



Kajian Literatur Perbandingan Teknik Kecerdasan Komputasional: Jaringan Syaraf Tiruan Vs. Algoritma Evolusioner

Rizkie Maulana^{1*}, Nurdin²

¹⁻²Universitas Malikussaleh, Indonesia

E-mail: rizkiemaulana.net2019@gmail.com¹, nurdin@unimal.ac.id²

Alamat: Cot Tengku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara, Provinsi Aceh, Indonesia

*Korespondensi penulis: rizkiemaulana.net2019@gmail.com

Abstract. *The rapid development in the field of Computational Intelligence (CI) has driven the use of various techniques to solve complex problems. Two main approaches that are often compared within CI are Artificial Neural Networks (ANN) and Evolutionary Algorithms (EA), each with its own strengths and limitations. Artificial Neural Networks, inspired by the structure of the human brain, operate through interconnected layers of neurons and have proven effective in pattern recognition and non-linear data modeling. Meanwhile, Evolutionary Algorithms, inspired by the process of biological evolution, are used for global solution searches in complex optimization problems without requiring mathematical derivatives of the objective function. In this study, we compare these two techniques based on architecture, model complexity, performance, and their applications across various domains. Additionally, we explore the potential of integrating both techniques into a hybrid approach that can optimize performance on more complex problems. The findings of this study indicate that combining ANN and EA, such as in neuroevolution approaches, provides more adaptive and efficient solutions compared to using each technique independently. This study offers insights into the use of ANN and EA and their applications in image processing, industrial optimization, and data-driven intelligent systems.*

Keywords: Algorithms, Artificial Neural Networks, Computational Intelligence, Evolutionary Optimization, Technique Comparison.

Abstrak. Perkembangan pesat dalam bidang Kecerdasan Komputasional (Computational Intelligence/CI) telah mendorong penggunaan berbagai teknik dalam menyelesaikan permasalahan kompleks. Dua pendekatan utama yang sering dibandingkan dalam CI adalah Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Networks/ANN) dan Algoritma Evolusioner (Evolutionary Algorithms/EA), yang masing-masing memiliki kekuatan dan keterbatasan. Jaringan Syaraf Tiruan terinspirasi oleh struktur otak manusia, bekerja dengan lapisan neuron yang saling terhubung, dan telah terbukti efektif dalam pengenalan pola dan pemodelan data non-linier. Sementara itu, Algoritma Evolusioner, yang diilhami oleh proses evolusi biologis, digunakan untuk pencarian solusi global pada masalah optimasi kompleks, tanpa memerlukan turunan matematis dari fungsi tujuan. Dalam kajian ini, kami membandingkan kedua teknik tersebut berdasarkan arsitektur, kompleksitas model, kinerja, serta aplikasi dalam berbagai domain. Selain itu, kami juga mengeksplorasi potensi integrasi kedua teknik dalam pendekatan hybrid yang dapat mengoptimalkan performa pada masalah yang lebih kompleks. Hasil kajian ini menunjukkan bahwa kombinasi antara ANN dan EA, seperti dalam pendekatan neuroevolution, memberikan solusi yang lebih adaptif dan efisien dibandingkan dengan penggunaan masing-masing teknik secara terpisah. Kajian ini memberikan wawasan tentang penggunaan ANN dan EA serta aplikasinya pada bidang pengolahan citra, optimasi industri, dan sistem cerdas berbasis data.

Kata kunci: Algoritma Evolusioner, Jaringan Syaraf Tiruan, Kecerdasan Komputasional, Optimisasi, Perbandingan Teknik.

