



Penerapan Metode GA-TOPSIS untuk Sistem Seleksi Karakter Game dengan Pembobotan Dinamis Berbasis Sensor Suhu

Aji Bagas Prakasa^{1,*}, Fresy Nugroho^{2,3}, Muhammad Faisal², Tri Mukti Lestari², Alfina Nurrahma 'N¹, Adnan Muhammad²

¹ Fakultas Sains dan Teknologi, Prodi Magister Informatika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, Malang, Indonesia,

² Fakultas Sains dan Teknologi, Prodi Teknik Informatika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Malang, Indonesia,

³ Fakultas Sains dan Teknologi, Prodi Teknik Mesin, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Malang, Indonesia
Email: ^{1,*}Ajib5524@gmail.com, ²fresy@ti.uin-malang.ac.id, ³mfaisal@ti.uin-malang.ac.id, ⁴trimuktilestari@ti.uin-malang.ac.id,

⁵alfinanurrahman15@gmail.com, ⁶adnanmuhammad0260@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: Ajib5524@gmail.com

Abstrak—Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pendukung keputusan untuk seleksi karakter optimal dengan menerapkan metode *hybrid* Algoritma Genetika dan TOPSIS (GA-TOPSIS) yang mempertimbangkan variasi temporal dalam kriteria pembobotan. Pendekatan ini mengintegrasikan kemampuan optimasi Algoritma Genetika dalam menentukan bobot kriteria secara otomatis dengan teknik pengambilan keputusan *multi-kriteria* TOPSIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi GA menghasilkan variasi pembobotan yang signifikan sesuai skenario waktu: pada kondisi Pagi dengan dominasi kriteria Gerakan (82%), Siang dengan penekanan pada Tinggi Badan (52%) dan Nyawa (38%), serta Malam yang didominasi Pertahanan (85%). Evaluasi menggunakan TOPSIS menghasilkan peringkat alternatif yang berbeda untuk setiap skenario. Pada kondisi Pagi, alternatif A4 mencapai skor CC_i tertinggi (0.83) karena keunggulan dalam kriteria Gerakan. Skenario Siang menempatkan A2 sebagai optimal ($CC_i=0.90$) berkat performa pada Tinggi Badan dan Nyawa, sedangkan di Malam, A3 unggul ($CC_i=0.89$) dengan Pertahanan terbaik. Konsistensi hasil ditunjukkan oleh A1 yang selalu berada di peringkat terbawah karena nilai kriteria yang minimal. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem pendukung keputusan adaptif, khususnya yang memerlukan penyesuaian bobot dinamis berdasarkan perubahan kondisi lingkungan. Potensi integrasi dengan teknologi IoT untuk pembaruan bobot secara real-time menjadi nilai tambah penerapan metode ini.

Kata Kunci: GA-TOPSIS; Game; DSS; MCDM; Multimedia

Abstract—This study aims to develop a decision support system for optimal character selection by implementing a hybrid Genetic Algorithm and TOPSIS (GA-TOPSIS) method that considers temporal variations in criterion weighting. The approach combines the optimization capability of Genetic Algorithms for automatic weight determination with the multi-criteria decision-making technique of TOPSIS. The research results demonstrate that GA optimization produces significant variations in weighting according to time scenarios: morning conditions dominated by Movement (82%), daytime emphasizing Height (52%) and Health (38%), and nighttime dominated by Defense (85%). Evaluation using TOPSIS yields different alternative rankings for each scenario. In morning conditions, alternative A4 achieves the highest CC_i score (0.83) due to its superiority in Movement criteria. The daytime scenario ranks A2 as optimal ($CC_i=0.90$) because of its performance in Height and Health, while at night, A3 excels ($CC_i=0.89$) with the best Defense. Result consistency is shown by A1 consistently ranking lowest due to minimal criterion values. This research makes important contributions to the development of adaptive decision support systems, particularly those requiring dynamic weight adjustments based on environmental changes. The potential integration with IoT technology for real-time weight updates adds value to the method's application.

Keywords: GA-TOPSIS; Game; DSS; MCDM; Multimedia

1. PENDAHULUAN

Personalisasi dan adaptabilitas telah menjadi komponen penting dalam industri *game* modern, berperan besar dalam meningkatkan kepuasan pemain. Salah satu aspek kunci personalisasi adalah pemilihan karakter *avatar*, yang tidak hanya menyesuaikan preferensi visual pemain tetapi juga memengaruhi taktik permainan dan performa keseluruhan. Dalam *game* berbasis misi atau kompetitif, memilih *avatar* yang sesuai dengan kemampuan atau gaya bermain sering kali krusial untuk meraih hasil terbaik (Horrigian, 2021). Namun, proses pengambilan keputusan ini bisa memakan waktu dan rumit, terutama dalam *game* yang menawarkan banyak karakter dengan atribut kompleks.

Metode konvensional seperti mengandalkan insting pemain atau saran dari komunitas sering kali kurang optimal. Untuk mengatasinya, bot otomatis berbasis AI menawarkan solusi yang menjanjikan (Zaman et al., 2023). Dalam penelitian Sadeghi-Niaraki (2020), bot-bot ini telah berhasil diterapkan di berbagai bidang, seperti pemantauan media sosial, sistem pendukung pendidikan, terapi insomnia, pertanian pintar, dan wawancara virtual.

Dalam *game*, bot AI dapat menganalisis data pemain—termasuk gaya bermain, preferensi, performa sebelumnya, persepsi, dan ekspektasi untuk merekomendasikan karakter *avatar* yang paling cocok. Ini tidak hanya mempercepat pengambilan keputusan tetapi juga bisa meningkatkan performa dalam *game* (Jannah, 2023).

Tantangan tambahannya, *game* *Endless Runner* terus berkembang, dengan developer merilis *patch* keseimbangan yang menyesuaikan *skill* karakter, menyempurnakan atribut pemain untuk menjaga keadilan, dan memperkenalkan karakter baru (Nurrahman et al., 2024). Pembaruan ini dapat mengubah popularitas dan efektivitas karakter secara signifikan, baik karena peningkatan (*buffs*), penurunan (*nerfs*), atau hadirnya alternatif yang lebih kuat.

Perubahan frekuensi ini mempersulit sistem pengambilan keputusan otomatis, karena rekomendasi yang efektif di satu versi sudah kedaluwarsa di versi berikutnya, menyulitkan konsistensi data antar-pembaruan (Setiawansyah, 2022).

