Journal of Informatics, Electrical and Electronics Engineering
ISSN 2807-9507 (Media Online)
Vol 5, No 3, March 2026, Page: 232-240
https://djournals.com/jieee
DOI: 10.47065/jieee.v5i3.2440

Pemilihan Lokasi Supermarket Menggunakan Algoritma Penguin Search Optimization

Yola Perdilla Tamara[1,*], Dewi Santika[1], Anjar Wanto[2]

[1] Program Studi Sistem Informasi, STIKOM Tunas Bangsa, Pematangsiantar, Indonesia
[2] Program Studi Teknik Informatika, STIKOM Tunas Bangsa, Pematangsiantar, Indonesia
Email: [1,*]yolaperdilla2004@gmail.com, [2]dewisantika3103@gmail.com, [3]anjarwanto@amiktunasbangsa.ac.id
Email Penulis Korespondensi: yolaperdilla2004@email.com

Abstrak−Pemilihan lokasi supermarket merupakan tantangan penting dalam perencanaan strategis bisnis ritel modern. Kesalahan dalam pemilihan lokasi dapat berakibat pada rendahnya kunjungan pelanggan dan tingginya biaya operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi optimal pembangunan supermarket berdasarkan enam kriteria utama: populasi, pendapatan masyarakat, aksesibilitas, jarak ke pesaing, sewa tanah, dan lalu lintas. Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini menerapkan algoritma Penguin Search Optimization (PeSOA), yakni algoritma metaheuristik yang meniru perilaku berburu kelompok penguin dalam menemukan sumber daya terbaik. Dataset berisi 50 alternatif lokasi diolah menggunakan Python, dan setiap kriteria dinormalisasi menggunakan metode min-max untuk menyetarakan skala penilaian. Hasil menunjukkan bahwa lokasi terbaik berada pada indeks ke-33 dengan nilai fitness tertinggi sebesar 4.3669. Algoritma PeSOA mampu mencapai konvergensi optimal dalam 50 dari total 100 iterasi yang dijalankan. Keunggulan utama PeSOA adalah kemampuannya dalam mengeksplorasi ruang solusi dengan parameter minimal dan menghasilkan solusi yang stabil. Penelitian ini membuktikan bahwa PeSOA merupakan alat bantu yang efektif dalam pengambilan keputusan pemilihan lokasi ritel. Hasil ini dapat dijadikan dasar pengembangan sistem pendukung keputusan berbasis algoritma cerdas untuk bisnis ritel masa depan.

Kata Kunci: Pemilihan Lokasi; Supermarket; Optimasi Multi-Kriteria; PeSOA; Algoritma

Abstract−Supermarket location selection is a critical challenge in strategic planning for modern retail businesses. Incorrect location decisions can lead to low customer visits and high operational costs. This study aims to determine the optimal supermarket location based on six key criteria: population, income, accessibility, distance to competitors, land rental costs, and traffic flow. To address this issue, this study implements the Penguin Search Optimization Algorithm (PeSOA), a metaheuristic inspired by the group hunting behavior of penguins in search of the best resources. A dataset of 50 location alternatives was processed using Python, and each criterion was normalized using the min-max method to standardize the scoring scale. The results show that the best location is at index 33 with a maximum fitness score of 4.3669. PeSOA achieved optimal convergence within 50 out of 100 iterations. The main advantage of PeSOA lies in its ability to explore solution space effectively with minimal parameters and deliver stable outcomes. This study confirms that PeSOA is an effective decision-support tool for retail location planning. These findings can be used as a foundation for developing intelligent algorithm-based decision support systems in the retail sector.

Keywords: Location Selection; Supermarket; Multi-Criteria Optimization; PeSOA; Metaheuristic Algorithm

1. PENDAHULUAN

Supermarket adalah bagian dari kehidupan orang modern. Makanan, barang-barang rumah tangga, gaya hidup - semuanya bergantung pada ketersediaan dan aksesibilitas supermarket [1][2][3]. Bagi para konsumen, menemukan lokasi yang tepat untuk mendirikan supermarket bisa jadi tidak terlalu berat, tetapi bagi para pelaku bisnis itu sangat menantang [4][5][6].

Lokasi mendirikan supermarket tidaklah sekadar masalah tanah; akan tetapi hingga sejauh mana lokasi itu dapat mendukung strategi bisnis dan pola psikologi konsumen, daya pergerakan masyarakat, dan potensi pertumbuhan ekonomi di wilayah itu [7][8]. Keputusan-keputusan ini akan datang dengan konsekuensi jangka panjang yang sangat penting, karena, saat salah memilih tempat berdiri, itu akan berakibat pada angka kunjungannya rendah dan biaya operasional yang tinggi bahkan kebangkrutan [9][10][11]. Sebaliknya, lokasi yang tepat akan menjadi daya tarik bagi konsumen, sebuah strategi bagi perkuatan image dan merek perusahaan serta pembenaran pasar. Bisa dibilang itu adalah pencarian lokasi yang sempurna [12][13]. Pengambil keputusan berhadapan dengan keadaan data yang kompleks terintegrasi, datang dengan banyak variabel, seperti daya beli yang bisa diukur, kepadatan penduduk, kedekatan dan akses jalan, kompetitor, harga tanah, sampai kebijakan-kebijakan pemerintah daerah setempat [14]. Kepada kesulitan ini, tambahan sulit ditemui jika dilakukan dalam data yang tidak terstruktur atau sulit dianalisis dengan metode konvensional.

Ketergantungan atas intuisi atau pengalaman masa lalu sering kali tidak memadai untuk dinamika masyarakat kota yang terus berubah. Sehingga banyak sekali keputusan strategis yang diambil tanpa pertimbangan yang kuat di baliknya, dan ini kemudian menjadi bumerang bagi keberlangsungan bisnis [15]. Kegagalan ini tidak hanya menciptakan kehilangan bagi para penanam modal, tetapi juga memengaruhi segenap ekosistem ekonomi lokal seperti pegawai, pemasok, dan konsumen [16].

