JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)
Journal homepage: https://jurnal.stkippgritulungagung.ac.id/index.php/jipi
ISSN: 2540-8984
Vol. 11, No. 1, March 2026, Pp.359-369

KLASTERISASI TINGKAT KESEJAHTERAAN MASYARAKAT MENGGUNAKAN METODE SELF ORGANIZING MAPS DENGAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Zulfa Febi Afidria[1)], Trimono*[2)], Dwi Arman Prasetya[3)]
1. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia
2. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia
3. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

Article Info
Kata Kunci: Kesejahteraan Masyarakat; Klastering; Particle Swarm Optimization; Self Organizing Maps

Keywords: *Community Welfare; Clustering; Particle Swarm Optimization; Self Organizing Maps*

Article history:
Received 1 May 2025
Revised 8 June 2025
Accepted 16 June 2025
Available online 1 March 2026

DOI :
https://doi.org/10.29100/jipi.v11i1.7752

* Corresponding author.
Corresponding Author
E-mail address:
trimono.stat@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Pulau Jawa juga merupakan salah satu pulau yang masih menjadi kontributor terbesar dalam pertumbuhan ekonomi Indonesia. Kontribusi Pulau Jawa diperkirakan akan menyentuh porsi hingga 58,75 persen pada tahun 2023. Namun, di balik pertumbuhan ekonominya yang pesat, Pulau Jawa masih menghadapi tantangan kesejahteraan seperti tingginya pengangguran, kemiskinan, serta rendahnya kualitas sumber daya manusia dan pendidikan. penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan tingkat kesejahteraan Masyarakat di Pulau Jawa menggunakan metode Self Organizing Maps dengan Particle Swarm Optimization. Metode ini dipilih karena SOM juga sangat efisien dalam mengelola data yang mengandung noise, outlier, serta nilai yang hilang karena ukuran sampelnya tidak memiliki batasan. Akan tetapi SOM juga memiliki kelemahan yaitu jumlah cluster perlu ditentukan secara spesifik dan untuk mendapatkan batas cluster peneliti harus melakukan inspeksi manual atau menggunakan algoritma cluster hierarki atau partisi. Penentuan batas cluster pada metode SOM dapat menggunakan metode Particle Swarm Optimization(PSO). Kebaruan dari penelitian ini adalah penerapan kombinasi metode SOM dan PSO dalam analisis kesejahteraan masyarakat di Pulau Jawa, yang masih jarang digunakan pada studi serupa. hasil penelitian ini menunjukkan model terbaik membentuk 3 cluster dengan nilai *silhouette coefficient* tertinggi sebesar 0.7293 Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur cluster yang terbentuk termasuk dalam kategori baik.

ABSTRACT

Java is also one of the islands that remains the largest contributor to Indonesia's economic growth. Java's contribution is expected to reach 58.75 percent by 2023. However, behind its rapid economic growth, Java Island still faces welfare challenges such as high unemployment, poverty, and the low quality of human resources and education. This research aims to classify the level of community welfare in Java Island using the Self Organizing Maps method with Particle Swarm Optimization. This method was chosen because SOM is also very efficient in managing data containing noise, outliers, and missing values because the sample size has no limit. However, SOM also has the disadvantage that the number of clusters needs to be determined specifically and to get cluster boundaries researchers must do manual inspection or use a hierarchical cluster or partition algorithm. Determination of cluster boundaries in the SOM method can use the Particle Swarm Optimization (PSO) method. The novelty of this research is the application of a combination of SOM and PSO methods in analyzing community welfare in Java, which is still rarely used in similar studies. the results of this study show that the best model forms 3 clusters with the highest silhouette coefficient value of 0.7293 This value indicates that the cluster structure formed is included in the good category.

JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)
Journal homepage: https://jurnal.stkippgritulungagung.ac.id/index.php/jipi
ISSN: 2540-8984
Vol. 11, No. 1, March 2026, Pp.359-369

I. PENDAHULUAN

Sejalan dengan tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*/SDGs), yang merupakan komitmen global dan telah diintegrasikan ke dalam kebijakan nasional, upaya ini bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Tujuan tersebut telah disepakati dalam Sidang Umum Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB), sebagai bagian dari agenda Pembangunan tahun 2030, yang diharapkan mampu mengatasi berbagai tantangan terkait kesejahteraan masyarakat [1]. Kesejahteraan masyarakat merupakan salah satu sasaran utama setiap negara, termasuk Indonesia, sebagaimana dinyatakan dalam Alinea keempat Undang-Undang Dasar 1945 dan tercantum dalam sila kelima Pancasila [2]. Kesejahteraan dapat diartikan sebagai suatu kondisi Dimana seluruh warga serba kecukupan untuk memenuhi segala kebutuhan baik material maupun spriritual [3]. Kesejahteraan masyarakat pada dasarnya adalah kondisi yang dinamis dan selalu berubah mengikuti perkembangan kebutuhan hidup manusia [2].

Pulau Jawa merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki tanggung jawab untuk mewujudkan tujuan nasional yang berkaitan dengan kesejahteraan masyarakat [4]. Pulau Jawa juga merupakan salah satu pulau yang masih menjadi kontributor terbesar dalam pertumbuhan ekonomi Indonesia. Kontribusi Pulau Jawa diperkirakan akan menyentuh porsi hingga 58,75 persen pada tahun 2023 [5]. Namun, di balik pertumbuhan ekonominya yang pesat, Pulau Jawa masih menghadapi tantangan kesejahteraan. Hal ini terlihat dari perbedaan antar daerah yang tercermin melalui beberapa indikator, seperti tingkat kemiskinan, pengangguran yang tinggi yang berdampak negatif secara luas, baik bagi individu maupun perekonomian, serta indikator lainnya [6]. Pada tahun 2023, Provinsi Banten mencatat tingkat pengangguran terbuka tertinggi di Pulau Jawa, yaitu sebesar 6,48%, diikuti oleh DKI Jakarta dengan 6,21%. Sementara itu, berdasarkan jumlah penduduk miskin, Provinsi Jawa Timur menempati peringkat pertama dengan 4,189 juta jiwa, disusul oleh Jawa Barat dengan 3,889 juta jiwa, dan Jawa Tengah dengan 3,792 juta jiwa [7]