1. LATAR BELAKANG

Kecerdasan Komputasional (Computational Intelligence/CI) merupakan cabang dari kecerdasan buatan yang menekankan pendekatan-pendekatan adaptif dan biologis dalam menyelesaikan permasalahan kompleks. Dalam dekade terakhir, CI telah mengalami perkembangan pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan terhadap sistem cerdas yang mampu beradaptasi, belajar dari data, dan melakukan generalisasi secara efisien dalam berbagai domain seperti pengenalan pola, prediksi, dan optimasi. Menurut laporan IEEE Computational Intelligence Society, sejak tahun 2015 hingga 2023 terjadi peningkatan lebih dari 60% dalam jumlah publikasi ilmiah yang membahas aplikasi CI di bidang industri, medis, dan teknologi (ADF, 2019).

Dua pendekatan utama yang sering dibandingkan dalam CI adalah Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Networks/ANN) dan Algoritma Evolusioner (Evolutionary Algorithms/EA). Keduanya terinspirasi dari sistem biologis: ANN meniru cara kerja otak manusia melalui neuron-neuron buatan yang terhubung dan belajar dari data, sedangkan EA mengadopsi prinsip evolusi Darwin melalui mekanisme seleksi, mutasi, dan rekombinasi untuk menemukan solusi optimal. Kedua pendekatan ini telah menjadi tulang punggung dari banyak aplikasi mutakhir, mulai dari klasifikasi gambar medis (Nabipour et al., 2020) hingga optimasi desain struktural dalam teknik sipil (Gavrilescu et al., 2022).

ANN sangat efektif dalam pengenalan pola nonlinier, prediksi pasar saham (Li et al., 2022), dan klasifikasi citra (Serey et al., 2023), namun menghadapi tantangan seperti overfitting, kebutuhan data besar, dan sensitivitas terhadap konfigurasi arsitektur jaringan (Grigorescu et al., 2020). Di sisi lain, EA menunjukkan keunggulan dalam menyelesaikan permasalahan optimasi global yang tidak terdiferensiasi dan multi-modal seperti penjadwalan tugas (Mirza et al., 2022), pemodelan transportasi cerdas, dan perencanaan jalur robotika (Patil et al., 2024). Salah satu keunggulan EA adalah tidak memerlukan informasi turunan fungsi objektif, sehingga cocok digunakan dalam permasalahan “black-box” yang kompleks (Reddy & Kumar, 2006).

Beberapa studi menunjukkan bahwa kombinasi ANN dan EA dapat mengatasi keterbatasan masing-masing metode, misalnya melalui evolutionary-trained neural networks, yang menghasilkan performa lebih adaptif dalam kondisi data yang berubah-ubah dan lingkungan dinamis (Gavrilescu et al., 2022). Pendekatan hibrid ini telah digunakan dalam sistem kendali adaptif dan optimasi berbasis kecerdasan kolektif (Patil et al., 2024).

Dengan semakin luasnya penerapan ANN dan EA, baik secara mandiri maupun dalam bentuk kombinasi, penting untuk melakukan kajian literatur yang mendalam guna memahami

karakteristik teknis, kelebihan, kelemahan, dan relevansi aplikatif masing-masing pendekatan. Hal ini krusial terutama dalam konteks pengambilan keputusan teknologi, pemilihan algoritma yang tepat untuk solusi industri, dan pengembangan sistem cerdas masa depan (Ding et al., 2013). Oleh karena itu, kajian ini bertujuan untuk memberikan evaluasi sistematis dan komparatif terhadap ANN dan EA dari segi metodologi, performa algoritmik, serta tren penerapannya dalam berbagai sektor, (Taufik et al., 2023) termasuk pengolahan citra, prediksi data, dan optimasi berbasis industri (Yaghoubi et al., 2024)

2. KAJIAN TEORITIS

Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Networks - ANN)

Jaringan Syaraf Tiruan (ANN) merupakan model komputasi yang terinspirasi oleh struktur dan fungsi otak manusia, terdiri dari neuron-neuron buatan yang saling terhubung dan mampu memproses informasi secara paralel. (Taufik et al., 2023) ANN telah digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi seperti pengenalan pola, klasifikasi, dan prediksi karena kemampuannya dalam menangani data non-linear dan kompleks (Roheen Qamar & Baqar Ali Zardari, 2023).