Analisis performa pemain memiliki aplikasi luas. Misalnya, pelatih bisa menggunakannya untuk menilai efektivitas pemain dan membuat keputusan terkait seleksi tim. Manajer klub dan *scout* dapat mengevaluasi bakat untuk perekrutan, sementara *fans* bisa membandingkan pemain menggunakan metrik performa. (Shi et al., 2022) Bagi pemain sendiri, *rating* kualitas memberikan *insight* tentang kelebihan dan kekurangan mereka, menjadi motivasi untuk peningkatan. Namun, sebagai evaluasi ini sering melibatkan elemen subjektif dan memerlukan usaha besar (Al-Hchaimi et al., 2023). Dengan kemajuan analisis data dan evaluasi karakter, sistem berbasis performa semakin populer dan banyak diadopsi.

Dengan kemajuan dalam evaluasi karakter dan analitik data, sistem berbasis kinerja semakin diminati dan diadopsi secara lebih luas. Pada saat yang sama, minat penelitian (Wu et al., 2024) terhadap *Internet of Things* (IoT) telah meningkat secara signifikan sejak tahun 2015, karena telah menunjukkan potensi untuk meningkatkan efisiensi sistem dan pengalaman pengguna. Salah satu arah yang menjanjikan terletak pada integrasi IoT dengan lingkungan cerdas seperti rumah dan kota pintar, di mana perangkat dan sensor yang saling terhubung bekerja sama untuk mengoptimalkan fungsionalitas.

Dalam konteks ini, sistem saran virtual seperti bot berfungsi sebagai alat rekomendasi tidak langsung yang beroperasi melalui platform digital untuk melakukan tugas atau memberikan layanan berdasarkan masukan pengguna (Liang & Li, 2023). Salah satu contoh paling umum adalah *chatbot*, yang banyak digunakan di berbagai sektor seperti pendidikan, dan perdagangan.

Seiring waktu, sistem saran virtual telah berevolusi untuk mencakup fitur-fitur seperti koreksi tata bahasa, penilaian daring, dan asisten virtual. Banyak dari sistem ini juga dapat dipasangkan dengan perangkat tertentu melalui teknologi IoT (*Internet of Things*). Penelitian di domain IoT terus berkembang, bertujuan untuk menciptakan sistem yang lebih cerdas di berbagai aplikasi. Contohnya termasuk otomatisasi rumah yang diaktifkan dengan suara dan *fog computing*, yang mengurangi latensi dan meningkatkan Kualitas Layanan (QoS) (Durand et al., 2024).

IoT juga memainkan peran utama dalam pengembangan sistem kereta api cerdas, sering kali bersamaan dengan *edge computing* untuk meminimalkan permintaan pemrosesan pada perangkat IoT selama tugas pembelajaran mesin. Secara keseluruhan, kemajuan ini menyoroti peran kuat yang dimainkan IoT dalam membangun sistem yang lebih responsif dan cerdas yang meningkatkan pengalaman pengguna di berbagai industri (Ningrum et al., 2021).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Teknik pengambilan keputusan *multi*-kriteria berbasis (MCDM) yang diterapkan pada GA-TOPSIS akan menyelesaikan masalah umum dalam MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*) yang berkaitan dengan data kuantitatif terbatas dan bobot kriteria yang tidak diketahui. (Katoch et al., 2021) Dengan mengonfigurasi peringkat bobot standar dan evaluasi nilai alternatif yang dinyatakan melalui urutan, skor preferensi untuk setiap alternatif dapat diperoleh. Mengenai data Alternatif, hubungan terakhir antar alternatif tidak didefinisikan sebagai satu kesatuan, melainkan sebagai respons terhadap *Preferential Independence Relation* (PIR) antara dua alternatif, dengan $|j|=1,2,...,n\}$ sebagai aturan kriteria dan $|i|=1,2,...,m\}$ sebagai himpunan alternatif. Masalah MCDM terdiri dari sekumpulan kriteria C dan alternatif A , di mana skor preferensi keseluruhan untuk alternatif dikumpulkan berdasarkan daftar kriteria dan alternatif yang ada. Dalam menerapkan penelitian ini terdapat skenario yang dapat berdampak dengan hasil akhir. berbagai skenario di jabarkan



Gambar 1. Skenario waktu

Diagram pada Gambar 1 menggambarkan hubungan antara skenario utama yang disebut sebagai "Skenario Utama dengan Waktu" dan berbagai skenario alternatif yang mempertimbangkan aspek temporal. Terdapat empat alternatif berbeda yang diberi label SA1, SA2, SA3, dan SA4, masing-masing mewakili pilihan yang dapat diaplikasikan dalam konteks yang beragam.

Setiap alternatif terhubung dengan tiga skenario waktu berbeda yaitu SP (Skenario Pagi), SS (Skenario Siang), dan SM (Skenario Malam). Keterkaitan ini menunjukkan bahwa setiap alternatif dapat diterapkan pada ketiga periode waktu tersebut, sehingga memungkinkan evaluasi terhadap keempat alternatif baik di pagi, siang maupun malam hari. Pendekatan ini memungkinkan eksplorasi berbagai kombinasi untuk keperluan analisis maupun pengambilan keputusan.

Mengenai tahapan proyek, setiap proyek akan melalui serangkaian fase penting yang diawali dengan pengumpulan dan persiapan data, kemudian dilanjutkan dengan perancangan *game*, evaluasi, pengujian, serta analisis hasil. Gambar 2 dalam metodologi secara visual mendemonstrasikan alur tahapan-tahapan tersebut secara berurutan.

Penjelasan ini mempertahankan istilah-istilah teknis seperti *scenario*, *evaluation*, dan *testing* karena sudah menjadi kosakata baku dalam bidang ini. Struktur kalimat sengaja dirancang agar mengalir secara natural dalam Bahasa Indonesia tanpa mengubah esensi makna aslinya. Singkatan skenario (SP, SS, SM) tetap dipertahankan untuk menjaga konsistensi dengan notasi yang digunakan dalam diagram referensi.



Gambar 2. Metodologi penelitian

Gambar 2 memvisualisasikan tahapan metodologi yang diterapkan dalam pengembangan sistem, terdiri atas tiga tahap utama: Persiapan Data, Perancangan *Game*, dan Evaluasi serta Pengujian. Pada tahap Persiapan Data, fokus utama terletak pada pengumpulan dan pengorganisasian seluruh data yang diperlukan, mencakup statistik karakter, parameter *gameplay*, serta kriteria evaluasi. Data tersebut kemudian dibersihkan dan diproses secara matang untuk memastikan kesiapan integrasinya ke dalam sistem.