Pemerintah telah berupaya meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui pembangunan fisik dan non-fisik, seperti infrastruktur dan program sosial [8] .Namun, tingginya pengangguran, kemiskinan, serta rendahnya kualitas sumber daya manusia dan pendidikan menunjukkan bahwa upaya tersebut belum sepenuhnya efektif. Ketidakmerataan pembangunan disebabkan oleh perbedaan karakteristik wilayah, seperti jumlah penduduk, tingkat ekonomi dan kondisi geografis yang terdiri dari 3 bagian yaitu dataran tinggi, dataran rendah dan pesisir yang menyulitkan penerapan kebijakan seragam di seluruh daerah [4] [9]. Oleh karena itu, pemerintah perlu memahami kondisi tiap daerah untuk merumuskan kebijakan yang tepat sasaran, serta terus mengembangkan sarana dan infrastruktur, khususnya di wilayah dengan kesejahteraan rendah, demi pemerataan pembangunan dan peningkatan kualitas hidup [10]. sehingga diperlukan clustering untuk mengelompokkan daerah berdasarkan indikator kesejahteraan yang relevan.

K-Means sering digunakan dalam penelitian sebelumnya, namun memiliki kelemahan yaitu sensitif terhadap outlier dan hasil clustering sangat bergantung pada pemilihan pusat cluster [11]. Sehingga pada penelitian ini penulis menggunakan metode SOM (*Self Organizing Maps*) yang merupakan salah satu metode klastering non-hierarki yang paling terkenal dalam teknik jaringan saraf. SOM menerapkan pendekatan pembelajaran tidak terawasi (*unsupervised learning*), yang berarti bahwa proses pembelajarannya berlangsung tanpa pengawasan langsung. SOM juga sangat efisien dalam mengelola data yang mengandung noise, outlier, serta nilai yang hilang karena ukuran sampelnya tidak memiliki batasan [12]. Selain itu SOM juga mampu melakukan pemetaan dengan tingkat validitas yang cukup tinggi dan bias yang rendah. Hal ini memungkinkan SOM untuk memetakan kumpulan data sesuai dengan karakteristiknya melalui mekanisme pemetaan yang bersifat *self-organizing* [13].

Pemilihan metode diatas juga didasari pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh [14] Pengelompokkan Kabupaten/Kota Berdasarkan Indeks Pembangunan Manusia Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Self-Organizing Maps (SOM) menghasilkan nilai Silhouette Coefficient sebesar 0,3316 dengan jumlah cluster sebanyak 4. Selanjutnya penelitian telah dilakukan sebelumnya oleh [15] Penelitian ini mengelompokkan nilai tukar petani di Indonesia menggunakan *Self-Organizing Map* (SOM) dan *K-Affinity Propagation* (K-AP). SOM mencapai akurasi 18,59997, sedangkan K-AP memiliki rasio 38,04833, menunjukkan bahwa SOM lebih efektif karena nilai rasio yang lebih rendah. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [16] mengelompokkan Provinsi di Indonesia berdasarkan data Potensi Desa menggunakan *K-Means* dan *Self-Organizing Maps* (SOM). Hasil *Davies Bouldin Index* (DBI) menunjukkan nilai 0,6613664 untuk *K-Means* dan 0,1829366 untuk SOM, yang mengindikasikan bahwa SOM menghasilkan pengelompokan yang lebih baik karena nilai DBI-nya lebih rendah. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [4] mengelompokkan kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Barat berdasarkan indikator kesejahteraan masyarakat. Hasil validitas pengelompokan menunjukkan nilai koefisien silhouette sebesar 0,473 dengan jumlah klaster optimal sebanyak 7 klaster menggunakan metode hierarchical clustering Average Linkage.

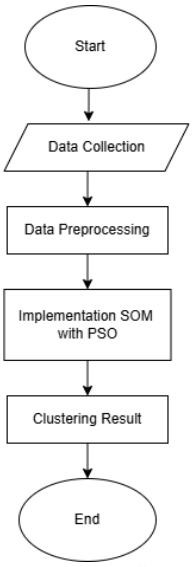
Akan tetapi, metode SOM juga memiliki kelemahan, yaitu jumlah klaster perlu ditentukan secara spesifik di awal, dan batas antar klaster harus diperoleh melalui inspeksi manual atau dengan bantuan algoritma klasterisasi lainnya, seperti metode hierarki atau partisi. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini menggabungkan metode SOM dengan Particle Swarm

Optimization (PSO) [17]. PSO merupakan algoritma optimasi berbasis populasi yang meniru pola pergerakan burung dan ikan dalam mencari makan. Metode ini sering digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan optimasi, termasuk peningkatan akurasi dan seleksi fitur [18]. Dengan mengintegrasikan PSO ke dalam proses klasterisasi, pemilihan parameter optimal pada SOM, seperti jumlah klaster dan bobot awal, dapat dilakukan secara otomatis dan efisien. Kombinasi SOM dan PSO ini tidak hanya mengurangi subjektivitas dalam proses klasterisasi, tetapi juga menghasilkan klaster yang lebih stabil, akurat, dan representatif [17]

Penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan wilayah di Pulau Jawa berdasarkan indikator kesejahteraan masyarakat guna mengidentifikasi daerah sesuai tingkat kesejahteraannya serta untuk meningkatkan kualitas kebijakan yang diberikan kepada masyarakat [19]. Urgensi penelitian ini didasarkan pada kenyataan bahwa meskipun Pulau Jawa menjadi pusat pertumbuhan ekonomi nasional, ketimpangan kesejahteraan antar wilayah masih tinggi dan terus berdampak nyata terhadap berbagai aspek sosial dan ekonomi. Ketimpangan tersebut menyebabkan rendahnya akses terhadap layanan dasar seperti pendidikan, kesehatan, dan air bersih di sebagian wilayah, yang pada akhirnya menghambat mobilitas sosial, meningkatkan tingkat pengangguran, dan memperluas kesenjangan pendapatan. Kebijakan pembangunan yang bersifat umum dan tidak mempertimbangkan kondisi lokal kurang efektif dalam menjawab persoalan tersebut. Oleh karena itu, hasil klasterisasi yang diperoleh dalam penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar yang kuat dalam perumusan kebijakan berbasis wilayah yang lebih adaptif dan berkeadilan, serta mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG's) 2030, khususnya dalam pengentasan kemiskinan dan pengurangan ketimpangan.