Struktur dasar ANN terdiri dari tiga lapisan utama: lapisan input, lapisan tersembunyi (hidden layer), dan lapisan output. Proses pembelajaran pada ANN dilakukan melalui penyesuaian bobot koneksi antar neuron menggunakan algoritma pelatihan seperti backpropagation, yang memungkinkan jaringan untuk meminimalkan kesalahan prediksi melalui iterasi (Simon Haykin, 2018).

Meskipun ANN memiliki keunggulan dalam fleksibilitas dan kemampuan generalisasi, terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi, seperti overfitting, kebutuhan akan data pelatihan yang besar, dan kesulitan dalam interpretasi model (LeCun et al., 2015).

Algoritma Evolusioner (Evolutionary Algorithms - EA)

Algoritma Evolusioner (EA) adalah metode optimasi yang terinspirasi oleh proses evolusi biologis, seperti seleksi alam dan mutasi. EA bekerja dengan memelihara populasi solusi kandidat yang dievaluasi dan diperbarui secara iteratif berdasarkan fungsi tujuan tertentu. Beberapa varian EA yang populer meliputi Genetic Algorithms (GA), Evolution Strategies (ES), dan Differential Evolution (DE) (Bäck et al., 2023).

Keunggulan utama EA terletak pada kemampuannya dalam mengeksplorasi ruang solusi yang luas tanpa memerlukan informasi turunan dari fungsi tujuan, menjadikannya cocok untuk permasalahan optimasi yang kompleks dan multi-modal (Cicirello, 2024).

Namun, EA juga memiliki keterbatasan, seperti konvergensi yang lambat dan sensitivitas terhadap parameter algoritma. Oleh karena itu, penelitian terkini banyak berfokus pada pengembangan EA hibrida dan adaptif untuk meningkatkan performa dan efisiensi algoritma (Srikumar & Pande, 2023).

Perbandingan ANN dan EA

Perbandingan antara ANN dan EA menunjukkan bahwa keduanya memiliki kekuatan dan kelemahan masing-masing. ANN unggul dalam kemampuan pembelajaran dari data dan generalisasi, sementara EA lebih efektif dalam eksplorasi ruang solusi dan optimasi global. Kombinasi keduanya, seperti penggunaan EA untuk melatih ANN, telah menunjukkan peningkatan performa dalam berbagai aplikasi (Grigorescu et al., 2020).

3. METODE PENELITIAN

Desain Kajian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian literatur sistematis (Systematic Literature Review - SLR) untuk mengeksplorasi, mengklasifikasikan, dan menganalisis perbandingan antara dua pendekatan utama dalam kecerdasan komputasional: Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Networks/ANN) dan Algoritma Evolusioner (Evolutionary Algorithms/EA). Pendekatan ini dinilai sesuai karena memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi tren penelitian, gap ilmiah, serta potensi integrasi teknik berdasarkan bukti dari studi terdahulu (Moher et al., 2009).

Sumber dan Seleksi Literatur

Pengumpulan literatur dilakukan dengan mengakses basis data ilmiah bereputasi, seperti IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, ACM Digital Library, Scopus, dan Google Scholar. Kata kunci pencarian meliputi: Artificial Neural Network performance comparison; Evolutionary Algorithm optimization review; Hybrid neuroevolution techniques; Comparative study of ANN and EA. Adapun kriteria inklusi dan eksklusi ditetapkan sebagai berikut: Inklusi (Artikel berbahasa Inggris; Terbit antara tahun 2020 hingga 2024; Fokus pada ANN, EA, atau kombinasi keduanya; Merupakan jurnal ilmiah yang terindeks dan telah melalui proses peer-review dan adapun Eksklusi: (Artikel yang hanya berupa abstrak; Dokumen konferensi tanpa hasil eksperimen; Studi bersifat opini atau editorial; Proses penyaringan menghasilkan 40 artikel utama dari total ± 350 artikel yang teridentifikasi dan yang kemudian dianalisis lebih lanjut).