Beranjak ke tahap Perancangan *Game*, para pengembang membangun struktur *game* secara komprehensif. Proses ini meliputi penyusunan desain visual, logika *gameplay*, serta komponen pengambilan keputusan seperti penerapan GA-TOPSIS untuk rekomendasi karakter. Setelah implementasi *game* selesai, tahap Evaluasi dan Pengujian dilaksanakan untuk memverifikasi kelayakan seluruh fitur serta memastikan pengalaman pengguna yang menarik dan efektif. Umpan balik dari tahap ini menjadi bahan penyempurnaan sebelum *game* dirilis secara final (Hutchinson, 2021).

2.1 GA-TOPSIS

GA-TOPSIS adalah metode *hybrid* yang menggabungkan Algoritma Genetika (GA) dengan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) untuk pengambilan keputusan *multikriteria*. GA berperan *mengoptimasi* pembobotan kriteria secara otomatis melalui proses evolusi (seleksi, *crossover*, mutasi), sementara TOPSIS mengevaluasi dan meranking alternatif berdasarkan bobot yang dihasilkan GA. Integrasi ini mengatasi kelemahan TOPSIS konvensional yang bergantung pada pembobotan subjektif, sehingga menghasilkan keputusan yang lebih objektif dan terukur.

2.1.1 Genetic Algorithm

1. Representasi Kromosom

Bagian ini mendefinisikan struktur penyimpanan solusi potensial dalam GA yang dalam penelitian ini berupa vektor bobot kriteria. (Mazoukh et al., 2024) Setiap kromosom merepresentasikan satu set bobot lengkap untuk semua kriteria dengan panjang sesuai jumlah kriteria yang ada, *dimana* setiap gen menyimpan nilai bobot satu kriteria tertentu. Representasi ini dirancang untuk memenuhi *constraint* bahwa total bobot seluruh kriteria harus bernilai 1, sehingga mempertahankan konsistensi matematis dalam proses optimasi.

$$\vec{w} = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n] \quad (1)$$

Setelah di tentukan kromosomnya di lanjutkan dengan Normalisasi nilai. Normalisasi ini memastikan bahwa total bobot dari seluruh kriteria harus berjumlah 1, sebagai syarat normalisasi bobot. *Constraint* ini menjaga validitas solusi agar konsisten secara matematis dan logis dalam konteks TOPSIS dengan rumus sebagai berikut.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

2. Fungsi Fitness

Fungsi *fitness* dalam penelitian ini menggunakan mekanisme evaluasi kualitas setiap kromosom melalui metode TOPSIS. *Closeness Coefficient* (CC_i) dari TOPSIS berperan sebagai indikator kualitas utama yang menentukan seberapa baik suatu kromosom memenuhi tujuan optimasi. (Gad, 2024) Pendekatan ini memastikan bahwa solusi yang dihasilkan tidak hanya optimal secara genetika tetapi juga valid secara logika pengambilan keputusan.

$$Fitness = CC_i = \frac{D^-}{D^+ + D^-} \quad (3)$$

Untuk mendapatkan nilai D^+ dan D^- , digunakan rumus Euclidean distance antara alternatif dengan solusi ideal positif dan negatif. Jarak ini dihitung berdasarkan nilai-nilai yang telah dinormalisasi dan dibobotkan.

$$D^+ = \sqrt{\sum (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad D^- = \sqrt{\sum (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad (4)$$

3. Operasi Genetik

Proses evolusi solusi dilakukan melalui tiga operator utama yang bekerja secara berurutan. Operator seleksi bertugas memilih kromosom terbaik sebagai calon orang tua berdasarkan nilai *fitness* mereka. Selanjutnya operator *crossover* menggabungkan sifat-sifat genetik dari dua orang tua untuk menghasilkan keturunan dengan karakteristik baru. Terakhir, operator mutasi memperkenalkan variasi genetik acak yang terkontrol untuk menjaga keragaman populasi dan mencegah konvergensi prematur.

$$p_i = \frac{Fitness_i}{\sum Fitness} \quad (5)$$

Setelah seleksi, proses *crossover* dilakukan untuk menggabungkan dua induk dan menghasilkan anak baru. *Crossover* yang digunakan adalah *crossover* aritmatika, yaitu proses pencampuran dua kromosom berdasarkan bobot tertentu. Hasilnya adalah kromosom baru yang merupakan kombinasi dari dua induk.

$$\vec{W}_{child} = a\vec{W}_{parent1} + (1 - a)\vec{W}_{parent2} \quad (6)$$

Setelah proses *crossover* dilakukan Mutasi *Gaussian* yang bertujuan untuk memperkenalkan variasi dalam populasi dan mencegah konvergensi prematur terhadap solusi lokal. Mutasi dilakukan dengan menambahkan *noise* acak yang mengikuti distribusi *Gaussian* terhadap nilai bobot pada kromosom. Hal ini memungkinkan pencarian ruang solusi yang lebih luas.

$$w'_i = w_i + N(0, \sigma) \quad (7)$$

2.1.2 TOPSIS

1. Normalisasi Matriks

Proses normalisasi matriks dilakukan untuk mentransformasi data mentah menjadi bentuk yang dapat dibandingkan secara adil. (Wang et al., 2022) Transformasi ini penting untuk menyamakan skala berbagai kriteria yang mungkin memiliki satuan dan rentang nilai berbeda, sekaligus menghilangkan bias yang mungkin timbul akibat perbedaan karakteristik pengukuran antar kriteria.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum x_{ij}^2}} \quad (8)$$

2. Pembobotan

Pembobotan matriks mengaplikasikan bobot optimal yang dihasilkan dari proses GA ke dalam matriks ternormalisasi. (Singh et al., 2023) Proses ini memberikan penekanan berbeda pada setiap kriteria sesuai dengan tingkat kepentingannya, sehingga mencerminkan prioritas aktual dalam pengambilan keputusan dan menghasilkan matriks keputusan yang telah dibobotkan secara proporsional.

$$v_{ij} = r_{ij} \times w_j \quad (9)$$

3. Solusi Ideal

Penentuan solusi ideal bertujuan untuk menetapkan titik referensi yang menjadi acuan dalam evaluasi alternatif. Solusi ideal positif merepresentasikan performa terbaik yang mungkin dicapai, sementara solusi ideal negatif menunjukkan kondisi terburuk yang perlu dihindari. Kedua titik yang di sebut *Benefit* dan *Cost* ini menjadi dasar penting dalam perhitungan jarak relatif setiap alternatif.