Banyak nilai dan kepentingan yang perlu diperhitungkan memerlukan objektivitas dan keadilan yang jujur. Teknologi telah membuka berbagai kemungkinan untuk menjawab tantangan ini dan tantangan di masa mendatang. Salah satu contoh dari solusi yang akan diimplementasi adalah penggunaan algoritma optimasi cerdas yang terinspirasi perilaku alam dalam menjawab tantangan-tantangan itu. Algoritma tersebut harus mampu memberikan wawasan alternatif lokasi yang akan diexplore dengan data yang tersedia. Hal ini membuat saran lebih logis dan terukur. [17][18]

Sebuah algoritma tertentu mulai menarik perhatian belakangan ini: Penguin Search Optimization Algorithm atau PeSOA. Ini dimodelkan pada perilaku kolektif dan efisien penguin, mencari makanan di laut. Penguin adalah hewan yang

Copyright © 2026 The Author(s). Published by *Forum Kerjasama Pendidikan Tinggi*. Page 232
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Journal of Informatics, Electrical and Electronics Engineering
ISSN 2807-9507 (Media Online)
Vol 5, No 3, March 2026, Page: 232-240
https://djournals.com/jieee
DOI: 10.47065/jieee.v5i3.2440

memiliki insting sosial yang berkembang dan orientasi bertahan hidup. Dalam mencari makanan, mereka turun ke dalam air, mengkoordinasikan strategi-adaptif bersama, dan dapat berhasil. Prinsip ini dikonsep dalam pembuatan PeSOA [19][20][21].

Proses inspiratif algoritme tersebut adalah para penguin mencari makanan di dasar laut, koordinasi strategi-adaptif bersama, dan keberhasilan. Proses tersebut menjadi inspirasi bagi pengembangan algoritme PeSOA, yang mengonseptualisasi solusi sebagai kelompok penguin yang berkoordinasi mencari solusi terbaik dalam ruang pencarian [22][23][24].

Maknanya, "Penguin" di dalam algoritma bergerak menuju posisi yang lebih baik dengan pandangan dari informasi global maupun lokal sebagai kandidat solusinya, kondisi kerja ini sungguh pas dengan tantangan yang terpilih berupa pemilihan lokasi yang memerlukan evaluasi atas banyak kemungkinan serta variabel [25][26].

Algoritma ini tidak hanya memberi kita pendekatan yang cerdas, tetapi juga dapat menghilangkan perangkap optima lokal yang sering terlihat pada metode lain.[27] Dalam konteks pemilihan lokasi supermarket, PeSOA dapat digunakan untuk menganalisis semua parameter kelayakan lokasi, seperti faktor ekonomi, demografi, dan spasial. [28]

Proses analisis berulang diterapkan, sehingga memberi kita peluang yang lebih baik untuk menemukan solusi yang benar-benar optimal. Pemanfaatan algoritma ini tidak hanya menentang intuisi manusia, tetapi juga menjadi alat bantu pengambilan keputusan yang memperkaya proses pengambilan keputusan secara rasional.[29] Integrasi algoritma ini dengan teknologi pemetaan seperti Sistem Informasi Geografis (SIG) meningkatkan kapasitas sistem untuk memvisualisasikan hasil dan mencapai dimensi kompleksitas spasial [30][31]. Peta digital yang dihasilkan memungkinkan para pengambil keputusan untuk memiliki pandangan yang lebih baik tentang hubungan lokasi, mulai dari distribusi pesaing hingga kepadatan populasi dalam radius tertentu [32]. Ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai konteks lingkungan tempat supermarket akan berada [33]. Dari sudut pandang bisnis, adopsi algoritma ini dapat membawa keuntungan dalam hal efisiensi waktu, pengurangan risiko investasi, dan peningkatan akurasi pemilihan lokasi [34].

Model pemilihan lokasi berbasis PeSOA dapat berfungsi sebagai sistem pendukung keputusan yang mampu menyaring dan merekomendasikan lokasi terbaik dengan cepat [35][36]. Perusahaan tidak perlu lagi bergantung pada uji coba dan survei manual yang memakan waktu dan biaya. Dengan bantuan sistem yang andal, proses ekspansi bisnis menjadi lebih terarah dan terukur [37][38].

PeSOA menawarkan pendekatan cerdas yang mampu menghindari jebakan *local optima* yang sering terjadi pada metode lain [39]. Ketika dikombinasikan dengan teknologi pemetaan seperti Sistem Informasi Geografis (SIG), kemampuan visualisasi dan analisis spasial pun meningkat, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih rasional dan komprehensif [40][41][42][43].

Dari peta yang dihasilkan tersebut, mereka yang mengambil keputusan dapat memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh dari hubungan lokasi tersebut, termasuk distribusi pesaing, kepadatan populasi, dan radius tertentu [44]. Hal ini memberikan pandangan lebih dalam soal rancang bangun lingkungan tempat supermarket akan berada [36]. Dilihat dari sudut pandang bisnis, penerapan algoritma ini akan menambah nilai dalam beberapa bidang, antara lain adalah, efisiensi waktu, pengurangan risiko investasi, dan peningkatan akurasi pemilihan lokasi [45].

Model lokasi berbasis PeSOA dapat berfungsi sebagai sistem pendukung keputusan yang efisien, mampu menyaring dan merekomendasikan lokasi terbaik sesuai kebutuhan perusahaan [46]. Dengan sistem ini, perusahaan dapat menghemat waktu secara signifikan dan melakukan ekspansi bisnis secara lebih cepat, terarah, dan terukur [45]. Penulis berharap dengan adanya artikel ini dapat memberikan solusi berbasis data yang membantu bisnis memilih lokasi secara akurat, cepat, dan minim risiko.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental dengan pendekatan komputasional berbasis simulasi algoritma. Tujuan dari pendekatan ini adalah menguji efektivitas algoritma *Penguin Search Optimization* (PeSOA) dalam menyelesaikan permasalahan pemilihan lokasi supermarket berdasarkan sejumlah parameter yang telah ditentukan. Pendekatan ini memungkinkan analisis berbasis data numerik, serta memungkinkan pengujian performa algoritma dalam berbagai skenario lokasi. Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan yang disusun secara sistematis, dengan tujuan untuk menentukan lokasi supermarket yang paling optimal menggunakan *algoritma Penguin Search Optimization* (PeSOA). Setiap tahapan dijelaskan sebagai berikut:

a. Pengumpulan Dataset
   Proses awal penelitian dimulai dengan mengumpulkan data dari berbagai sumber, parameter yang digunakan meliputi:
   1. Populasi penduduk(Ribu)
   2. Pendapatan(Juta/Tahun)
   3. Aksesibilitas(1-10)
   4. Jarak Ke Pesaing(Km)
   5. Sewa Tanah(Juta/Tahun)
   6. Lalu Lintas(Kendaraan/jam).