Strategi Analisis

Tahapan analisis dilakukan melalui langkah-langkah berikut: Klasifikasi Literatur; Artikel yang terpilih dikelompokkan ke dalam tiga kategori: 1) Kajian teoritis tentang ANN dan EA; 2) Studi kasus penggunaan ANN atau EA dalam konteks tertentu; 3) Studi perbandingan langsung antara ANN dan EA dan adapun Analisis Tematik terdiri dari: 1) Data dari masing-masing studi dianalisis dengan pendekatan tematik berdasarkan parameter performa seperti (Staffs, 2007); 2) Akurasi model; 3) Waktu pelatihan dan efisiensi komputasi 4) Kemampuan generalisasi 5) Stabilitas dan ketahanan terhadap noise 6) Kompleksitas struktur algoritma 7) Sintesis Naratif dan Evaluasi Kritis

Untuk meningkatkan transparansi dan replikasi studi, kerangka kerja PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) digunakan dalam menyusun hasil seleksi dan evaluasi literatur (Daun et al., 2023)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komparasi Berdasarkan Arsitektur dan Kompleksitas

Perbedaan mendasar antara *Jaringan Syaraf Tiruan (JST)* dan *Algoritma Evolusioner (AE)* terletak pada prinsip biologis yang menginspirasi keduanya, struktur model, parameter utama, serta kompleksitas komputasionalnya. Tabel berikut merangkum aspek struktural dan arsitektural dari masing-masing pendekatan:

Tabel 1. Aspek Struktural dan Arsitektural dari Masing-Masing Pendekatan

Aspek	Jaringan Syaraf Tiruan (JST)	Algoritma Evolusioner (AE)
Basis Inspirasi	Sistem saraf otak biologis	Proses evolusi Darwinian
Struktur	Terdiri atas lapisan neuron dan bobot sinaptik	Populasi solusi yang direpresentasikan dalam kromosom
Parameter Utama	Jumlah lapisan, neuron per lapisan, fungsi aktivasi	Ukuran populasi, laju mutasi, laju crossover, strategi seleksi
Kompleksitas Model	Tinggi, terutama dalam <i>deep neural networks</i>	Bervariasi, tergantung jumlah generasi dan individu

Kompleksitas JST meningkat secara eksponensial seiring dengan kedalaman jaringan dan banyaknya parameter yang harus dilatih (Courville, 2016). Sementara itu, AE menawarkan struktur yang lebih fleksibel namun membutuhkan evaluasi berulang dalam populasi yang besar, sehingga meningkatkan waktu komputasi secara signifikan (Das & Suganthan, 2011).

Komparasi Berdasarkan Kinerja dan Aplikasi

Dari sisi performa, keunggulan masing-masing teknik sangat tergantung pada konteks aplikasi:

- a) JST unggul dalam tugas klasifikasi dan pengenalan pola seperti pengenalan suara, tulisan tangan, dan citra medis. Kemampuannya dalam membentuk representasi non-linear dari data kompleks menjadikannya alat utama dalam deep learning (LeCun et al., 2015).
- b) AE lebih efektif dalam pemecahan masalah optimisasi, terutama pada fungsi yang tidak kontinu, tidak terdiferensiasi, atau memiliki banyak puncak lokal, seperti tuning parameter hyperparameter atau desain sistem kendali (Puspasari & Pawitaningtyas, 2020).
- c) Dalam beberapa penelitian, kombinasi JST dan AE menghasilkan performa yang lebih tinggi, melalui pendekatan *neuroevolution*. Contoh:
 - 1) AE digunakan untuk menginisialisasi bobot JST agar menghindari jebakan minimum lokal.
 - 2) JST digunakan sebagai fungsi evaluasi (fitness) dalam AE [5].