Benefit

$$v_j^+ = \max(v_{ij}), \quad v_j^- = \min(v_{ij}) \quad (10)$$

Cost

$$v_j^+ = \min(v_{ij}), \quad v_j^- = \max(v_{ij}) \quad (11)$$

4. Perhitungan Ranking

Mekanisme perhitungan *ranking* dirancang untuk menentukan urutan preferensi alternatif secara komprehensif. Proses ini melibatkan perhitungan jarak setiap alternatif terhadap solusi ideal positif dan negatif, kemudian menentukan kedekatan relatifnya untuk menghasilkan skor akhir yang merepresentasikan tingkat *optimalitas* masing-masing alternatif.

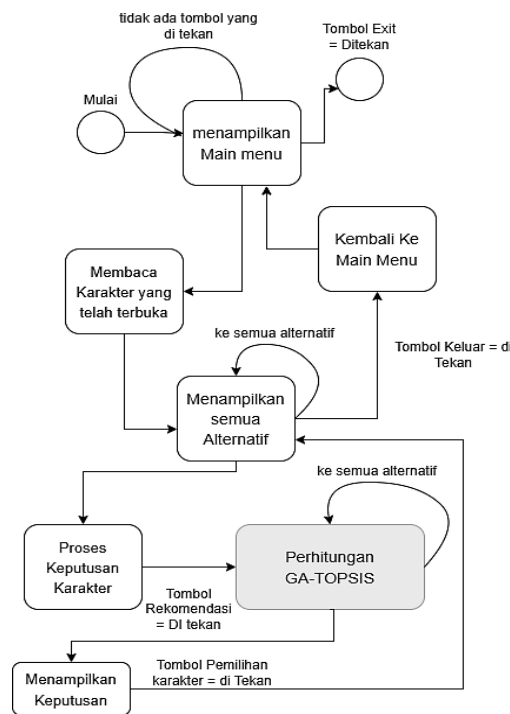
$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (12)$$

2.3 Diagram Alir Metodologi

Diagram alir berfungsi sebagai representasi visual yang menggambarkan alur kerja penelitian secara keseluruhan. Diagram ini secara jelas menunjukkan tahapan integrasi antara GA dan TOPSIS, termasuk proses *iteratif* dalam optimasi bobot serta alur logis pengambilan keputusan akhir, sehingga memudahkan pemahaman terhadap keseluruhan metodologi.

2.4 Validasi

Proses validasi merupakan tahap kritis untuk memverifikasi keandalan metode yang diusulkan. Validasi dilakukan melalui uji konsistensi dengan membandingkan hasil terhadap metode lain, serta uji sensitivitas untuk mengevaluasi kestabilan hasil terhadap variasi parameter.(Nguyen et al., 2022) Tahap ini memastikan bahwa metode GA-TOPSIS yang dikembangkan benar-benar unggul dibandingkan pendekatan konvensional dan layak untuk diaplikasikan dalam berbagai skenario pengambilan keputusan nyata.

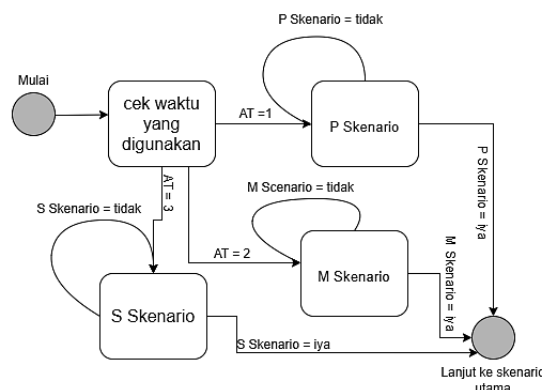


Gambar 3. FSM GA-TOPSIS.

Gambar 3 menunjukkan diagram FSM yang menjelaskan alur sistem rekomendasi karakter dalam *game*. Proses dimulai dari menu utama saat pemain menekan tombol "Mulai". Sistem kemudian membaca daftar karakter yang tersedia (A1-A4) dan yang sudah terbuka (*unlocked*) oleh pemain.

Pemain memiliki dua pilihan: memilih karakter secara manual atau menggunakan fitur rekomendasi. Jika memilih rekomendasi, sistem akan menjalankan perhitungan GA-TOPSIS untuk menganalisis dan *meranking* karakter berdasarkan berbagai kriteria tertentu. Hasil rekomendasi akan ditampilkan kepada pemain.(Setiawansyah, 2022).

Seluruh proses ini bersifat dinamis - pemain bisa kembali ke menu utama kapan saja dengan menekan tombol "Keluar". Sistem dirancang untuk memberikan fleksibilitas sekaligus bantuan dalam pemilihan karakter yang optimal.

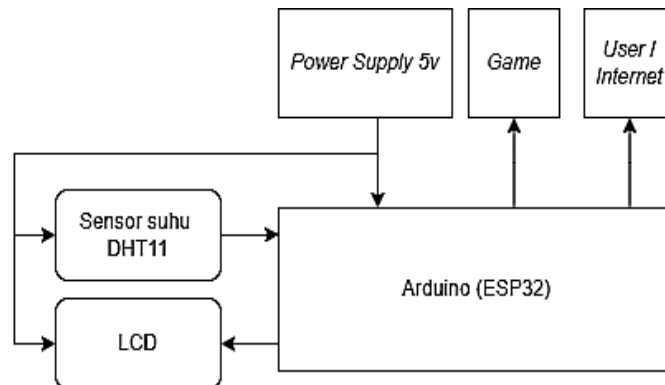


Gambar 4. FSM Skenario waktu

Diagram FSM pada Gambar 4 menjelaskan mekanisme pemilihan dan eksekusi skenario berdasarkan penentuan waktu melalui parameter suhu. Proses diawali dengan sistem membaca suhu lingkungan saat ini untuk menentukan Waktu Aktual (*Actual Time/AT*). Terdapat tiga kondisi utama dalam sistem ini. Pertama, apabila suhu terdeteksi di bawah 30°C, sistem akan mengkategorikannya sebagai waktu malam ($AT=3$) dan mengarahkan alur eksekusi ke Skenario S. Kedua, ketika suhu berada pada kisaran 30-35°C, sistem menetapkannya sebagai waktu pagi ($AT=1$) dan beralih ke Skenario P. Ketiga, untuk suhu di atas 35°C, sistem mengidentifikasinya sebagai waktu siang ($AT=2$) dan menjalankan Skenario M. Setiap skenario memiliki persyaratan kondisi khusus yang harus dipenuhi. Sistem secara otomatis akan memverifikasi pemenuhan kondisi tersebut sebelum dapat melanjutkan proses ke skenario utama. Pendekatan ini memungkinkan sistem beradaptasi secara dinamis dengan perubahan kondisi lingkungan melalui parameter suhu, sekaligus memastikan setiap skenario hanya dieksekusi ketika semua persyaratannya terpenuhi dengan baik.