Penelitian ini juga memberikan kontribusi terhadap pencapaian beberapa target dalam Sustainable Development Goals (SDGs), yaitu SDG 1 (Tanpa Kemiskinan), SDG 3 (Kehidupan Sehat dan Sejahtera), SDG 4 (Pendidikan Berkualitas), dan SDG 10 (Mengurangi Ketimpangan). Dengan mengelompokkan wilayah berdasarkan indikator-indikator kesejahteraan seperti tingkat kemiskinan, pendidikan, dan akses layanan dasar, penelitian ini memberikan dasar yang kuat bagi perumusan kebijakan berbasis data. Hasil klasterisasi dapat dimanfaatkan untuk menyusun strategi pembangunan yang lebih adil, terarah, dan tepat sasaran sesuai karakteristik masing-masing wilayah.

II. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang disusun secara sistematis dan ditampilkan dalam bentuk diagram alir penelitian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

A. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari situs web Badan Pusat Statistik serta publikasinya pada tahun 2024. Data tersebut mencakup wilayah Jakarta, Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, dan Jawa Timur. Penelitian ini menggunakan delapan variabel yang mencerminkan berbagai indikator kesejahteraan. Variabel penelitian disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Deskripsi
X_1	Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT)
X_2	Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Akses Sumber Air Minum Layak
X_3	Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Akses Terhadap Layanan Sanitasi Layak
X_4	Persentase Penduduk Miskin
X_5	Indeks Pembangunan Manusia
X_6	Jumlah Tenaga Kesehatan
X_7	Jumlah Penduduk
X_8	Angkatan Kerja

B. *Self Organizing Maps*

Metode *Self Organizing Maps* (SOM), yang merupakan teknik dalam jaringan saraf tiruan. SOM digunakan dalam analisis data untuk melakukan analisis kluster. Istilah "*Self Organizing*" menunjukkan bahwa metode ini tidak memerlukan pengawasan selama proses pembelajarannya. Di sisi lain, istilah "*maps*" merujuk pada pemetaan bobot yang dilakukan agar sesuai dengan data input yang diberikan [20]. Berikut merupakan langkah-langkah proses metode Metode *Self Organizing Maps* (SOM).

1. Inisialisasi learning rate, ukuran topologi dan menentukan bobot awal untuk setiap neuron di lapisan *output*
2. proses pelatihan akan berjalan terus hingga mencapai kondisi "berhenti" tertentu. Apabila kondisi berhenti belum terpenuhi maka akan dilanjutkan ke langkah langkah berikutnya (langkah 3 hingga langkah 7)
3. Menghitung jarak Euclidean

$$D_j = \sqrt{\sum_{k=1}^{n} \left(W_{ij} - X_i\right)^2} \quad (1)$$

Keterangan :
D_j : *Jarak Euclidean* antara neuron output ke-*j* dengan input X
W_{ij} : Bobot yang menghubungkan neuron *input i* dengan neuron *output j*
X_i : Nilai dari neuron input *i*

4. Mencari Neuron pemenang yang memiliki jarak terdekat
5. Memperbarui bobot neuron

$$W_{ij}(baru) = W_{ij}(lama) + \alpha\left[X_i - W_{ij}(lama)\right] \quad (2)$$

6. Memperbarui learning rate

$$\alpha(baru) = 0.5\ \alpha(lama) \quad (3)$$

Keterangan :
$\alpha(lama)$: nilai awal *learning rate*

7. periksa kondisi berhenti, jika jumlah iterasi sudah cukup, map sudah stabil atau input tidak berpindah ke klaster lain, serta selisih bobot lama dan baru sudah sangat kecil, maka pelatihan selesai. Jika tidak, proses diulangi.

C. *Particle Swarm Optimization*

Particle Swarm Optimization merupakan metode pendekatan metaheuristik yang meniru pola pergerakan burung dan ikan saat mencari makan. Metode ini sering diterapkan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan optimasi, meningkatkan akurasi dan seleksi fitur [21]. Particle Swarm Optimization memperbarui pusat klaster dengan menghitung perubahan posisi partikel serta memperbarui kecepatannya [22] dengan menggunakan rumus persamaan (4)

$$V_i(t) = WV_i + c_1R_1\left(X_{pi} - X_i\right) + c_2R_2\left(X_{gi} - X_i\right) \quad (4)$$

Keterangan :
R_1 & R_2 : Nilai acak [0,1]
c_1 & c_2 : Coefficient Acceleration
X_{pi} : Nilai rata-rata data klaster
X_{gi} : Nilai rata-rata semua solusi
X_i : Data ke-*i*
W : Konstanta Inersia

i : 1,2,…, dimensi data
t : Iterasi

D. *Self Organizing Maps dengan Particle Swarm Optimization*

Pada tahap implementasi metode Self-Organizing Maps (SOM) dengan Particle Swarm Optimization (PSO) dilakukan untuk meningkatkan kualitas klasterisasi. SOM digunakan sebagai metode utama dalam melakukan pemetaan data ke dalam klaster. Sementara itu, PSO digunakan untuk mengoptimalkan bobot SOM, dengan tujuan meningkatkan akurasi dalam pengelompokan dan mempercepat proses konvergensi. Dalam proses ini, PSO akan menyesuaikan bobot neuron pada SOM, sehingga distribusi bobot lebih optimal dalam memetakan data ke klaster yang sesuai. Setiap partikel dalam PSO mewakili bobot SOM, dan pembaruan dilakukan berdasarkan pengalaman terbaik partikel serta pengalaman terbaik populasi. Berikut merupakan hybrid SOM dengan PSO [17]

1. Melakukan pengelompokan data menggunakan metode Self-Organizing Map (SOM) sebanyak *p* partikel.
2. Mengonversi bobot hasil pelatihan setiap SOM menjadi vektor partikel, di mana masing-masing SOM mewakili satu partikel.
3. Menginisialisasi matriks kecepatan (*velocity*), menentukan jumlah iterasi maksimum, serta menetapkan nilai parameter C1, C2, dan bobot inersia.
4. Melakukan proses pada langkah 5 hingga 9 secara berulang hingga jumlah iterasi maksimum tercapai.
5. Menentukan partikel terbaik (*winner particle*) dari masing-masing partikel berdasarkan rumus tertentu (mengacu pada persamaan 12).
6. Menginisialisasi *personal best* (pbest) dan *global best* (gbest) sebagai acuan partikel terbaik secara individu dan keseluruhan.
7. Memperbarui nilai kecepatan dan posisi partikel dengan rumus yang telah ditentukan (mengacu pada persamaan 9 dan 10).
8. Memperbarui nilai pbest jika posisi saat ini lebih baik dibanding sebelumnya (mengacu pada persamaan 11).
9. Memperbarui gbest dengan memilih nilai pbest terbaik dari seluruh partikel di setiap iterasi.
10. Menentukan klasifikasi akhir setiap data berdasarkan posisi terbaik yang diperoleh dari gbest.