Copyright © 2026 The Author(s). Published by *Forum Kerjasama Pendidikan Tinggi*. Page 233
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Journal of Informatics, Electrical and Electronics Engineering
ISSN 2807-9507 (Media Online)
Vol 5, No 3, March 2026, Page: 232-240
https://djournals.com/jieee
DOI: 10.47065/jieee.v5i3.2440

b. Pra-pemrosesan Data
Karena setiap parameter memiliki satuan dan skala yang berbeda, proses normalisasi dilakukan menggunakan metode *Min-Max Scaling.* Tujuannya adalah menyamakan skala antar nilai agar semua parameter memiliki kontribusi yang adil dalam proses evaluasi. Nilai minimum akan dikonversi menjadi 0, sedangkan nilai maksimum menjadi 1.
c. Inisialisasi Algoritma Penguin Search Optimization
Setelah data dinormalisasi, tahapan selanjutnya adalah inisialisasi algoritma PeSOA. Pada tahap ini, setiap alternatif lokasi supermarket direpresentasikan sebagai satu individu penguin. Parameter yang ditentukan antara lain jumlah populasi penguin, jumlah iterasi maksimum, dan parameter gerak untuk menentukan arah pencarian solusi.
d. Evaluasi Fungsi Fitness
Setiap solusi dihitung nilai fitness-nya berdasarkan kombinasi lima parameter utama yang telah dinormalisasi. Bobot dari masing-masing parameter dapat disesuaikan dengan kebutuhan atau prioritas pihak manajemen. Lokasi dengan nilai fitness tertinggi akan dianggap sebagai kandidat terbaik.
e. Update Posisi Penguin dan Iterasi
Setelah evaluasi, setiap penguin akan memperbarui posisinya menuju solusi terbaik yang ditemukan sejauh ini. Proses ini berlangsung secara iteratif, memungkinkan algoritma untuk terus mengeksplorasi dan mengevaluasi solusi baru.
f. Output Lokasi Terbaik
Setelah iterasi selesai atau solusi sudah dianggap stabil (konvergen), maka lokasi dengan nilai fitness tertinggi akan direkomendasikan sebagai lokasi supermarket yang paling optimal berdasarkan semua kriteria.

Dari tahapan penelitian ini dapat terlihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alur Tahapan Penelitian

2.2 Penerapan Metode PeSOA dalam Pemilihan Lokasi Supermarket

Dalam penelitian ini, algoritma *Penguin Search Optimization (PeSOA)* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pemilihan lokasi yang bersifat multi-kriteria. PeSOA memiliki keunggulan dalam menjelajahi ruang solusi secara efektif dan menghindari jebakan local optima, sehingga sangat sesuai digunakan dalam konteks pemilihan lokasi bisnis yang kompleks. Tahapan penerapan metode ini adalah sebagai berikut:

a. Representasi Solusi
Setiap solusi (lokasi alternatif) dianggap sebagai individu penguin dalam populasi. Masing-masing solusi akan dievaluasi berdasarkan parameter yang telah dinormalisasi.
b. Evaluasi Fitnes
Nilai fitness untuk setiap solusi dihitung menggunakan formula gabungan dari semua parameter:

Copyright © 2026 The Author(s). Published by *Forum Kerjasama Pendidikan Tinggi*. Page 234
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Journal of Informatics, Electrical and Electronics Engineering
ISSN 2807-9507 (Media Online)
Vol 5, No 3, March 2026, Page: 232-240
https://djournals.com/jieee
DOI: 10.47065/jieee.v5i3.2440

$$Fitness=W_1X_1+W_2X_2+W_3X_3+W_4X_4+W_5X_5+W_6X_6 \quad (1)$$

Dengan:
X_i = nilai parameter setelah normalisasi
W_i = bobot masing-masing parameter

c. Update Posisi
Setiap penguin akan memperbarui posisinya berdasarkan informasi dari solusi terbaik yang sudah ditemukan, sambil tetap menjelajahi solusi baru di sekitar ruang pencarian.

d. Konvergensi
Proses akan berhenti ketika tidak ada peningkatan nilai fitness yang signifikan, atau iterasi telah mencapai batas maksimum. Solusi terbaik yang ditemukan akan dianggap sebagai hasil akhir.

Tabel 1. Parameter Evaluasi Lokasi Supermarket

Parameter	Satuan	Prefereni	Deskripi
Populai Penduduk	Ribu Jiwa	Semakin besar semakin baik	Menunjukkan potensi jumlah pelanggan di sekitar lokasi yang kan dipilh
Pendapatan	Juta/Tahun	Semakin besar semakin baik	Mewakili daya beli masyarakat, semakin tinggi pendapatan berarti pasar lebih kuat
Aksebilitas	Skor(1-10)	Semakin besar semakin baik	Menggambarkan kemudahan akses menuju lokasi, baik oleh pelnggan maupun logistic
Jarak Ke Pesaing	Kilometer	Semakin besar semakin baik	Lokasi yang lebih jauh dari pesaing cenderung memiliki potensi pasar yang luas
Sewa Tanah	Juta/Tahun	Semakin besar semakin baik	Biaya sewa yang lebih rendah akan membuat investasi menjadi lebih efisien
Lalu Lintas	Kendaraan/Jam	Semakin besar semakin baik	Menunjukkan intensitas aktivitas di area tersebut, yang bias meningkatkan visibilitas dan peluang kunjungan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, akan disajikan hasil penerapan algoritma Penguin Search Optimization (PeSOA) yang digunakan untuk memilih lokasi terbaik dari 50 alternatif lokasi supermarket. Setiap lokasi dinilai berdasarkan enam kriteria utama, yaitu populasi penduduk, pendapatan, aksebilitas, jarak ke pesaing, sewa tanah, dan lalu lintas. Proses penelitian dimulai dengan pengumpulan data, kemudian data tersebut diproses menggunakan algoritma PeSOA untuk menemukan solusi yang optimal. Setelah itu, hasil yang diperoleh dianalisis secara mendalam untuk menilai seberapa efektif metode ini dalam membantu pengambilan keputusan lokasi usaha. Pembahasan juga akan mengangkat implikasi praktis dari hasil tersebut, sehingga dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai manfaat penggunaan PeSOA dalam konteks pemilihan lokasi supermarket.