2.5 IOT

Proses evaluasi terhadap fitur rekomendasi karakter memerlukan partisipasi pemain dalam mengikuti protokol yang telah ditetapkan dalam sistem permainan. Pada tahap awal, pemain diwajibkan untuk memilih waktu permainan (*time of gameplay*), mengingat setiap lokasi dalam permainan akan menghasilkan rekomendasi yang berbeda berdasarkan *temporalitas* yang dipilih. (Danuputri et al., 2020) Dalam rangka optimalisasi proses seleksi map, telah diintegrasikan perangkat *Internet of Things* (IoT) berupa modul ESP32 (seperti terilustrasikan pada Gambar 5) yang berfungsi sebagai sensor DHT11 untuk memantau suhu ruangan secara *real-time*. Data ini selanjutnya dimanfaatkan sebagai parameter tambahan dalam algoritma rekomendasi guna meningkatkan akurasi dan personalisasi saran karakter yang dihasilkan. Dalam pengumpulan data di perlukan sebuah rancangan hardware sebagai berikut.



Gambar 5. ESP32 dengan sensor suhu

Gambar 5 menunjukkan modul ESP32 yang membaca suhu ruangan secara *real-time* dan memetakan datanya ke lingkungan dalam *game*. Integrasi ini memungkinkan pengalaman bermain yang dinamis sesuai kondisi suhu ruangan. Pemetaan suhu ke waktu dalam *game* dilakukan sebagai berikut:

- Di bawah 30°C: Waktu malam
- 30°C sampai 35°C: Waktu pagi
- Di atas 35°C: Waktu siang

Sistem ini menyesuaikan lingkungan dunia nyata secara otomatis berdasarkan suhu tubuh pemain yang terukur.

2.6 Kriteria

Berdasarkan Tabel 1, kriteria yang digunakan dalam *game* dapat dikategorikan menjadi dua jenis: *benefit* (keuntungan) dan *cost* (biaya). Kriteria *benefit* memberikan keuntungan yang meningkatkan kemampuan atau performa karakter/objek, sedangkan kriteria *cost* merupakan kerugian yang umumnya mengurangi efektivitas karakter/objek.

Tabel 1. Daftar Kriteria

Variabel	Nama	Kriteria
f1	<i>Movement</i>	<i>Benefit</i>
f2	<i>Health</i>	<i>Benefit</i>
f3	<i>Tall</i>	<i>Cost</i>
f4	<i>Weight</i>	<i>Cost</i>
f5	<i>Defend</i>	<i>Benefit</i>

Berikut penjelasan detail setiap kriteria:

- Movement* (Pergerakan)

Mengacu pada kemampuan karakter/objek untuk bergerak dalam lingkungan *game*. Termasuk kriteria *benefit* karena mobilitas yang lebih tinggi memberikan keuntungan.



b. *Health* (Kesehatan)

Menunjukkan jumlah vitalitas yang dimiliki karakter/objek. Dikategorikan sebagai *benefit* karena kesehatan yang lebih tinggi meningkatkan daya tahan hidup karakter.

c. *Height* (Tinggi)

Merupakan ukuran fisik karakter/objek. Kriteria ini dapat bersifat *benefit* atau *cost* tergantung konteks. Misalnya, tinggi yang lebih besar menguntungkan untuk serangan dari posisi elevasi, tetapi merugikan saat menghindari rintangan.

d. *Weight* (Berat)

Menunjukkan massa karakter/objek. Umumnya termasuk kriteria *cost* karena berat yang berlebihan dapat mengurangi kelincahan dan kecepatan gerak.

e. *Defense* (Pertahanan)

Menggambarkan kemampuan karakter/objek untuk menahan serangan atau kerusakan. Termasuk kriteria *benefit* karena pertahanan yang tinggi meningkatkan ketahanan saat terjadi benturan atau serangan.

2.7 Alternatif

Selanjutnya, setiap alternatif akan diberi nilai berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan, dan hasilnya disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Setiap Alternatif

	f1	f2	f3	f4	f5
a1	1	1	160	65	1
a2	1	2	116	32	2
a3	1	4	133	45	4
a4	3	3	163	60	3

Proses penetapan nilai pada Tabel 2 dilakukan melalui serangkaian *pairwise comparison* untuk menghasilkan rekomendasi yang kontekstual. Bobot akhir pada Tabel 3 disesuaikan dengan pertimbangan temporal berikut:

a. Malam

Prioritas diberikan pada pertahanan tinggi akibat keterbatasan visibilitas yang meningkatkan risiko tabrakan dengan rintangan tak terlihat.

b. Pagi

Fokus pada peningkatan tinggi karakter untuk mengatasi keterbatasan visibilitas akibat sudut matahari rendah, memperluas jangkauan pandangan pemain.

c. Siang

Kecepatan gerak menjadi parameter utama untuk memaksimalkan efisiensi pencapaian tujuan dalam kondisi pencahayaan optimal.

Penyesuaian bobot pada tabel 3 ini memastikan sistem rekomendasi merespons dinamika lingkungan permainan secara adaptif.