E. *Normalisasi Data*

Dalam pemrosesan data dilakukan *Standarisasi* Data untuk menyamakan skala data. Tahapan ini dilakukan agar data yang digunakan konsisten, terutama jika terdapat perbedaan satuan atau skala di antara variabel. Untuk memastikan bahwa setiap variabel mendapatkan bobot yang sama. *Standarisasi* sangat penting, Hal ini mencegah variabel tertentu mendominasi hasil klasterisasi. Metode yang digunakan adalah *Z-Score*, di mana setiap nilai data disesuaikan berdasarkan rata-rata dan simpangan bakunya [23]. Menggunakan rumus persamaan (5).

$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (5)$$

Keterangan :
z : nilai *Z-Score*
s : standar Deviasi

F. *Silhouette Coefficient*

Silhouette Coefficient adalah suatu metode yang berfungsi untuk mengukur kualitas kluster yang dihasilkan dari data. *Silhouette Coefficient* mengukur seberapa baik suatu data berada dalam klasternya, dengan cara membandingkan jaraknya ke anggota klaster sendiri dan ke klaster lain yang paling dekat. Untuk Menghitung nilai *Silhouette Coefficient* menggunakan persamaan (6) [24].

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{max\big(a(i); b(i)\big)} \quad (6)$$

Keterangan :
$s(i)$: nilai *Silhouette* yang diperoleh untuk objek *i*
$b(i)$: Rata-rata jarak antara objek *I* dan kluster-kluster lain
$a(i)$: Rata-rata jarak antara objek *i* dan objek-objek dalam klaster yang sama
$max\big(a(i); b(i)\big)$: nilai maksimum antara $a(i)$ dan $b(i)$. Ini bertujuan untuk menormalkan selisih
sehingga nilai *s(i)* berada dalam rentang [-1, 1]. Rentang nilai *Silhouette Coefficient* berkisar antara -1 hingga 1. Kluster yang memiliki nilai mendekati 1 dianggap berkualitas baik, sedangkan kluster dengan nilai mendekati -1 dianggap kurang baik. Pada tabel 2 kriteria dari silhouette Coefficient [25]

Tabel 2. Kriteria Silhouette Coefficient

SC	Kriteria

$0.7 < SC \leq 1$	Struktur kuat
$0.5 < SC \leq 0.7$	Struktur baik
$0.25 < SC \leq 0.5$	Struktur lemah
$0.25 \leq SC$	Tidak terstruktur

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk analisis pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari website Badan Pusat Statistik serta publikasinya pada tahun 2024. Data tersebut terdiri dari 119 baris dengan 8 kolom, mencakup seluruh kabupaten/kota di provinsi-provinsi yang berada di Pulau Jawa, yaitu Jawa Timur, Jawa Tengah, Jawa Barat, DI Yogyakarta, DKI Jakarta, dan Banten. Tabel 3 menunjukkan struktur data yang akan digunakan untuk analisis

Tabel 3. Data Kesejahteraan Masyarakat

No	Kabupaten/ Kota	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
1.	Pacitan	1.56	4.35	81.26	12.69	7.9	185.00	588.569	419.721
2.	Ponorogo	4.19	95.57	95.57	13.78	7.8	445.00	962.941	618.250
3.	Trenggalek	3.9	81.47	84.66	16.63	7.92	233.00	744.516	482.897
4.	Tulungagung	4.12	98.62	87.76	13.36	8.68	589.00	1.113.847	678.314
5.	Blitar	4.77	98.66	86.16	12.67	7.87	455.00	1.263.645	730.704
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
117	Kota Cilegon	6.08	99.61	97.1	13.23	10.39	487.00	455.620	204.179
118	Kota Serang	7.12	96.27	92.71	12.83	8.93	443.00	734.870	374.767
119	Kota Tangerang Selatan	5.09	98.37	99,34	14.7	11.86	2.04	1.399.500	633.930

B. Data Preprocessing

1) Normalisasi Data

Tahapan selanjutnya yaitu proses standarisasi data dimana data yang memiliki skala yang berbeda akan disamakan skalanya Untuk memastikan bahwa setiap variabel mendapatkan bobot yang sama. Pada tabel 4 menunjukkan data yang sudah dilakukan standarisasi menggunakan metode Z-Score.

Tabel 4. Hasil Normalisasi Data

No	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
1.	-1.933	-2.563	-0.260	-0.615	-0.521	-0.640	-0.832	-0.684
2.	-0.465	-0.096	0.585	0.439	-0.583	0.448	-0.405	-0.240
3.	-0.627	-3.196	-0.006	-0.673	-0.509	-0.439	-0.654	-0.543
4.	-0.504	0.573	0.225	0.032	-0.035	1.051	-0.233	-0.106
5.	-0.142	0.582	0.105	-0.635	-0.540	0.490	-0.062	0.010
…	…	…	…	…	…	…	…	…
117	0.588	0.791	0.924	-0.093	1.029	0.624	-0.984	-1.166
118	1.169	0.716	0.595	-0.480	0.120	0.440	-0.665	-0.785
119	0.036	0.518	1.091	1.330	1.945	-1.406	0.092	-0.205

C. Implementasi SOM dengan PSO

Pada tahap ini, dilakukan analisis klaster menggunakan metode Self-Organizing Maps (SOM) yang dioptimasi dengan Particle Swarm Optimization (PSO). Proses optimasi diawali dengan inisialisasi parameter PSO, yaitu jumlah partikel sebanyak 50, jumlah iterasi maksimum 1000, nilai cognitive $(c1)$ sebesar 1.5, dan nilai inertia weight (w) yang disesuaikan secara adaptif. Nilai awal kecepatan dan posisi partikel diinisialisasi secara acak untuk mencari parameter terbaik yang menghasilkan nilai fitness maksimal.