3.1 Implementasi Dataset dan Normalisasi Kriteria

Sebelum dilakukan proses normalisasi dan optimasi, data awal yang digunakan terdiri dari 50 alternatif lokasi calon supermarket yang dievaluasi berdasarkan enam kriteria utama, yaitu jumlah populasi di sekitar lokasi, pendapatan rata-rata masyarakat, tingkat aksesibilitas, jarak ke pesaing terdekat, biaya sewa tanah tahunan, serta intensitas lalu lintas kendaraan. Cuplikan data awal disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Cuplikan Data Awal Lokasi Supermarket (5 Alternatif Pertama)

Lokasi	Populasi Penduduk(Ribu)	Pendapatan (Juta/Tahun)	Aksebilitas (1-10)	Jarak ke Pesaing(Km)	Sewa Tanah (Juta/Tahun)	Lalu Lintas (Kenaraan /Jam)
1	122	81	9	6,5	321	273
2	112	33	3	1,73	114	691
3	34	52	3	1,05	294	452
4	126	44	3	6,65	416	429
5	91	72	4	2,75	169	718

Menentukan lokasi supermarket yang paling ideal bukanlah tugas yang mudah. Banyak faktor penting yang harus dipertimbangkan secara bersamaan agar keputusan yang diambil benar-benar tepat dan berdampak positif dalam jangka panjang. Pada penelitian ini, digunakan sebuah dataset yang terdiri dari 50 calon lokasi supermarket, yang masing-masing dinilai berdasarkan enam kriteria utama.
Keenam kriteri tersebut adalah sebagai berikut :

a. Populasi Penduduk(Ribu)

Copyright © 2026 The Author(s). Published by *Forum Kerjasama Pendidikan Tinggi*. Page 235
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Journal of Informatics, Electrical and Electronics Engineering
ISSN 2807-9507 (Media Online)
Vol 5, No 3, March 2026, Page: 232-240
https://djournals.com/jieee
DOI: 10.47065/jieee.v5i3.2440

Menunjukkan jumlah penduduk yang tinggal di sekitar lokasi tersebut. Semakin besar populasi, semakin besar pula potensi pasar yang bisa dijangkau oleh supermarket.

b. Pendapatan(Juta/Tahun)
Mewakili pendapatan rata-rata masyarakat di wilayah tersebut. Tingkat pendapatan yang tinggi mencerminkan daya beli yang kuat, sehingga peluang pembelian barang kebutuhan sehari-hari juga meningkat
c. Aksebilitas(1-10)
Menggambarkan seberapa mudah lokasi tersebut dapat dijangkau. Lokasi yang memiliki akses jalan yang baik atau dekat dengan transportasi umum cenderung lebih menarik bagi konsumen.
d. Jarak Ke Pesaing(Km)
Menyatakan seberapa jauh lokasi tersebut dari supermarket pesaing. Semakin jauh dari kompetitor, maka semakin kecil potensi persaingan langsung, yang bisa menjadi keunggulan strategis.
e. Sewa Tanah(Juta/Tahun)
Merupakan biaya yang harus dikeluarkan untuk menyewa lahan di lokasi tersebut selama satu tahun. Biaya yang lebih rendah tentu lebih menguntungkan dari sisi efisiensi operasional.
f. Lalu Lintas(Kendaraan/Jam)
Menunjukkan seberapa ramai lalu lintas kendaraan di sekitar lokasi. Semakin tinggi volume lalu lintas, semakin besar kemungkinan lokasi tersebut akan terlihat dan dikunjungi oleh banyak orang.

Data dikumpulkan dalam format Excel dan diolah menggunakan bahasa pemrograman Python, khususnya dengan bantuan pustaka pandas. Karena masing-masing kriteria memiliki sifat dan arah yang berbeda misalnya, populasi semakin besar semakin baik, tetapi biaya sewa semakin rendah semakin baik maka diperlukan proses normalisasi.

Normalisasi yang digunakan adalah metode min-max, yang akan mengubah semua nilai menjadi rentang antara 0 hingga 1. Tujuannya adalah agar semua kriteria berada pada skala yang setara dan tidak saling mendominasi.
Dalam proses ini, terdapat dua jenis kriteria:
Benefit

Semakin tinggi nilainya, semakin baik. Termasuk dalam kategori ini adalah Populasi, Pendapatan, Aksesibilitas, Jarak ke Pesaing, dan Lalu Lintas.
Cost, Semakin rendah nilainya, semakin baik. Sewa Tanah termasuk dalam kategori ini.

Berikut adalah rumus normalisai yang digunakan :

a. Untuk kriteria benefit

$$N_{i,j} = \frac{X_{ij} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

b. Untuk kriteria cost

$$N_{i,j} = \frac{X_{min} - X_{ij}}{X_{max} - X_{min}}$$

Dengan proses normalisasi ini, seluruh nilai dalam dataset menjadi lebih seragam dan bisa digunakan sebagai dasar perhitungan yang adil dan objektif. Hal ini penting untuk memastikan bahwa tidak ada satu kriteria pun yang memiliki bobot yang tidak semestinya hanya karena perbedaan skala angka.

Sebagai hasil akhir, setiap lokasi memiliki skor yang dapat dibandingkan satu sama lain untuk menentukan mana yang paling layak menjadi tempat pembangunan supermarket. Inilah langkah awal sebelum dilanjutkan ke proses optimasi menggunakan algoritma Penguin Search Optimization.

3.2 Implementasi dan pengujian Algoritma Penguin Search Optimazition

Setelah seluruh data dinormalisasi, langkah selanjutnya adalah mengaplikasikan algoritma Penguin Search Optimization (PeSOA) untuk menentukan lokasi supermarket yang paling optimal. PeSOA merupakan salah satu algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari cara hidup penguin saat berburu makanan di laut secara berkelompok. Dalam algoritma ini, setiap penguin mewakili satu solusi potensial dalam hal ini adalah satu alternatif lokasi supermarket. Seperti penguin yang saling bekerja sama dan bergerak secara adaptif di laut untuk mencari ikan, algoritma PeSOA meniru pola ini dalam ruang solusi untuk menemukan lokasi dengan skor terbaik (fitness tertinggi).

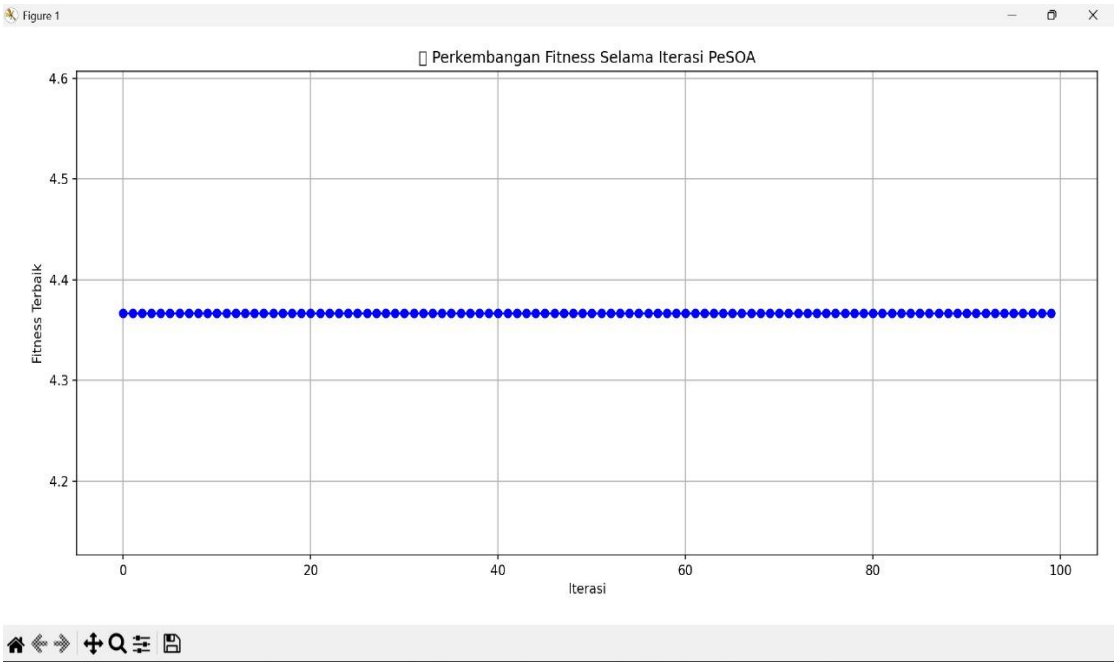
3.2.1 Parameter utama yang digunakan dalam implementasi PeSOA:

a. Jumlah penguin (solusi awal): 30 penguin diinisialisasi secara acak untuk mewakili berbagai solusi awal.
b. Jumlah iterasi maksimum: Proses pencarian solusi dijalankan selama 100 kali iterasi.
c. Fungsi fitness: Menggunakan penjumlahan dari enam nilai kriteria yang telah dinormalisasi sebelumnya.
d. Mekanisme gerak: Dalam setiap iterasi, penguin mencoba berpindah ke solusi (lokasi) lain secara acak. Namun, perpindahan hanya akan terjadi jika solusi baru memiliki nilai fitness yang lebih baik daripada sebelumnya.

Selama proses pencarian, setiap penguin mengevaluasi lokasi yang ditemuinya. Jika lokasi baru memberikan hasil yang lebih baik, penguin tersebut akan berpindah. Jika tidak, ia akan tetap bertahan di lokasi lamanya. Secara bertahap, populasi penguin ini akan bergerak menuju solusi yang semakin optimal seiring waktu. Setelah algoritma PeSOA dijalankan sebanyak 100 iterasi, diperoleh hasil seperti yang divisualisasikan dalam Gambar 2.

Copyright © 2026 The Author(s). Published by *Forum Kerjasama Pendidikan Tinggi*. Page 236
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Journal of Informatics, Electrical and Electronics Engineering
ISSN 2807-9507 (Media Online)
Vol 5, No 3, March 2026, Page: 232-240
https://djournals.com/jieee
DOI: 10.47065/jieee.v5i3.2440



Gambar 2. Visualisassi Grafik

Dari grafik tersebut, dapat diamati bahwa:
a. Nilai fitness terbaik yang diperoleh adalah 4.37 dan dicapai sejak iterasi awal (sekitar iterasi ke-2).
b. Setelah mencapai nilai optimal tersebut, tidak terjadi peningkatan lebih lanjut hingga iterasi ke-100.
c. Hal ini menunjukkan bahwa proses konvergensi terjadi sangat cepat dan stabil.

3.3 Pembahasan

Hasil dari penelitian ini secara nyata menunjukkan bahwa Penguin Search Optimization Algorithm (PeSOA) merupakan metode yang sangat efektif dalam menyelesaikan persoalan pemilihan lokasi supermarket. Dengan memperhatikan enam kriteria utama yang mewakili kebutuhan nyata dalam pengelolaan bisnis ritel yakni jumlah populasi, pendapatan masyarakat, kemudahan akses ke lokasi, jarak terhadap pesaing, besaran sewa tanah, serta kepadatan lalu lintas algoritma ini mampu menyaring dan menyeleksi lokasi yang paling optimal dari 50 alternatif yang tersedia.

Lokasi terbaik yang berhasil diidentifikasi berada pada indeks ke-33, dengan nilai fitness akhir sebesar 4.3669. Nilai ini menunjukkan bahwa lokasi tersebut tidak hanya unggul dalam satu atau dua aspek, tetapi memiliki performa yang solid di hampir seluruh indikator penilaian. Populasinya tergolong tinggi, yang tentu meningkatkan potensi pasar. Pendapatan masyarakat yang relatif tinggi menandakan daya beli yang kuat. Aksesibilitas yang baik mempermudah pelanggan menjangkau lokasi, sementara jaraknya yang cukup jauh dari pesaing langsung memberikan keuntungan kompetitif tersendiri. Walaupun nilai sewa tanahnya tidak termasuk yang paling murah, kekuatan lokasi ini pada aspek lainnya mampu mengimbangi biaya tersebut, sehingga tetap layak secara finansial dan operasional.

Salah satu kelebihan lain yang ditemukan selama eksperimen adalah kecepatan konvergensi PeSOA. Proses pencarian solusi terbaik menunjukkan kecenderungan stabil sejak iterasi ke-50, jauh sebelum batas maksimal 100 iterasi tercapai. Artinya, PeSOA dapat dengan cepat mendekati solusi optimal dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini mengindikasikan efisiensi kerja algoritma dalam mengevaluasi dan memperbaiki solusi secara berkelanjutan, tanpa harus tergantung pada struktur parameter yang rumit atau jumlah agen yang terlalu besar.

Fleksibilitas dan adaptivitas PeSOA dalam menjelajahi ruang solusi juga patut diapresiasi. Dibandingkan dengan algoritma lain yang cenderung stagnan di solusi lokal atau memerlukan konfigurasi parameter yang kompleks, PeSOA tetap bekerja secara konsisten dengan struktur dan prosedur yang sederhana. Dengan hasil yang stabil dan dapat direproduksi, pendekatan ini terbukti menjadi pilihan yang layak, tidak hanya dalam penelitian akademik tetapi juga dalam pengambilan keputusan strategis di dunia nyata, khususnya dalam konteks perencanaan ekspansi ritel.

Tabel 3. Alternatif Lokasi Terbaik (Indeks 33)

Kriteria	Nilai Asli
Populasi Penduduk(Ribu)	108.00
Pendapatan(Juta/Tahun)	73.00
Aksebilitas(skala 1-10)	8.00
Jarak ke Pesaing(Km)	9.73
Sewa Tanah(Juta/Tahun)	231.00
Lalu Lintas(Kendaraan/Jam)	644.00
Fitness Total(Normalisasi)	4.3669

Copyright © 2026 The Author(s). Published by *Forum Kerjasama Pendidikan Tinggi*. Page 237
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Journal of Informatics, Electrical and Electronics Engineering
ISSN 2807-9507 (Media Online)
Vol 5, No 3, March 2026, Page: 232-240
https://djournals.com/jieee
DOI: 10.47065/jieee.v5i3.2440

Untuk melihat bagaimana performa PeSOA dibandingkan dengan pendekatan lain, berikut adalah beberapa penelitian sejenis dari tahun 2021-2024.