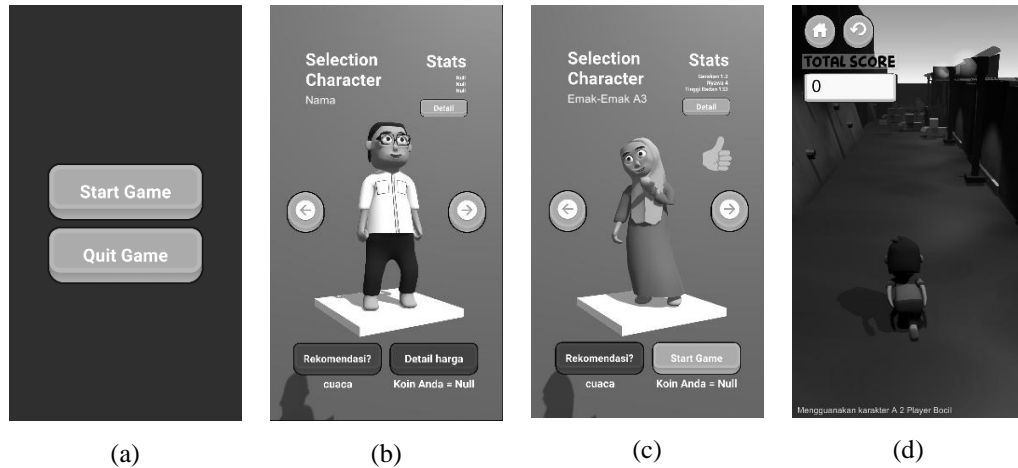
Tabel 3. Daftar Bobot

	f1	f2	f3	f4	f5
Pagi	0.8	0.05	0.04	0.06	0.05
Siang	0.02	0.36	0.60	0.02	0.04
Malam	0.02	0.05	0.03	0.1	0.8

Tabel 3, Daftar Bobot menyajikan nilai bobot untuk lima kriteria (f1 hingga f5) yang digunakan dalam proses perhitungan TOPSIS. Bobot-bobot ini disusun berdasarkan pertimbangan konseptual dan skenario penggunaan yang ditetapkan oleh peneliti, bukan hasil dari proses optimasi algoritma genetika. Tujuan dari penetapan bobot ini adalah untuk menguji bagaimana variasi bobot terhadap kriteria dapat memengaruhi hasil peringkat alternatif pada kondisi waktu yang berbeda, yaitu pagi, siang, dan malam.

2.8 Game Design

Storyboard berfungsi sebagai panduan dasar untuk proses implementasi dengan menggambarkan secara visual konsep *game* dan alur naratif dari awal hingga akhir, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 6.



Gambar 6. Game Design (a) Main menu. (b) List Character. (c) Suggestion Mark. (d) Gameplay Game

Gambar (a) merupakan menu utama. Pemain dapat memulai permainan atau keluar dari permainan. Ketika pemain ingin memulai permainan, pemain harus menekan tombol. Pada Gambar (b), terdapat daftar karakter sehingga pemain dapat memilih karakter sesuai keinginan. Pada Gambar (c), halaman ini memungkinkan pemain untuk menerima saran karakter berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Pada Gambar (d), halaman ini menampilkan antarmuka utama permainan di mana pemain berinteraksi dengan lingkungan permainan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan dari metode memberikan berbagai temuan. Kedua metode tersebut dibandingkan untuk menilai akurasi dan keberhasilan dalam merekomendasikan karakter terbaik.

Tabel 4. Hasil Optimasi Bobot dengan GA

Skenario	Gerakan (w ₁)	Nyawa (w ₂)	Tinggi Badan (w ₃)	Berat (w ₄)	Pertahanan (w ₅)	Generasi ke-	<i>Fitness</i> Terbaik
Pagi	0.82	0.04	0.03	0.06	0.05	47	0.85
Siang	0.06	0.38	0.52	0.02	0.02	52	0.92
Malam	0.01	0.04	0.02	0.08	0.85	38	0.89

Pada Tabel 4 hasil optimasi bobot menggunakan Algoritma Genetika (GA) menunjukkan pola pembobotan yang berbeda secara signifikan untuk setiap skenario waktu. Pada skenario Pagi, GA mengkonvergensi bobot optimal dengan dominasi kriteria Gerakan sebesar 0.82, disertai bobot kecil untuk kriteria lain seperti Nyawa (0.04) dan Pertahanan (0.05), yang mencapai nilai *fitness* tertinggi 0.85 dalam 47 generasi. Untuk skenario Siang, proses optimasi menghasilkan bobot yang lebih seimbang antara Tinggi Badan (0.52) dan Nyawa (0.38), dengan konvergensi tercapai pada generasi ke-52 dan *fitness* 0.92. Pola pembobotan ini secara jelas merefleksikan prioritas kriteria yang berbeda untuk setiap skenario waktu, sekaligus menunjukkan kemampuan GA dalam menangkap hubungan kompleks antara kriteria dan kondisi lingkungan yang divariasikan.

Tabel 5. Hasil pagi hari

Alt	D_i^+	D_i^-	CC_i	Rank
A1	0.78	0.12	0.13	4
A2	0.65	0.28	0.3	3
A3	0.42	0.45	0.52	2
A4	0.15	0.72	0.83	1

Pada Tabel 5, dalam skenario pagi hari, di mana kriteria *Movement* (0,80) sangat diprioritaskan, Alternatif 4 (A4) menjadi pilihan utama dengan skor CC_i sebesar 0,83. Hal ini disebabkan oleh nilai *Movement* A4 yang sangat baik (3, dikonversi menjadi TFN (3,5,7)), sehingga sangat selaras dengan bobot tinggi yang diberikan pada kriteria tersebut. Nilai D_i^+ yang kecil (0,15) menunjukkan bahwa A4 sangat dekat dengan solusi ideal, sedangkan nilai D_i^- yang besar (0,72) menandakan bahwa A4 cukup jauh dari skenario terburuk. Alternatif 3 (A3) berada di peringkat kedua ($CC_i = 0,52$) berkat nilai Life dan Defense yang kuat, meskipun pengaruhnya melemah karena kedua kriteria tersebut hanya memiliki bobot masing-masing 5%. Sementara itu, Alternatif 1 (A1) tampil kurang baik ($CC_i = 0,13$) karena memperoleh skor rendah di semua kriteria.

