian keputusan komputasi dalam waktu singkat. Secara menyeluruh, kedua metode kecerdasan cerdas ini membuktikan keunggulan mutlak dibandingkan metode matematika deterministik konvensional dalam menekan pengeluaran finansial operasional tanpa mengorbankan stabilitas pasokan daya listrik.

Pembahasan Implementasi JST pada Klasifikasi Pola Visual

Beralih pada domain pengenalan pola, Jaringan Syaraf Tiruan (JST) memegang kendali utama sebagai mesin komputasi modern yang memiliki kemampuan penalaran adaptif luar biasa dari data masa lalu. Pengujian awal dilakukan pada sistem otentikasi biometrik melalui pengenalan pola tanda tangan digital menggunakan arsitektur JST *Backpropagation*. Eksperimen ini memanfaatkan seratus sampel citra tanda tangan yang terbagi seimbang antara tanda tangan asli dan tanda tangan palsu hasil rekayasa tangan manusia. Investigasi empiris menunjukkan bahwa kinerja pengenalan JST sangat sensitif terhadap penentuan kombinasi parameter internal jaringan. Ketika nilai laju pembelajaran

dipasang pada angka moderat bersamaan dengan koefisien momentum yang tinggi serta batasan iterasi yang optimal, jaringan mampu melakukan pembaruan bobot secara konsisten. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi pengenalan pola tanda tangan berada pada persentase yang memuaskan untuk mengidentifikasi keaslian dokumen, membuktikan bahwa jaringan mampu menangkap guratan-guratan halus *non-linear* yang membedakan karakter penulisan antar-individu.

Pembahasan pengenalan pola visual ini diperluas secara komprehensif pada sistem pengenalan wajah manusia untuk gerbang keamanan pintar. Studi kasus ini membandingkan kinerja algoritma pembelajaran berbasis gradien mundur Backpropagation dengan jaringan saraf kompetitif *Learning Vector Quantization* (LVQ). Sebelum dialirkan ke dalam inti algoritma JST, citra wajah masukan wajib melewati serangkaian tahapan prapengolahan citra digital yang sangat ketat guna membersihkan gangguan lingkungan dan menstandarisasi dimensi input. Tahap pertama adalah scaling, di mana ukuran resolusi piksel seluruh gambar wajah diseragamkan agar sesuai dengan jumlah neuron pada lapisan masukan JST. Tahap kedua adalah grayscale, yang berfungsi mengeliminasi informasi warna RGB menjadi derajat keabuan murni, sehingga beban komputasi memori komputer dapat diringankan secara signifikan. Tahap ketiga adalah operasi deteksi tepi menggunakan metode Sobel, yang mengekstraksi garis kontur fitur-fitur esensial wajah seperti bentuk mata, hidung, dan bibir. Tahap terakhir adalah thresholding, yang mengubah citra menjadi format biner hitam-putih mutlak untuk mempertegas batas geometri wajah.

Setelah citra hasil prapengolahan diumpankan ke dalam sistem, perbedaan karakteristik antara kedua model JST terlihat sangat kontras. Model LVQ menunjukkan keunggulan mutlak dalam hal akselerasi kecepatan waktu pelatihan. Karena arsitektur LVQ bekerja berdasarkan prinsip kompetisi linier tanpa lapisan tersembunyi, sistem langsung menggeser vektor bobot kelas target terdekat tanpa perlu melakukan kalkulasi perambatan galat mundur yang rumit. Namun, dari segi ketahanan kualitas pengenalan akhir, algoritma Backpropagation membuktikan superioritasnya. Backpropagation jauh lebih konsisten dan tangguh dalam mengenali wajah yang mengalami distorsi minor, seperti perubahan sudut kemiringan wajah atau fluktuasi intensitas pencahayaan ruangan. Kemampuan penyesuaian bobot secara kontinu pada lapisan tersembunyi membuat *Backpropagation* memiliki kapabilitas generalisasi data baru yang lebih matang. Di sisi lain, kestabilan proses ekstraksi fitur geometri guratan juga menjadi kunci utama dalam meminimalkan nilai galat kuadratik rata-rata pada sistem klasifikasi karakter tulisan tangan jenis cetak alfabet, sehingga performa akurasi sistem dapat dipertahankan pada tingkat tertinggi.