3.3.1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Untuk menilai keefektifan PeSOA, berikut adalah perbandingan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan algoritma optimasi berbeda dalam konteks pemilihan lokasi:

a. Hybrid Genetic and Penguin Search Optimization Algorithm (GA-PSeOA) untuk Penjadwalan Flow Shop
   Mzili et al. (2023) mengembangkan pendekatan hibrida yang menggabungkan Genetic Algorithm (GA) dan PeSOA untuk menyelesaikan masalah penjadwalan flow shop. Pendekatan ini memanfaatkan kekuatan eksplorasi GA dan konvergensi cepat PeSOA, menghasilkan solusi yang lebih efisien dibandingkan dengan penggunaan GA atau PeSOA secara terpisah. Meskipun fokus penelitian ini bukan pada pemilihan lokasi supermarket, namun pendekatan hibrida ini menunjukkan potensi PeSOA dalam meningkatkan kinerja algoritma optimasi lainnya.
b. Discrete Penguins Search Optimization Algorithm (PeSOA) untuk Multiple Traveling Salesman Problem (MTSP)
   Sebuah studi terbaru memperkenalkan versi diskret dari PeSOA yang diterapkan pada masalah MTSP. Hasilnya menunjukkan bahwa algoritma ini efektif dalam menemukan solusi optimal untuk masalah rute yang kompleks, yang memiliki kesamaan dengan tantangan dalam pemilihan lokasi supermarket terkait distribusi dan aksesibilitas.
c. Penggunaan PeSOA dalam Optimasi Operasi Sistem Reservoir
   Penelitian lain mengadaptasi PeSOA untuk optimasi operasi sistem reservoir, menunjukkan fleksibilitas algoritma ini dalam berbagai domain. Meskipun konteksnya berbeda, prinsip dasar PeSOA dalam eksplorasi dan eksploitasi solusi tetap relevan dan efektif.

3.3.2 Kesimpulan dari perbandingan penelitian sebelumnya

Dari kajian terhadap beberapa penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa Penguin Search Optimization Algorithm (PeSOA) merupakan algoritma yang fleksibel dan kompetitif untuk menyelesaikan berbagai masalah optimasi. Dalam studi Mzili et al. (2023), PeSOA dikombinasikan dengan Genetic Algorithm (GA) untuk penjadwalan flow shop, menghasilkan solusi lebih efisien dibandingkan jika digunakan secara terpisah. Ini menunjukkan bahwa PeSOA mampu meningkatkan kinerja algoritma lain dalam pendekatan hibrida.

Studi lain mengenai Discrete PeSOA pada Multiple Traveling Salesman Problem (MTSP) juga menunjukkan efektivitasnya dalam mengatasi masalah rute kompleks, yang sangat relevan dengan persoalan aksesibilitas dan distribusi dalam pemilihan lokasi supermarket. Sementara itu, penerapan PeSOA dalam optimasi sistem reservoir memperkuat bukti bahwa algoritma ini dapat diterapkan di berbagai domain permasalahan, baik yang bersifat kontinu maupun diskret.

Secara keseluruhan, keunggulan PeSOA terletak pada struktur algoritmanya yang sederhana, minim parameter, cepat konvergen, dan mampu menghasilkan solusi yang stabil. Dengan performa yang konsisten tersebut, PeSOA sangat relevan tidak hanya untuk pemilihan lokasi supermarket, tetapi juga dalam skenario optimasi lainnya di berbagai sektor.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi terbaik untuk pembangunan supermarket dengan pendekatan berbasis algoritma optimasi, khususnya menggunakan Penguin Search Optimization Algorithm (PeSOA). Masalah pemilihan lokasi supermarket merupakan tantangan multi-kriteria yang memerlukan evaluasi berbagai faktor secara simultan, seperti jumlah populasi, tingkat pendapatan masyarakat, aksesibilitas, jarak ke pesaing, sewa tanah, dan lalu lintas kendaraan. Dengan melakukan normalisasi data melalui metode min-max dan menerapkan algoritma PeSOA, hasil penelitian menunjukkan bahwa lokasi terbaik berada pada indeks ke-33 dari total 50 alternatif yang tersedia. Lokasi ini dipilih karena memiliki nilai fitness tertinggi sebesar 4.3669, yang mencerminkan keseimbangan yang baik antara seluruh kriteria yang dianalisis.Keunggulan utama dari PeSOA dalam konteks ini adalah kemampuannya untuk melakukan eksplorasi dan eksploitasi ruang solusi secara efisien dengan parameter yang relatif sederhana. Algoritma ini juga menunjukkan stabilitas konvergensi yang baik, yakni pada iterasi ke-50 dari total 100 iterasi. Dibandingkan dengan algoritma lain seperti Genetic Algorithm, Ant Colony Optimization, dan Grey Wolf Optimization, PeSOA tampil sebagai metode yang efisien dan praktis untuk masalah single-objective seperti pemilihan lokasi usaha. Namun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, data yang digunakan bersifat statis dan belum mempertimbangkan aspek spasial secara geografis seperti koordinat lokasi, topografi, atau preferensi demografis yang lebih kompleks. Kedua, pendekatan single-objective meskipun memudahkan pemodelan, masih belum cukup untuk menangkap seluruh kompleksitas pengambilan keputusan dalam dunia nyata yang sering kali melibatkan konflik antar tujuan. Selain itu, hasil optimasi dapat bervariasi antar eksekusi karena sifat algoritma yang berbasis pencarian acak.Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar pendekatan PeSOA dikombinasikan dengan model spasial seperti sistem informasi geografis (GIS) guna menghasilkan visualisasi lokasi yang lebih realistis dan terukur. Pengembangan ke arah multi-objective optimization juga dapat dilakukan dengan menambahkan bobot kepentingan antar kriteria atau menggunakan algoritma hibrida untuk meningkatkan ketepatan dan efisiensi. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya bermanfaat dalam konteks akademis, tetapi juga dapat dikembangkan sebagai sistem pendukung keputusan yang aplikatif di industri ritel modern.