Selama proses iterasi, dilakukan evaluasi terhadap nilai fitness masing-masing partikel berdasarkan hasil clustering menggunakan SOM. Nilai fitness terbaik dari masing-masing partikel dicatat sebagai personal best (pbest), sedangkan nilai fitness terbaik dari seluruh partikel pada populasi dicatat sebagai global best (gbest).

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa algoritma berhasil mencapai konvergensi pada iterasi ke-12, sehingga proses dihentikan lebih awal dari jumlah iterasi maksimum yang telah ditentukan. Parameter optimal yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5, yang menjadi acuan dalam menghasilkan struktur cluster terbaik dengan nilai evaluasi tertinggi.

Tabel 5. Parameter Optimal

Parameter	Nilai

Sigma	0.7
Learning Rate	0.3
Gbest	0.5464156

Pelatihan jaringan Self-Organizing Map (SOM) dilakukan sebanyak 1000 iterasi untuk mengelompokkan data berdasarkan kemiripan vektor input. Proses pelatihan menggunakan peta SOM berukuran 3×2 neuron. Hasil implementasi SOM dengan PSO dievaluasi berdasarkan nilai rata-rata Silhouette Coefficient untuk masing-masing jumlah klaster yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan variasi jumlah klaster, yaitu mulai dari 2 hingga 6 klaster. Nilai Silhouette Coefficient dari masing-masing variasi jumlah klaster disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Evaluasi Silhouette Coefficient

Cluster	Silhouette Coefficient
2	0.6955
3	0.7293
4	0.5223
5	0.5143
6	0.5231

Berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa jumlah klaster yang paling optimal adalah sebanyak 3 klaster. Hal ini didasarkan pada nilai rata-rata Silhouette Coefficient yang diperoleh, di mana klaster dengan jumlah 3 menghasilkan nilai tertinggi dibandingkan jumlah klaster lainnya, yaitu sebesar 0.7293. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur klaster yang terbentuk pada 3 klaster memiliki tingkat pemisahan dan kekompakan yang paling baik, sehingga dapat dianggap sebagai solusi klasterisasi yang paling optimal dalam analisis ini.

Meskipun hasil klasterisasi yang diperoleh menunjukkan struktur klaster yang optimal, penerapan model ini tidak terlepas dari berbagai tantangan. Salah satu kendala utama adalah keterbatasan data, baik dari segi kelengkapan maupun pembaruannya, yang dapat memengaruhi akurasi hasil klasterisasi. Selain itu, dinamika sosial-ekonomi yang cepat berubah, seperti mobilitas penduduk, perubahan kebijakan pemerintah, dan dampak bencana alam, juga dapat menyebabkan perubahan signifikan pada indikator kesejahteraan dalam waktu singkat. Faktor-faktor eksternal ini perlu diperhitungkan dalam penerapan model secara berkelanjutan agar hasil klasterisasi tetap relevan dan dapat diandalkan sebagai dasar dalam perumusan kebijakan

D. Hasil Clustering

Setelah diperoleh jumlah klaster optimal, langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi anggota dari masing-masing klaster yang terbentuk. Informasi mengenai anggota dari masing-masing klaster tersebut disajikan secara rinci pada Tabel 7, yang menggambarkan bagaimana daerah-daerah dikelompokkan berdasarkan karakteristik kesejahteraan yang serupa.

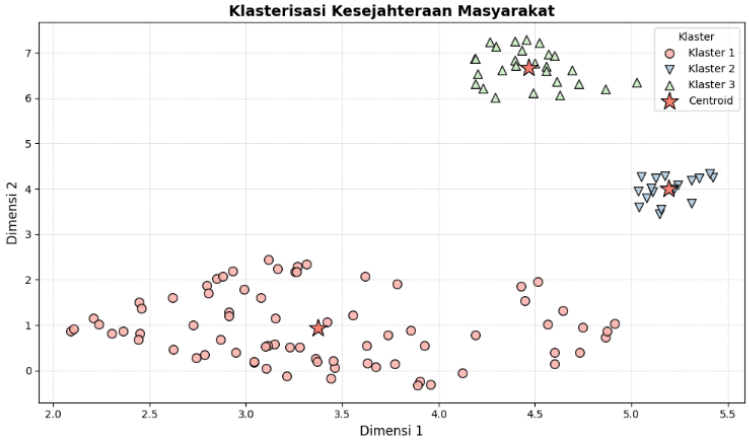
Tabel 7. Hasil Cluster

Cluster	Banyak Anggota	Wilayah	Status
1	75	Kabupaten Pacitan, Kabupaten Ponorogo, Kabupaten Trenggalek, Kabupaten Tulungagung, Kabupaten Blitar, Kabupaten Kediri, Kabupaten Lumajang, Kabupaten Jember, Kabupaten Banyuwangi, Kabupaten Bondowoso, Kabupaten Situbondo, Kabupaten Probolinggo, Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Mojokerto, Kabupaten Jombang, Kabupaten Nganjuk, Kabupaten Madiun, Kabupaten Magetan, Kabupaten Ngawi, Kabupaten Bojonegoro, Kabupaten Tuban, Kabupaten Lamongan, Kabupaten Bangkalan, Kabupaten Sampang, Kabupaten Pamekasan, Kabupaten Sumenep, Kabupaten Cilacap, Kabupaten Purbalingga, Kabupaten Banjarnegara, Kabupaten Kebumen, Kabupaten Purworejo, Kabupaten Wonosobo, Kabupaten Magelang, Kabupaten Boyolali, Kabupaten Klaten, Kabupaten Sukoharjo, Kabupaten Wonogiri, Kabupaten Karanganyar, Kabupaten Sragen, Kabupaten Grobogan, Kabupaten Blora, Kabupaten Rembang, Kabupaten Pati, Kabupaten Kudus, Kabupaten Jepara, Kabupaten Demak, Kabupaten Semarang, Kabupaten Temanggung, Kabupaten Kendal, Kabupaten Batang, Kabupaten Pekalongan, Kabupaten Pemalang, Kabupaten Tegal, Kabupaten Brebes, Kabupaten Sukabumi, Kabupaten Cianjur, Kabupaten Garut, Kabupaten Tasikmalaya, Kabupaten Ciamis, Kabupaten Kuningan, Kabupaten Majalengka, Kabupaten Sumedang, Kabupaten Indramayu, Kabupaten Subang, Kabupaten Purwakarta, Kabupaten Bandung Barat, Kabupaten Pangandaran, Kota Sukabumi, Kota tasikmalaya, Kabupaten Kulonprogo, Kabupaten Bantul, Kabupaten Gunungkidul, Kabupaten Pandeglang, Kabupaten Lebak, Kabupaten Serang	Sedang

JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)
Journal homepage: https://jurnal.stkippgritulungagung.ac.id/index.php/jipi
ISSN: 2540-8984
Vol. 11, No. 1, March 2026, Pp.359-369

2	27	Kabupaten Malang, Kabupaten Sidoarjo, Kabupaten Gresik, Kota Malang, Kota Surabaya, Kabupaten Banyumas, Kota Surakarta, Kota Semarang, Kabupaten Bogor, Kabupaten Bandung, Kabupaten Cirebon, Kabupaten Karawang, Kabupaten Bekasi, Kota Bogor, Kota Bandung, Kota Bekasi, Kota Depok, Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, Jakarta Selatan, Jakarta Timur, Jakarta Pusat, Jakarta Barat, Jakarta Utara, Kabupaten Tangerang, Kota Tangerang, Kota Tangerang Selatan	Tinggi
3	17	Kota Kediri, Kota Blitar, Kota Probolinggo, Kota Pasuruan, Kota Mojokerto, Kota Madiun, Kota Batu, Kota Magelang, Kota Salatiga, Kota Pekalongan, Kota Tegal, Kota Cirebon, Kota Cimahi, Kota Banjar, Kepulauan Seribu, Kota Cilegon, Kota Serang	Rendah

Berdasarkan Tabel 6, diketahui bahwa masing-masing klaster memiliki jumlah anggota yang berbeda-beda. Klaster 1 terdiri dari 75 Kabupaten/Kota, Klaster 2 terdiri dari 27 Kabupaten/Kota, dan Klaster 3 terdiri dari 17 Kabupaten/Kota. Jumlah anggota pada setiap klaster menunjukkan adanya variasi dalam karakteristik kesejahteraan masyarakat antar wilayah di Pulau Jawa



Gambar 2. Visualisasi hasil Cluster

Visualisasi hasil klaster ditampilkan pada Gambar 2, di mana gambar tersebut menunjukkan pembagian wilayah berdasarkan hasil pengelompokan yang dilakukan. Setiap klaster direpresentasikan dengan warna yang berbeda untuk memudahkan identifikasi

Tabel 8. Profilisasi Cluster

Variabel	1	2	3
X_1	4.49	5.33	6.31
X_2	94.59	98.84	98.16
X_3	81.48	92.77	88.78
X_4	10.86	6.20	5.92
X_5	72.94	79.50	81.06
X_6	444.65	399.71	2.40
X_7	1239484.76	281580.18	2191360.85
X_8	709324.48	149731.65	1135038.11

Pada Tabel 8 merupakan hasil profilisasi klaster yang terbentuk berdasarkan nilai rata-rata setiap fitur yang merepresentasikan indikator kesejahteraan masyarakat. Profilisasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik masing-masing klaster sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi kesejahteraan masyarakat di tiap kelompok wilayah

1. Cluster 1
   Klaster 1 mewakili wilayah dengan status kesejahteraan sedang, yang ditandai dengan tingkat pengangguran sebesar 4,49%, tingkat kemiskinan relatif tinggi sebesar 10,86%, dan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) sebesar 72,94 yang masih berada di bawah rata-rata nasional. Meskipun akses terhadap air minum dan sanitasi sudah cukup baik, kualitas pendidikan dan kesehatan masih perlu ditingkatkan. Oleh karena itu, wilayah dalam klaster ini perlu difokuskan pada program penurunan kemiskinan, peningkatan kualitas pendidikan dan layanan kesehatan, serta penguatan kapasitas ekonomi masyarakat.

2. Cluster 2
   Klaster 2 merupakan wilayah dengan status kesejahteraan tinggi**,** yang ditandai dengan IPM tertinggi sebesar 81,06 dan tingkat kemiskinan terendah sebesar 5,92%. Wilayah dalam klaster ini juga memiliki jumlah penduduk dan angkatan kerja yang sangat besar, namun hanya didukung oleh rata-rata 2,4 tenaga kesehatan, yang merupakan angka terendah di antara seluruh klaster. Hal ini menunjukkan adanya ketimpangan dalam distribusi sumber daya layanan publik, khususnya di bidang kesehatan. Oleh karena itu, wilayah dalam klaster ini memerlukan kebijakan yang berfokus pada peningkatan jumlah dan kualitas tenaga kesehatan, penguatan infrastruktur layanan publik, serta pengendalian pertumbuhan penduduk agar pelayanan tetap optimal dan berkelanjutan..
   Klaster 2 dikategorikan sebagai wilayah dengan status kesejahteraan rendah, meskipun memiliki akses layanan dasar yang sangat baik, seperti air bersih (98,84%) dan sanitasi (92,77%). Tingkat kemiskinan sebesar 6,20% dan IPM sebesar 79,50 menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki potensi untuk berkembang. Namun, keterbatasan jumlah penduduk dan tenaga kerja yang relatif kecil, serta kapasitas ekonomi lokal yang belum optimal, menjadi tantangan utama. Oleh karena itu, kebijakan yang dapat diterapkan antara lain adalah pengembangan ekonomi mikro dan UMKM, serta investasi pada peningkatan sumber daya manusia agar potensi yang dimiliki wilayah ini dapat dimanfaatkan secara maksimal.
3. Cluster 3
   Klaster 3 dikategorikan sebagai wilayah dengan status kesejahteraan rendah, meskipun memiliki akses layanan dasar yang sangat baik, seperti air bersih (98,84%) dan sanitasi (92,77%). Tingkat kemiskinan sebesar 6,20% dan IPM sebesar 79,50 menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki potensi untuk berkembang. Namun, keterbatasan jumlah penduduk dan tenaga kerja yang relatif kecil, serta kapasitas ekonomi lokal yang belum optimal, menjadi tantangan utama. Oleh karena itu, kebijakan yang dapat diterapkan antara lain adalah pengembangan ekonomi mikro dan UMKM, serta investasi pada peningkatan sumber daya manusia agar potensi yang dimiliki wilayah ini dapat dimanfaatkan secara maksimal.