Tabel 6. Hasil siang hari

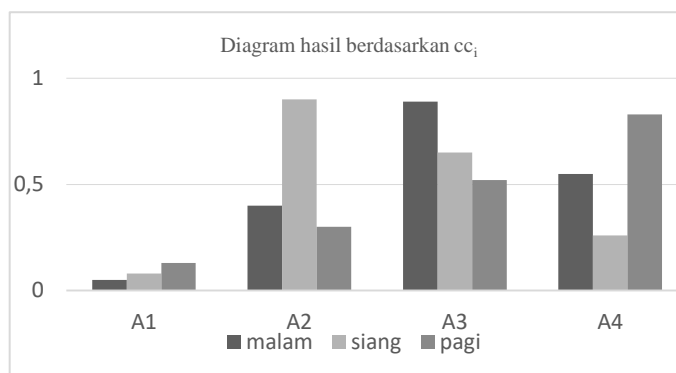
<i>Alt</i>	D_i^+	D_i^-	CC_i	<i>Rank</i>
A1	0.95	0.08	0.08	4
A2	0.1	0.92	0.9	1
A3	0.35	0.65	0.65	2
A4	0.7	0.25	0.26	3

Pada Tabel 6, nilai *Height* (0,60) dan *Life* (0,36) menjadi faktor dominan. Alternatif 2 (A2) menempati peringkat tertinggi ($CC_i = 0,90$) berkat nilai *Height* yang optimal (116 cm \rightarrow TFN (7,9,9)) serta skor *Life* yang cukup baik (2). Nilai D_i^+ yang sangat kecil (0,10) menunjukkan bahwa A2 sangat dekat dengan solusi ideal. Alternatif 3 (A3) berada di posisi kedua ($CC_i = 0,65$), didukung oleh skor *Life* yang tinggi (4), namun tinggi badannya yang lebih besar (133 cm \rightarrow TFN (3,5,7)) memberikan penalti. Alternatif 4 (A4) berada di posisi ketiga ($CC_i = 0,26$) karena nilai *Height*-nya yang buruk (163 cm, terburuk di antara semua alternatif). Sementara itu, Alternatif 1 (A1) tetap berada di posisi terakhir ($CC_i = 0,08$) akibat tinggi badannya yang besar (160,1 cm) serta skor *Life* dan *Defense* yang rendah, sehingga dianggap kurang sesuai.

Tabel 7. Hasil malam hari

<i>Alt</i>	D_i^+	D_i^-	CC_i	<i>Rank</i>
A1	0.98	0.05	0.05	4
A2	0.6	0.4	0.4	3
A3	0.12	0.95	0.89	1
A4	0.45	0.55	0.55	2

Dalam Tabel 7, dengan *Defense* (0,80) sebagai faktor penentu, Alternatif 3 (A3) mendominasi ($CC_i = 0,89$) karena memiliki nilai *Defense* maksimum (4 \rightarrow TFN (5,7,9)). Nilai D_i^+ yang sangat kecil (0,12) dan D_i^- yang besar (0,95) menunjukkan kesesuaiannya yang hampir sempurna dengan solusi ideal. A4 ($CC_i = 0,55$) menempati peringkat kedua karena nilai *Defense*-nya sedang (3 \rightarrow TFN (3,5,7)). A2 ($CC_i = 0,40$) dan A1 ($CC_i = 0,05$) berada di posisi terbawah karena memiliki skor *Defense* yang lemah (masing-masing 2 dan 1).


Gambar 7. Hasil dari setiap waktu

Gambar 7 menunjukkan hasil analisis GA-TOPSIS yang bervariasi berdasarkan tiga skenario pembobotan: Pada pagi hari, A4 menempati peringkat tertinggi ($CC_i = 0,83$) berkat nilai *Movement* yang kuat, sementara A1 berada di posisi terbawah. Pada siang hari, A2 menjadi yang terbaik ($CC_i = 0,90$) karena memiliki nilai *Height* yang optimal, sehingga A4 turun ke peringkat ketiga. Pada malam hari, A3 mendominasi ($CC_i = 0,89$) berkat nilai *Defense* tertinggi, sedangkan A1 tetap menjadi alternatif dengan performa terendah. Studi ini menunjukkan bahwa perubahan prioritas bobot secara signifikan mempengaruhi hasil akhir, dengan penggunaan TFN yang efektif dalam menstandarkan data sehingga peringkat menjadi lebih andal.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pendukung keputusan adaptif untuk rekomendasi karakter *game*, mengintegrasikan Algoritma Genetika (GA) dan TOPSIS dengan pembobotan dinamis berbasis sensor suhu. Pendekatan *hybrid* ini memungkinkan sistem secara otomatis mengoptimalkan bobot kriteria sesuai kondisi lingkungan, mengatasi tantangan seleksi karakter di *game* yang dinamis. Tantangan yang dinamis memberi pengalaman bermain yang lebih menyenangkan dan akurat. Hasil menunjukkan bahwa GA menghasilkan variasi pembobotan kriteria yang signifikan dan relevan dengan waktu: Gerakan dominan di Pagi (82%), Tinggi Badan (52%) dan Nyawa (38%) di Siang, serta Pertahanan (85%) di Malam. Evaluasi menggunakan TOPSIS mengkonfirmasi efektivitas sistem dalam memberikan rekomendasi optimal. Alternatif A4 unggul di Pagi ($CC_i=0.83$), A2 di Siang ($CC_i=0.90$), dan A3 di Malam



($CC_i=0.89$). Konsistensi ini memvalidasi kemampuan sistem untuk beradaptasi dan memberikan rekomendasi presisi sesuai konteks. Kemampuan sistem menggunakan GA-TOPSIS dapat di aplikasikan sangat baik pada penelitian ini, Kontribusi utama penelitian ini adalah model rekomendasi karakter yang cerdas dan adaptif, yang tidak hanya menyederhanakan keputusan pemain tetapi juga berpotensi meningkatkan performa *in-game* mereka. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan untuk memperluas kriteria, Potensi implementasi pada perangkat nyata dan pengujian dengan melibatkan lebih banyak responden juga dapat memperkuat validitas dan *generalisability* temuan ini. Selain itu, pengembangan antarmuka pengguna yang lebih interaktif untuk sistem rekomendasi ini dapat menjadi fokus penelitian di masa depan.