Analisis Kapabilitas Prediksi Non-Linear Berbasis JST

Domain aplikasi JST tidak hanya terbatas pada klasifikasi visual, melainkan juga mencakup analisis prediktif terhadap data runtun waktu yang memiliki tren fluktuatif yang tidak pasti. Studi kasus riil dilakukan pada institusi perguruan tinggi swasta di Surabaya untuk memprediksi kuantitas pendaftaran mahasiswa baru berdasarkan data historis jangka panjang. Penelitian ini mengadu kekuatan secara langsung antara model JST Backpropagation standar dengan model Radial Basis Function (RBF). Prediksi jumlah mahasiswa baru merupakan tantangan komputasi yang berat karena polanya sangat dipengaruhi oleh variabel eksternal ekonomi dan sosial yang tidak linear, sehingga metode peramalan statistik linier konvensional sering kali meleset dari target aktual.

Berdasarkan hasil analisis statistik pasca-pelatihan, model JST RBF menunjukkan performa akurasi peramalan yang secara signifikan mengungguli model Backpropagation. Superioritas teknis RBF ini berakar pada perbedaan arsitektur lapisan tersembunyinya. Jika *Backpropagation* menggunakan fungsi aktivasi sigmoid yang bersifat global dan sensitif terhadap masalah hilangnya nilai gradien sewaktu proses berjalan terlalu lama, JST RBF memanfaatkan fungsi basis radial berupa fungsi Gaussian yang bersifat lokal dan terpusat. Fungsi Gaussian ini mampu melakukan transformasi ruang data masukan ke dalam dimensi baru yang lebih tinggi secara instan, sehingga pengenalan fluktuasi data runtun waktu yang ekstrem dapat ditangkap dengan sangat responsif. Model RBF juga terbukti membutuhkan waktu iterasi pelatihan yang jauh lebih singkat dan terhindar dari fenomena kelelahan komputasi, menjadikannya arsitektur yang paling direkomendasikan untuk sistem pendukung keputusan manajemen institusi dalam merancang strategi perencanaan jangka panjang secara akurat.

KESIMPULAN

Berdasarkan seluruh rangkaian analisis hasil dan pembahasan yang telah dipaparkan secara mendalam, penelitian ini berhasil merumuskan beberapa kesimpulan fundamental terkait perkembangan komputasi cerdas:

1. Integrasi algoritma kecerdasan cerdas, baik dari rumpun *Bio-Inspired* Algorithm maupun Jaringan Syaraf Tiruan, terbukti menjadi pilar krusial dalam memecahkan masalah kompleks berskala besar yang tidak mampu diselesaikan secara efisien oleh metode matematika konvensional.
2. Algoritma berbasis populasi (ACO, PSO, FA) menunjukkan ketangguhan yang luar biasa dalam navigasi global ruang pencarian solusi, sehingga sukses mengeliminasi kelemahan algoritma pencarian lokal seperti Hill Climbing yang ringkih terhadap jebakan local minima.
3. Pemanfaatan metode heuristik terbukti memberikan dampak finansial nyata di sektor industri logistik, dengan kemampuan mereduksi jarak distribusi pengiriman hingga mencapai 19,1%, yang berbanding lurus dengan efisiensi waktu kerja lapangan.
4. Arsitektur JST (Backpropagation, RBF, LVQ) memperlihatkan fleksibilitas penalaran non-linear yang matang, dengan tingkat akurasi pengenalan pola dan akurasi peramalan runtun waktu yang berkisar tinggi antara 68% hingga 92% setelah didukung oleh tahapan prapengolahan data yang optimal.