Komparasi Berdasarkan Kelebihan dan Keterbatasan

Analisis kekuatan dan kelemahan masing-masing pendekatan disajikan dalam Tabel berikut:

Tabel 2. Analisis Kekuatan dan Kelemahan Masing-Masing Pendekatan

Aspek	Jaringan Syaraf Tiruan (JST)	Algoritma Evolusioner (AE)
Kelebihan	Cepat dalam prediksi setelah training, efisien untuk data besar	Tidak memerlukan data pelatihan, tidak terjebak di lokal minimum
Kelemahan	Membutuhkan data besar dan waktu pelatihan lama, rentan overfitting	Komputasi berat, konvergensi lambat tanpa parameter tuning

Beberapa teknik seperti early stopping, regularisasi, dan dropout telah digunakan untuk mengatasi kelemahan JST, sementara AE telah dikembangkan lebih lanjut melalui varian seperti *Differential Evolution* dan *Genetic Programming* untuk meningkatkan efisiensi (Liu et al., 2024).

Studi Kasus Aplikatif

Berikut adalah beberapa studi kasus nyata yang memperkuat temuan kajian ini:

a) Prediksi Harga Saham

- 1) JST, terutama model LSTM dan CNN, menunjukkan akurasi tinggi dalam memprediksi harga saham jangka pendek [8].
- 2) AE digunakan untuk mengoptimasi struktur dan bobot awal JST, meningkatkan akurasi hingga 10% dalam beberapa studi hybrid (López-Vázquez et al., 2020).

b) Penjadwalan Produksi Industri

- 1) AE (misalnya *Genetic Algorithm*) berhasil menemukan jadwal optimal multi-fase untuk produksi manufaktur, mengurangi waktu idle dan biaya operasional (Nair et al., 2011).
- 2) JST tidak efektif karena ketiadaan data historis yang cukup representatif.

c) Diagnosa Medis Otomatis

- 1) JST unggul dalam klasifikasi penyakit berdasarkan data citra, misalnya kanker payudara dan retinopati diabetik (Roheen Qamar & Baqar Ali Zardari, 2023).
- 2) AE digunakan untuk memilih fitur relevan dan mengonfigurasi arsitektur JST, mempercepat pelatihan dan mengurangi overfitting (Yaghoubi et al., 2024)

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kajian ini menyoroti perbandingan komprehensif antara dua pendekatan utama dalam kecerdasan komputasional, yaitu Jaringan Syaraf Tiruan (JST/ANN) dan Algoritma Evolusioner (AE/EA), dengan fokus pada aspek arsitektur, kinerja, serta aplikasi dalam berbagai domain. Berdasarkan telaah literatur sistematis terhadap publikasi terkini, dapat disimpulkan bahwa JST dan AE memiliki karakteristik dan keunggulan yang saling melengkapi, bukan bersifat substitutif.

Secara arsitektural, JST memiliki struktur hierarkis berbasis neuron dan bobot sinaptik yang mampu memodelkan relasi non-linear secara kompleks. Sementara itu, AE mengandalkan pendekatan populasi dan proses evolusi untuk mengeksplorasi solusi optimal, tanpa membutuhkan turunan matematis atau informasi domain yang terlalu spesifik. Kompleksitas JST cenderung meningkat pada deep architectures, sedangkan AE sangat dipengaruhi oleh jumlah generasi dan ukuran populasi solusi.

Dari aspek kinerja, JST terbukti unggul dalam pengenalan pola dan klasifikasi berbasis data historis yang besar, seperti dalam pengolahan citra dan prediksi deret waktu. Di sisi lain,

AE menunjukkan keunggulan dalam permasalahan optimasi global, terutama pada fungsi yang tidak terdiferensiasi dan berdimensi tinggi, seperti dalam penjadwalan dan tuning parameter.