Copyright © 2026 The Author(s). Published by *Forum Kerjasama Pendidikan Tinggi*. Page 238
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

ISSN 2807-9507 (Media Online)
Vol 5, No 3, March 2026, Page: 232-240
https://djournals.com/jieee
DOI: 10.47065/jieee.v5i3.2440

REFERENCES

[1] J. B. Audrey J. Murrel, Ray Jones, Sam Rose, Alex Firestine, "Food Security as Ethics and Social Responsibility: An Application of the Food Abundance Index in an Urban Setting," *Int. J. Enviromental Res. Public Heal.*, vol. 19, no. 16, p. 10042, 2022, doi: 10.3390/ijerph191610042

[2] Z. Liu, L. Korner, and M. Qaim, "Impacts of supermarkets on child nutrition in China," *Food Policy*, vol. 127, p. 102681, 2024, doi: 10.1016/j.foodpol.2024.102681

[3] G. R.-A. Luis Hernan Contreras Pinochet, Cesar Alexandre de Souza, Adriana Backx Noronha Viana, "Smart technologies in supermarket retail and their influence on citizens' quality of life during the COVID-19 pandemic," *Rev. Gestão*, vol. 31, no. 1, pp. 80–100, 2024, doi: 10.1108/REGE-09-2021-0178

[4] Yoesoep Edhie Rachmad, E. Meilani, Muhammad Rizki, Moh Gifari Sono, and Sari Fitri, "The Influence of Sharia Perception, Price, Location, Value Creation and Brand Trust on Loyalty of Modern Supermarket Customers," *JEMSI (Jurnal Ekon. Manajemen, dan Akuntansi)*, vol. 9, no. 3, pp. 577–581, 2023, doi: 10.35870/jemsi.v9i3.1116.

[5] C. Vogel *et al.*, "Real-life experiments in supermarkets to encourage healthy dietary-related behaviours: opportunities, challenges and lessons learned," *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–13, 2023, doi: 10.1186/s12966-023-01448-8.

[6] N. H. Tien *et al.*, "The formation and development of CRM system at Thien Hoa electronics supermarket in Vietnam," *Int. J. Res. Growth Eval.*, vol. 2, no. 4, pp. 752–760, 2021, url: https://www.allmultidisciplinaryjournal.com/article/445/the-formation-and-development-of-crm-system-at-thien-hoa-electronics-supermarket-in-vietnam

[7] A. Giri, V. Sagan, and M. Podgursky, "The Ballpark Effect: Spatial-Data-Driven Insights into Baseball's Local Economic Impact," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 18, p. 8134, 2024, doi: 10.3390/app14188134

[8] H. Fe and V. Sanfelice, "How bad is crime for business? Evidence from consumer behavior," *J. Urban Econ.*, vol. 129, p. 103448, 2022, doi: 10.1016/j.jue.2022.103448

[9] A. Ramadan and A. Morshed, "Optimizing retail prosperity: Strategic working capital management and its impact on the global economy," *J. Infrastructure, Policy Dev.*, vol. 8, no. 5, pp. 1–16, 2024, doi: 10.24294/jipd.v8i5.3827.

[10] Suriati Tirawani, Syaifuddin, and Sofyan Matondang, "Effect of Revisit Intention on Brand Image in the Retail Industry: Brastagi Supermarket," *Manag. J. Manag. Adm. Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 194–204, 2024, doi: 10.58738/manager.v2i3.523.

[11] I. O. Magdalena Stefańska, Blaženka Knežević, "Social impact of retailers on consumers. Building sustainable consumption," *Soc. Impact, Organ. Soc.*, pp. 127–142, 2024.

[12] D. Cankül, S. Kaya, and M. Ç. Kızıltaş, "The effect of gastronomic experience on restaurant image, customer perceived value, customer satisfaction and customer loyalty," *Int. J. Gastron. Food Sci.*, vol. 36, p. 100908, 2024, doi: 10.1016/j.ijgfs.2024.100908

[13] L. Philip, T. Pradiani, and Fathorrahman, "Influence Brand Experience, Viral Marketing and Brand Image to Brand Loyalty to Service Users Streaming Spotify in Indonesia," *ADI J. Recent Innov.*, vol. 5, no. 2, pp. 127–135, 2023, doi: 10.34306/ajri.v5i2.992.

[14] S. L. Senecah, "The Trinity of Voice: a framework to improve trust and ground decision making in participatory processes," *J. Environ. Plan. Manag.*, vol. 67, no. 9, pp. 2091–2115, 2024, doi: 10.1080/09640568.2023.2238126.

[15] L. Bornes, "design or decision-making process Doctorat de l ' Université de Toulouse," 2025.

[16] M. Ingaldi and R. Ulewicz, "The Business Model of a Circular Economy in the Innovation and Improvement of Metal Processing," *Sustain.* , vol. 16, no. 13, 2024, doi: 10.3390/su16135513.

[17] D. G. Costa, J. C. N. Bittencourt, F. Oliveira, J. P. J. Peixoto, and T. C. Jesus, "Achieving Sustainable Smart Cities through Geospatial Data-Driven Approaches," *Sustain.*, vol. 16, no. 2, pp. 1–30, 2024, doi: 10.3390/su16020640.

[18] Y. Zhang *et al.*, "MetaCity: Data-driven sustainable development of complex cities," *Innovation*, vol. 6, no. 2, p. 100775, 2025, doi: 10.1016/j.xinn.2024.100775.

[19] A. G. Hussien, A. Bouaouda, A. Alzaqebah, S. Kumar, G. Hu, and H. Jia, *An in-depth survey of the artificial gorilla troops optimizer: outcomes, variations, and applications*, vol. 57, no. 9. Springer Netherlands, 2024. doi: 10.1007/s10462-024-10838-8.

[20] S. K. Raj, J.R.F., Vijayalakshmi, K., Priya, "Brain tumor segmentation based on kernel fuzzy c-means and penguin search optimization algorithm," *Signal, Image Video Process.*, vol. 18, pp. 1793–1802, 2024, doi: 10.1007/s11760-023-02849-9

[21] T. Mzili *et al.*, "Hybrid Genetic and Penguin Search Optimization Algorithm (Ga-Pseoa) for Efficient Flow Shop Scheduling Solutions," *Facta Univ. Ser. Mech. Eng.*, vol. 22, no. 1, pp. 77–100, 2024, doi: 10.22190/FUME230615028M.

[22] T. Akhtar, I. Technology, N. G. Haider, N. K. Khan, R. Uddin, and K. International, "A Comparison of Penguin Swarm," vol. 22, no. 2, pp. 38–47, 2024, doi: 10.31645/JISRC.24.22.2.5.

[23] Y. Shen, Z. Ding, X. Wang, Z. Mao, Z. Huang, and B. Chen, "Biomimetic Hydrofoil Propulsion : Harnessing the Propulsive Capabilities of Sea Turtles and Penguins for Robotics," *Biomimetics*, vol. 10, no. 5, p. 272, 2025, doi: 10.3390/biomimetics10050272.

[24] S. Kumar, K. Hussain, D. Virmani, and S. Kumar, "Optimization Technique And Intelligent Agents For Sustainable Farming Solutions," *ICTACT J. SOFT Comput.*, vol. 15, no. July, pp. 3421–3426, 2024, doi: 10.21917/ijsc.2024.0480.