E. Perbandingan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi metode Self-Organizing Maps (SOM) yang dioptimalkan dengan Particle Swarm Optimization (PSO) mampu menghasilkan kualitas klaster yang lebih baik dibandingkan metode yang digunakan dalam penelitian sebelumnya. Midyanti et al. [14] menggunakan SOM untuk mengelompokkan kabupaten/kota berdasarkan Indeks Pembangunan Manusia dan memperoleh nilai Silhouette Coefficient sebesar 0,3316. Iyohu et al. [16] membandingkan SOM dan K-Means, dan hasilnya menunjukkan bahwa SOM menghasilkan nilai Davies Bouldin Index (DBI) sebesar 0,1829, lebih rendah dari K-Means yang mencapai 0,6613, menandakan bahwa SOM memberikan pengelompokan yang lebih baik. Izzaty et al. [4] menggunakan metode hierarchical clustering dengan Average Linkage untuk mengelompokkan wilayah di Sumatera Barat, dengan hasil Silhouette Coefficient sebesar 0,473.
Dibandingkan dengan ketiga penelitian tersebut, metode SOM-PSO dalam penelitian ini menghasilkan nilai Silhouette Coefficient yang jauh lebih tinggi, yaitu sebesar 0,7293. Hal ini menunjukkan bahwa struktur klaster yang terbentuk lebih jelas dan lebih padat secara internal. Dengan demikian, kontribusi utama dari penelitian ini tidak hanya membuktikan kembali efektivitas SOM, tetapi juga menghadirkan pendekatan baru melalui integrasi PSO yang mampu meningkatkan validitas hasil klasterisasi, terutama dalam konteks pengelompokan wilayah berdasarkan indikator kesejahteraan masyarakat.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini mengelompokkan Kabupaten/Kota di Pulau Jawa dengan menggunakan metode Self Organizing Maps (SOM) yang dioptimasi dengan Particle Swarm Optimization (PSO). Berdasarkan hasil penelitian, model terbaik membentuk 5 cluster dengan nilai *silhouette coefficient* tertinggi sebesar 0.7293 dengan parameter optimal yang didapatkan dari hasil optimasi yaitu Sigma 0.7, Learning Rate 0.3, Fitness 0.5464156. Kelebihan dalam penelitian ini terletak pada penerapan kombinasi metode Self-Organizing Maps (SOM) dan Particle Swarm Optimization (PSO) yang inovatif dalam mengelompokkan tingkat kesejahteraan masyarakat. Selain itu, metode yang digunakan mampu mengelola data dengan noise dan outlier secara efektif, menghasilkan struktur klaster dengan kualitas yang baik, serta memberikan kontribusi nyata dalam mendukung pemetaan wilayah untuk perumusan kebijakan pembangunan. Kekurangan dalam penelitian ini adalah cakupan data yang masih terbatas, yaitu hanya mencakup satu pulau di Indonesia, serta visualisasi hasil klasterisasi yang kurang optimal dalam menggambarkan persebaran dan pola data secara menyeluruh. Saran bagi penelitian selanjutnya untuk mencoba metode klastering lain seperti Gaussian Mixture Model atau Spectral Clustering, serta menerapkan teknik optimasi lainnya seperti Genetic Algorithm dan Ant Colony Optimization untuk meningkatkan akurasi dan stabilitas hasil klasterisasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Sulthan, M. Y. AR, and S. Ardiputra, “View of Analisis Komunikasi Politik Kepala Desa Buttu Pamboang Dalam Menerapkan Sustainable Development Goals (SDG’s) Desa Dalam Mengatasi Kemiskinan.” Accessed: Oct. 25, 2024. [Online]. Available: https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jpdk/article/view/10867/8371

[2] Y. Lentiana Dakhi and B. Arnawisuda Ningsi, “MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science Clustering of Districts and Cities in North Sumatra Province Based on People’s Welfare Indicators Using K-Means Algorithm Pengelompokan Kabupaten dan Kota Provinsi Sumatera Utara Berdasarkan Indikator Kesejahteraan Rakyat Menggunakan Algoritma K-Means,” vol. 4, no. 3, pp. 993–1003, 2024, doi: 10.57152/malcom.v4i3.1381.

[3] I. Wahyuni, I. Wahyuni, and S. P. Wulandari, "Pemetaan Kabupaten/Kota di Jawa Timur Berdasarkan Indikator Kesejahteraan Rakyat Menggunakan Analisis Cluster Hierarki," *Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 11, no. 1, pp. D70–D75, Feb. 2022, doi: 10.12962/j23373520.v11i1.63092.

[4] U. IZZATY, I. RAHMI HG, and D. DEVIANTO, "PENGKLASTERAN KABUPATEN/KOTA DI PROVINSI SUMATERA BARAT BERDASARKAN INDIKATOR KESEJAHTERAAN MASYARAKAT DENGAN VALIDITAS KOEFISIEN SILHOUETTE," *Jurnal Matematika UNAND*, vol. 9, no. 2, pp. 192–198, Jun. 2020, doi: 10.25077/jmu.9.2.192-198.2020.

[5] S. Yulfia Hadist and A. Priyo Utomo, "Pengelompokan Kabupaten/Kota di Pulau Jawa Berdasarkan Kondisi Sosial Ekonomi Sebelum dan Setelah Memasuki Pandemi COVID-19," *Seminar Nasional Official Statistics*, vol. 2021, no. 1, pp. 322–332, Nov. 2021, doi: 10.34123/semnasoffstat.v2021i1.865.

[6] Y. Reinaldi, N. Ulinnuha, and Moh. Hafiyusholeh, "Comparison of Single Linkage, Complete Linkage, and Average Linkage Methods on Community Welfare Analysis in Cities and Regencies in East Java," *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*, vol. 18, no. 1, pp. 130–140, Sep. 2021, doi: 10.20956/j.v18i1.14228.

[7] Badan Pusat Statistik, "Badan Pusat Statistik Indonesia," Badan Pusat Statistik Indonesia 2025.