Kelebihan dan keterbatasan masing-masing pendekatan memperkuat pentingnya pemilihan metode berdasarkan konteks masalah: JST cepat dalam prediksi setelah pelatihan namun membutuhkan data besar dan rawan overfitting, sementara AE tahan terhadap minimum lokal namun lebih lambat dalam konvergensi dan membutuhkan daya komputasi tinggi. Hal ini mendorong munculnya pendekatan hybrid (neuroevolution), yang menggabungkan kekuatan eksploratif AE dan kemampuan generalisasi JST untuk menghasilkan sistem yang lebih adaptif, efisien, dan akurat.

Melalui studi kasus aplikatif seperti prediksi harga saham, penjadwalan produksi, dan diagnosa medis otomatis, kombinasi JST dan AE telah menunjukkan potensi sinergistik yang signifikan. AE digunakan untuk mengoptimasi struktur dan parameter JST, sedangkan JST berperan sebagai evaluator dalam proses evolusi solusi.

Dengan demikian, kolaborasi antara JST dan AE menjadi arah penelitian masa depan yang menjanjikan, terutama dalam pengembangan sistem cerdas adaptif yang mampu belajar dan beradaptasi dalam lingkungan dinamis serta data yang kompleks. Pemilihan, integrasi, dan pengembangan teknik hybrid harus dilakukan dengan mempertimbangkan kompleksitas masalah, ketersediaan data, dan efisiensi komputasi agar solusi yang dihasilkan tidak hanya akurat tetapi juga robust dan dapat diterapkan dalam dunia nyata.

DAFTAR REFERENSI

- ADF, A. (2019). Annual Report Annual Report. *Fresenius.Com, December*, 2–2.
- Bäck, T. H. W., Kononova, A. V., van Stein, B., Wang, H., Antonov, K. A., Kalkreuth, R. T., de Nobel, J., Vermetten, D., de Winter, R., & Ye, F. (2023). Evolutionary Algorithms for Parameter Optimization—Thirty Years Later. *Evolutionary Computation*, 31(2), 81–122. https://doi.org/10.1162/evco_a_00325
- Cicirello, V. A. (2024). Evolutionary Computation: Theories, Techniques, and Applications. *Applied Sciences*, 14(6), 2542. <https://doi.org/10.3390/app14062542>
- Courville, I. G. and Y. B. and A. (2016). Deep learning 简介一、什么是 Deep Learning ? . *Nature*, 29(7553), 1–73. <http://deeplearning.net/>
- Das, S., & Suganthan, P. N. (2011). Differential Evolution: A Survey of the State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 15(1), 4–31. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2010.2059031>
- Daun, M., Grubb, A. M., Stenkova, V., & Tenbergen, B. (2023). A systematic literature review of requirements engineering education. In *Requirements Engineering* (Vol. 28, Issue