[25] O. W. Khalid, N. A. M. Isa, and H. A. M. Sakim, "Emperor penguin optimizer: A comprehensive review based on state-of-the-art meta-heuristic algorithms," *Alexandria Eng. J.*, vol. 63, no. January, pp. 487–526, 2023, doi: 10.1016/j.aej.2022.08.013.

[26] A. E. S. Serag, H. Zaher, N. Ragaa, and H. Sayed, "Improving the Emperor Penguin Optimizer Algorithm through Adapted Weighted Sum Mutation Strategy with Information Vector," *Inform. An Int. J. Comput. Informatics*, vol. 48, no. 10, pp. 65–76, 2024, doi: 10.31449/inf.v48i10.5757.

[27] K. Udaichi, R. Chinaveer Nagappan, M. Garcia-Torres, P. Bidare Divakarachari, and S. N. Bhukya, "Large-scale system identification using self-adaptive penguin search algorithm," *IET Control Theory Appl.*, vol. 17, no. 17, pp. 2292–2303, 2023, doi: 10.1049/cth2.12479.

[28] Y. Zhu, X. Fan, and C. Yin, "Aptenodytes forsteri optimization algorithm for low-carbon logistics network under demand uncertainty," *PLoS One*, vol. 19, no. 1 January, pp. 1–28, 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0297223.

[29] A. Shyshatskyi *et al.*, "Development Of A Solution Search Method Using The Improved Emperor Penguin Algorithm.," vol. 126, no. 4, p. 6, 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.291008.

Copyright © 2026 The Author(s). Published by *Forum Kerjasama Pendidikan Tinggi*. Page 239
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

[30] Asif Raihan, "A Comprehensive Review of the Recent Advancement in Integrating Deep Learning with Geographic Information Systems," *Res. Briefs Inf. Commun. Technol. Evol.*, vol. 9, no. 06, pp. 98–115, 2023, doi: 10.56801/rebicte.v9i.160.
[31] M. A. U. Sunny, "Unveiling spatial insights: navigating the parameters of dynamic Geographic Information Systems (GIS) analysis," *Int. J. Sci. Res. Arch.*, vol. 11, no. 2, pp. 1976–1985, 2024, doi: 10.30574/ijsra.2024.11.2.0690.
[32] L. Peng, L. He, Y. Zhang, Y. Zhou, H. Xiao, and R. Wang, "Planning urban underground space from urban emergency evacuation: A digital layout planning method," *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 104, pp. 1–20, 2023, doi: 10.1016/j.tust.2023.105271.
[33] M. Naidoo and A. Gasparatos, "Consumer worldviews and perspectives on environmental sustainability initiatives in the South African supermarket sector," *J. Clean. Prod.*, vol. 413, no. May, p. 137496, 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137496.
[34] O. Zedadra, A. Zedadra, A. Guerrieri, H. Seridi, and D. Ghelis, "a New Multi-Robots Search and Rescue Strategy Based on Penguin Optimization Algorithm," *Scalable Comput.*, vol. 25, no. 5, pp. 4428–4441, 2024, doi: 10.12694/scpe.v25i5.3541.
[35] I. Mzili, T. Mzili, and M. E. Riffi, "Efficient Routing Optimization With Discrete Penguins Search Algorithm for Mtsp," *Decis. Mak. Appl. Manag. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 730–743, 2023, doi: 10.31181/dmame04092023m.
[36] S. L. Tsaqila, S. Winiarti, and I. Widaningrum, "Decision support system in determining the location of new supermarket branches using the copras method," *Int. J. Ind. Optim.*, vol. 5, no. 1, pp. 16–30, 2024, doi: 10.12928/ijio.v5i1.9061.
[37] Oloruntosin Tolulope Joel and Vincent Ugochukwu Oguanobi, "Data-driven strategies for business expansion: Utilizing predictive analytics for enhanced profitability and opportunity identification," *Int. J. Front. Eng. Technol. Res.*, vol. 6, no. 2, pp. 071–081, 2024, doi: 10.53294/ijfetr.2024.6.2.0035.
[38] Y. Xiang, D. Chang, and X. Feng, "Leveraging Urban Big Data for Informed Business Location Decisions: A Case Study of Starbucks in Tianhe District, Guangzhou City," *IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.*, pp. 1012–1016, 2023, doi: 10.1109/IEEM58616.2023.10406983.
[39] I. Mzili, M. E. Riffi, and F. Benzakri, "Discrete penguins search optimization algorithm to solve flow shop scheduling problem," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 4, pp. 4426–4435, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i4.pp4426-4435.
[40] H. Cao and P. Chen, "Enhancing decision-making through geographic information visualization : Integrating 3D modeling and virtual reality for intuitive spatial data representation," *Adv. Eng. Innov.*, vol. 12, no. October, pp. 0–4, 2024, doi: 10.54254/2977-3903/12/2024125.
[41] S. Ranatunga, R. S. Ødegård, E. Onstein, and K. Jetlund, "Digital Twins for Geospatial Decision-making," *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 10, no. 4, pp. 271–278, 2024, doi: 10.5194/isprs-annals-X-4-2024-271-2024.
[42] Nofirman, N. H. Ahmada, and T. R. Fauzan, "Integration of Geographic Information Systems and Spatial Data Analysis in Location Decision Making for Manufacturing Industries," *Int. J. Softw. Eng. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 196–209, 2024, doi: 10.35870/ijsecs.v4i1.2027.
[43] R. De Miguel González, J. Mar-Beguería, M. Sebastián López, and O. Kratochvíl, "GIS-Based Dashboards as Advanced Geospatial Applications for Climate Change Education and Teaching the Future," *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 14, no. 2, pp. 1–13, 2025, doi: 10.3390/ijgi14020089.
[44] D. T. Robinson and B. Caradima, "A Multi-Scale Suitability Analysis of Home-Improvement Retail-Store Site Selection for Ontario, Canada," *Int. Reg. Sci. Rev.*, vol. 46, no. 1, pp. 69–97, 2023, doi: 10.1177/01600176221092483.
[45] A. Kumar and R. Avula, "AI-Powered Location Intelligence : Revolutionizing Site Selection and Investment Decisions," *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 10, no. 6, pp. 1735–1742, 2024, doi: 10.32628/CSEIT241061217 AI-Powered.
[46] M. Ahmed, A. Dogru, C. Zhang, and C. Meng, "Learning-Based Multi-Criteria Decision Model for Site Selection Problems," *arXiv Prepr. arXiv2504.04055*, no. April, pp. 1–6, 2025, doi: 10.48550/arXiv.2504.04055.

Copyright © 2026 The Author(s). Published by *Forum Kerjasama Pendidikan Tinggi*. Page 240
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.