REFERENCES

- Al-Hchaimi, A. A. J., Sulaiman, N. Bin, Mustafa, M. A. Bin, Mohtar, M. N. Bin, Hassan, S. L. B. M., & Muhsen, Y. R. (2023). Evaluation Approach for Efficient Countermeasure Techniques Against Denial-of-Service Attack on MPSoC-Based IoT Using Multi-Criteria Decision-Making. *IEEE Access*, 11(December 2022), 89–106. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3232395>
- Danuputri, C., Hakim, L., Susilo, W. S., & Samuel, F. D. (2020). Kontrol Pemakaian Peralatan Elektronik Berbasis Mikrokontroler Dan Algoritma Fuzzy Mamdani. *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)*, 3(2), 94–107. <https://doi.org/10.31598/jurnalresistor.v3i2.646>
- Durand, S., Khawam, K., Quadri, D., Lahoud, S., & Martin, S. (2024). Federated Learning Game in IoT Edge Computing. *IEEE Access*, 12, 93060–93074. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3420814>
- Gad, A. F. (2024). PyGAD: an intuitive genetic algorithm Python library. *Multimedia Tools and Applications*, 83(20), 58029–58042. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-17167-y>
- Horrigan, M. (2021). The Liminoid in Single-Player Videogaming: A Critical and Collaborative Response to Recent Work on Liminality and Ritual. In *Game Studies* (Vol. 21, Issue 2). [gamestudies.org](https://gamestudies.org/2102/articles/horrigan). <https://gamestudies.org/2102/articles/horrigan>
- Hutchinson, R. (2021). Observant Play: Colonial Ideology in The Legend of Zelda: Breath of the Wild. In *Game Studies* (Vol. 21, Issue 3). [researchgate.net](https://www.researchgate.net/profile/Rachael-Hutchinson-5/publication/355259755_Observant_Play_Colonial_Ideology_in_The_Legend_of_Zelda_Breath_of_the_Wild/links/61698872039ba268444320b5/Observant-Play-Colonial-Ideology-in-The-Legend-of-Zelda-Breath-of-the). https://www.researchgate.net/profile/Rachael-Hutchinson-5/publication/355259755_Observant_Play_Colonial_Ideology_in_The_Legend_of_Zelda_Breath_of_the_Wild/links/61698872039ba268444320b5/Observant-Play-Colonial-Ideology-in-The-Legend-of-Zelda-Breath-of-the
- Jannah, R. (2023). Pengembangan Permainan Tic Tac Toe Untuk Meningkatkan Kemampuan Literasi Siswa Kelas 2 SD Negeri 1 Lembang Cina Kabupaten Bantaeng. In *Jurnal Pembelajaran Bahasa dan Sastra Indonesia* (Vol. 4, Issue 1). eprints.unm.ac.id. <http://eprints.unm.ac.id/33954/>
- Katoch, S., Chauhan, S. S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. In *Multimedia Tools and Applications* (Vol. 80, Issue 5, pp. 8091–8126). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10139-6>
- Liang, D., & Li, F. (2023). Risk Assessment in Failure Mode and Effect Analysis: Improved ORESTE Method With Hesitant Pythagorean Fuzzy Information. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(6), 2115–2137. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3073373>
- Mazoukh, C., Di Lauro, L., Alamgir, I., Fischer, B., Perron, N., Aadhi, A., Eshaghi, A., Little, B. E., Chu, S. T., Moss, D. J., & Morandotti, R. (2024). Genetic algorithm-enhanced microcomb state generation. In *Communications Physics* (Vol. 7, Issue 1). [nature.com](https://doi.org/10.1038/s42005-024-01558-0). <https://doi.org/10.1038/s42005-024-01558-0>
- Nguyen, H. Q., Nguyen, V. T., Phan, D. P., Tran, Q. H., & Vu, N. P. (2022). Multi-Criteria Decision Making in the PMEDM Process by Using MARCOS, TOPSIS, and MAIRCA Methods. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 8). [mdpi.com](https://doi.org/10.3390/app12083720). <https://doi.org/10.3390/app12083720>
- Ningrum, R. F., Siregar, R. R. A., & Rusjdi, D. (2021). Fuzzy Mamdani logic inference model in the loading of distribution substation transformer SCADA system. In *IAES International Journal of Artificial Intelligence* (Vol. 10, Issue 2, pp. 298–305). [pdfs.semanticscholar.org](https://doi.org/10.11591/ijai.v10.i2.pp298-305). <https://doi.org/10.11591/ijai.v10.i2.pp298-305>
- Nurrahman, A., Nugroho, F., Asto Buditjahjanto, I. G. P., Pebrianti, D., Hammad, J. A. H., Fachri, M., Lestari, T. M., Maharani, D., & Bagas Prakasa, A. (2024). Application of Multi-Criteria Promethee Method To Assist Character Selection in the Endless Runner Game. *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, 5(4), 1181–1189. <https://doi.org/10.52436/1.jutif.2024.5.4.2183>
- Sadeghi-Niaraki, A. (2020). Industry 4.0 Development Multi-Criteria Assessment: An Integrated Fuzzy DEMATEL, ANP and VIKOR Methodology. *IEEE Access*, 8, 23689–23704. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2965979>
- Setiawansyah, S. (2022). Sistem Pendukung Keputusan Rekomendasi Tempat Wisata Menggunakan Metode TOPSIS. *Jurnal Ilmiah Informatika Dan Ilmu Komputer (JIMA-ILKOM)*, 1(2), 54–62. <https://doi.org/10.58602/jima-ilkom.v1i2.8>
- Shi, K., Liu, Y., & Liang, W. (2022). An Extended ORESTE Approach for Evaluating Rockburst Risk under Uncertain Environments. *Mathematics*, 10(10), 1–20. <https://doi.org/10.3390/math10101699>
- Singh, S., Agrawal, V., Saxena, K. K., & Mohammed, K. A. (2023). Optimization on Manufacturing Processes at Indian Industries Using TOPSIS. In *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences* (Vol. 30, Issue 1, pp. 32–44). [op.niscpr.res.in](https://doi.org/10.56042/ijems.v1i1.61931). <https://doi.org/10.56042/ijems.v1i1.61931>
- Wang, Y., Liu, P., & Yao, Y. (2022). BMW-TOPSIS: A generalized TOPSIS model based on three-way decision.



Information Sciences, 607, 799–818. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.06.018>

Wu, C., Sheng, J., Wang, Y., & Ai, B. (2024). Game-Theory-Based Spectrum Sharing of Industrial IoT Networking in High-Speed Railway Heterogeneous Communication System. *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 10(2), 594–606. <https://doi.org/10.1109/TCCN.2023.3329003>

Zaman, M., Ghani, F., Khan, A., Abdullah, S., & Khan, F. (2023). Complex Fermatean fuzzy extended TOPSIS method and its applications in decision making. In *Heliyon* (Vol. 9, Issue 9). cell.com. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19170>