2). Springer London. <https://doi.org/10.1007/s00766-022-00381-9>

- Ding, S., Li, H., Su, C., Yu, J., & Jin, F. (2013). Evolutionary artificial neural networks: a review. *Artificial Intelligence Review*, 39(3), 251–260. <https://doi.org/10.1007/s10462-011-9270-6>
- Gavrilescu, M., Floria, S.-A., Leon, F., & Curteanu, S. (2022). A Hybrid Competitive Evolutionary Neural Network Optimization Algorithm for a Regression Problem in Chemical Engineering. *Mathematics*, 10(19), 3581. <https://doi.org/10.3390/math10193581>
- Grigorescu, S., Trasnea, B., Cocias, T., & Macesanu, G. (2020). A survey of deep learning techniques for autonomous driving. *Journal of Field Robotics*, 37(3), 362–386. <https://doi.org/10.1002/rob.21918>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Li, X., Pu, R., & Yuan, Y. (2022). Deep Neural Networks for Stock Market Prediction. 2022 *International Conference on Computers, Information Processing and Advanced Education (CIPAE)*, 214–218. <https://doi.org/10.1109/CIPAE55637.2022.00053>
- Liu, J., Sarker, R., Elsayed, S., Essam, D., & Siswanto, N. (2024). Large-scale evolutionary optimization: A review and comparative study. *Swarm and Evolutionary Computation*, 85, 101466. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2023.101466>
- López-Vázquez, G., Espinal, A., Ornelas-Rodríguez, M., Soria-Alcaraz, J. A., Rojas-Domínguez, A., Puga, H., Carpio, J. M., & Rostro-González, H. (2020). *Comparing Evolutionary Artificial Neural Networks from Second and Third Generations for Solving Supervised Classification Problems* (pp. 615–628). https://doi.org/10.1007/978-3-030-35445-9_42
- Mirza, R., Taufiq, T., & Nurdin, N. (2022). Pemantau pH Air Tambak Udang Vaname Berbasis Internet of Things dengan Antarmuka Bot Telegram. *Medika Teknika : Jurnal Teknik Elektromedik Indonesia*, 4(1), 63–71. <https://doi.org/10.18196/mt.v4i1.15720>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Nabipour, M., Nayyeri, P., Jabani, H., Mosavi, A., Salwana, E., & S., S. (2020). Deep Learning for Stock Market Prediction. *Entropy*, 22(8), 840. <https://doi.org/10.3390/e22080840>
- Nair, B. B., Sai, S. G., Naveen, A. N., Lakshmi, A., Venkatesh, G. S., & Mohandas, V. P. (2011). A GA-artificial neural network hybrid system for financial time series forecasting. *Communications in Computer and Information Science*, 147 CCIS(November 2021), 499–506. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20573-6_91
- Patil, R. S., Jadhav, S. P., & Patil, M. D. (2024). Review of Intelligent and Nature-Inspired Algorithms-Based Methods for Tuning PID Controllers in Industrial Applications. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 5(2), 336–358. <https://doi.org/10.18196/jrc.v5i2.20850>

- Puspasari, H. W., & Pawitaningtyas, I. (2020). Masalah Kesehatan Ibu Dan Anak Pada Pernikahan Usia Dini Di Beberapa Etnis Indonesia; Dampak Dan Pencegahannya. *Buletin Penelitian Sistem Kesehatan*, 23(4), 275–283. <https://doi.org/10.22435/hsr.v23i4.3672>
- Reddy, M. J., & Kumar, D. N. (2006). Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms. *Water Resources Management*, 20(6), 861–878.
- Roheen Qamar, & Baqar Ali Zardari. (2023). Artificial Neural Networks: An Overview. *Mesopotamian Journal of Computer Science*, 2023, 124–133. <https://doi.org/10.58496/MJCSC/2023/015>
- Serey, J., Alfaro, M., Fuertes, G., Vargas, M., Durán, C., Ternero, R., Rivera, R., & Sabattin, J. (2023). Pattern Recognition and Deep Learning Technologies, Enablers of Industry 4.0, and Their Role in Engineering Research. *Symmetry*, 15(2), 535. <https://doi.org/10.3390/sym15020535>
- Simon Haykin. (2018). Neural Networks and Learning Machines. In *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology: ABC of Bioinformatics* (Vols. 1–3). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20339-7>
- Srikumar, A., & Pande, S. D. (2023). Comparative analysis of various Evolutionary Algorithms: Past three decades. *ICST Transactions on Scalable Information Systems*. <https://doi.org/10.4108/eetsis.4356>
- Staffs, K. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. *Technical Report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE, January 2007*, 1–57.
- Taufik, T., Nurdin, N., & Taufiq, T. (2023). Penerapan Smart Wastafel Berbasis Internet of Things dengan Menggunakan Aplikasi Blynk dan Cloud. *Medika Teknika : Jurnal Teknik Elektromedik Indonesia*, 5(1), 67–78. <https://doi.org/10.18196/mt.v5i1.19576>
- Yaghoubi, E., Yaghoubi, E., Khamees, A., & Vakili, A. H. (2024). A systematic review and meta-analysis of artificial neural network, machine learning, deep learning, and ensemble learning approaches in field of geotechnical engineering. *Neural Computing and Applications*, 36(21), 12655–12699. <https://doi.org/10.1007/s00521-024-09893-7>