SARAN

Demi keberlanjutan riset dan penguatan implementasi teknologi ini di masa depan, diajukan beberapa saran akademis dan praktis sebagai berikut:

1. Pengembangan Sistem Cerdas Hibrida: Sangat disarankan bagi peneliti berikutnya untuk mulai memfokuskan kajian pada penggabungan dua kekuatan utama metode ini. Skema hibrida dapat dirancang dengan memanfaatkan algoritma PSO atau ACO untuk memindai dan menetapkan nilai bobot awal serta bias optimal pada jaringan JST Backpropagation. Kombinasi ini diproyeksikan mampu memotong durasi waktu pelatihan secara drastis sekaligus menghindarkan jaringan saraf dari jebakan optimum lokal.
2. Peningkatan Kualitas Prapengolahan Citra: Untuk domain pengenalan pola visual, eksplorasi terhadap metode ekstraksi fitur yang lebih kebal terhadap derau lingkungan (seperti analisis komponen utama) perlu ditingkatkan agar tingkat akurasi akhir dapat didorong melampaui angka 95%.
3. Migrasi ke Infrastruktur Komputasi Paralel: Mengingat komputasi modern melibatkan pemrosesan data berskala raksasa, implementasi kode program di masa depan sebaiknya dialihkan menggunakan infrastruktur komputasi paralel berbasis kartu grafis dan komputasi awan agar proses pengambilan keputusan industri dapat berjalan secara real-time dengan efisiensi energi yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Davendra, D. (Ed.). (2010). Masalah penjual keliling, teori dan aplikasi. IntechOpen. http://dx.doi.org/10.5772/547

Fauzi, A. A., & Sulistyono, E. (2022). Traveling salesman problem dalam menyelesaikan rute optimal pengiriman air minum isi ulang. Jurnal Sintak, 1(1), 31–36.

Fayaqun, R., & Nuvita, A. (2022). Travelling salesman problem pada proses pick-up kiriman mitra pada Kantor Pos Surabaya Selatan menggunakan nearest neighbor dan clarke and wright saving algorithm. Jurnal Logistik Bisnis, 12(02), 34–43.

Irfan, M. (2017). Penyelesaian travelling salesman problem (TSP) menggunakan algoritma hill climbing dan MATLAB. Jurnal Matematika, 16(2). https://doi.org/10.24853/matematika.16.2

Ismail, & Adrianto. (2020). Penerapan algoritma semut untuk optimasi penentuan jalur terpendek ekspedisi CV. Cahaya Bintang Makassar. Jurnal Ilmiah Sistem Informasi dan Teknik Informatika "JISTI", 3(2), 64–70.

Martha, A. V., Hanafi, M., & Burhanuddin, A. (2019). Implementasi jaringan syaraf tiruan (JST) untuk

mengenali pola tanda tangan dengan metode backpropagation. Jurnal Komtika (Komputasi dan Informatika), 3(2), 51–57. https://doi.org/10.31603/komtika.v3i2.3472

Mo, Y.-B. (2010). Keuntungan algoritma cerdas untuk TSP. Dalam D. Davendra (Ed.), Masalah penjual keliling, teori dan aplikasi (hlm. 27–32). IntechOpen. http://dx.doi.org/10.5772/547

Ritonga, A. S., & Atmojo, S. (2018). Pengembangan model jaringan syaraf tiruan untuk memprediksi jumlah mahasiswa baru di PTS Surabaya (studi kasus Universitas Wijaya Putra). Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia, 12(1), 15–24.

S.S., P. P. (2018). Firefly algorithm and particle swarm optimization for economic dispatch optimization at PLTU Tanjung Jati B. JAREE (Journal on Advanced Research in Electrical Engineering), 2(2), 8–13.

Suhardi, I. (2022). Jaringan syaraf tiruan untuk karakter tulisan tangan jenis cetak (Safrinal, Ed.). CV. Azka Pustaka.

Sukmana, S. E., & Rahayu, E. N. (2020). Agen otonom untuk ketepatan penembakan pada game roket berbasis ant colony optimization. Applied Technology and Computing Science Journal, 3(1), 58–67.

Wuryandari, M. D., & Afrianto, I. (2012). Perbandingan metode jaringan syaraf tiruan backpropagation dan learning vector quantization pada pengenalan wajah. Jurnal Komputer dan Informatika (KOMPUTA), 1(1), 45–51.