[8] K. M. Hindrayani, P. A. Riyantoko, and T. M. Fahrudin, "PENERAPAN DASHBOARD SYSTEM PENDAPATAN ASLI DAERAH (PAD) SEKTOR PARIWISATA PADA KABUPATEN MOJOKERTO MENGGUNAKAN TABLEAU," *Journal of Computer Science and Technology (JCS-TECH)*, vol. 4, no. 1, pp. 14–18, May 2024, doi: 10.54840/jcstech.v4i1.189.

[9] T. Trimono, A. Sonhaji, and U. Mukhaiyar, "FORECASTING FARMER EXCHANGE RATE IN CENTRAL JAVA PROVINCE USING VECTOR INTEGRATED MOVING AVERAGE," *MEDIA STATISTIKA*, vol. 13, no. 2, pp. 182–193, Dec. 2020, doi: 10.14710/medstat.13.2.182-193.

[10] A. T. Damaliana, A. Muhaimin, and D. A. Prasetya, "FORECASTING THE OCCUPANCY RATE OF STAR HOTELS IN BALI USING THE XGBOOST AND SVR METHODS," *Journal Of Statistics*, vol. 1, no. 12, pp. 24–33, 2024, doi: 10.14710/JSUNIMUS.

[11] I. Indra, N. Nur, Muh. Iqram, and N. Inayah, "Perbandingan K-Means dan Hierarchical Clustering dalam Pengelompokan Daerah Beresiko Stunting," *INOVTEK Polbeng - Seri Informatika*, vol. 8, no. 2, p. 356, Nov. 2023, doi: 10.35314/isi.v8i2.3612.

[12] M. Dwi Kartikasari, "Journal Homepage: Pengelompokan Wilayah Indonesia Berdasarkan Konsumsi Pangan," *JAMBURA JOURNAL OF MATHEMATICS Jambura J. Math*, vol. 187, no. 2, pp. 187–196, 2021, doi: 10.34312/jjom.v3i2.10942.

[13] S. Nisrina, W. P. Nurmayanti, Basirun, Kertanah, and Muhammad Gazali, "Penerapan Metode Clustering SOM dan DBSCAN dalam Mengelompokkan Unmet Need Keluarga Berencana di Nusa Tenggara Barat," *J Statistika: Jurnal Ilmiah Teori dan Aplikasi Statistika*, vol. 15, no. 2, pp. 237–244, Dec. 2022, doi: 10.36456/jstat.vol15.no2.a5549.

[14] D. Marisa Midyanti, S. Bahri, and P. Korespondensi, "IMPLEMENTASI SELF ORGANIZING MAPS UNTUK PENGELOMPOKAN KABUPATEN/KOTA BERDASARKAN INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA," vol. 10, no. 6, pp. 1265–1272, 2023, doi: 10.25126/jtiik.2023107647.

[15] S. H. Hastuti, W. P. Nurmayanti, and A. A. Saputri, "PENERAPAN METODE CLUSTERING SELF ORGANIZING MAPS (SOM) DAN K-AFFINITY PROPAGATION (K-AP) DALAM MENGELOMPOKKAN NILAI TUKAR PETANI DI INDONESIA 2022," *VARIANCE: Journal of Statistics and Its Applications*, vol. 5, no. 1, pp. 79–88, Sep. 2023, doi: 10.30598/variancevol5iss1page79-88.

[16] L. R. Iyohu, Ismail Djakaria, and La Ode Nashar, "Perbandingan Metode K-Means Clustering dengan Self-Organizing Maps (SOM) untuk Pengelompokan Provinsi di Indonesia Berdasarkan Data Potensi Desa," *Jurnal Statistika dan Aplikasinya*, vol. 7, no. 2, pp. 195–206, Dec. 2023, doi: 10.21009/JSA.07208.

[17] N. Y. Kusrahman, I. Purnamasari, and F. D. T. Amijaya, "Optimasi Self-Organizing Map Menggunakan Particle Swarm Optimization untuk Mengelompokkan Desa/Kelurahan Tertinggal di Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur," *EKSPONENSIAL*, vol. 11, no. 2, p. 139, Jan. 2021, doi: 10.30872/eksponensial.v11i2.656.

[18] D. Pajri, Y. Umaidah, and T. N. Padilah, "K-Nearest Neighbor Berbasis Particle Swarm Optimization untuk Analisis Sentimen Terhadap Tokopedia," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 6, no. 2, Aug. 2020, doi: 10.28932/jutisi.v6i2.2658.

[19] D. A. Prasetya, A. P. Sari, P. A. Riyantoko, and T. M. Fahrudin, "The Effect of Information Quality and Service Quality on User Satisfaction of the Government of Kabupaten Malang," *TIERS Information Technology Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 32–42, Jun. 2023, doi: 10.38043/tiers.v4i1.4328.

[20] R. Umar, A. Fadlil, R. Rahmatika, A. Zahra, U. Ahmad, and D. Yogyakarta, "Self Organizing Maps(SOM) untuk Pengelompokkan Jurusan di SMK," *Khazanah Informatika : Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, vol. 4, no. 2, pp. 131–137, Dec. 2018, doi: 10.23917/KHIF.V4I2.7044.

[21] H. Harliana, R. M. Herdian Bhakti, O. Saeful Bachri, and F. Sofian Efendi, "Optimasi K-Means dengan Particle Swarm Optimization pada Pengelompokkan Daerah Stunting," *Jurnal Ilmiah Intech : Information Technology Journal of UMUS*, vol. 3, no. 02, pp. 95–101, Nov. 2021, doi: 10.46772/intech.v3i02.457.

[22] U. R. Amaliah, D. Arifianto, and I. Saifudin, "Implementasi Algoritma Fuzzy C-Means dengan Particle Swarm Optimization Untuk Pengelompokan Tingkat Kesejahteraan di Provinsi Jawa Tengah," 2022. doi: 10.32528/jasie.v4i1.16223.

[23] T. M. Fahrudin, "Cluster Analysis of Hospital Inpatient Service Efficiency Based on BOR, BTO, TOI, AvLOS Indicators using Agglomerative Hierarchical Clustering," *Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi*, vol. 18, no. 2, pp. 194–210, 2021, doi: 10.31515/telematika.v18i2.4786.

[24] D. A. Prasetya, A. P. Sari, M. Idhom, and A. Lisanthoni, "Optimizing Clustering Analysis to Identify High-Potential Markets for Indonesian Tuber Exports," *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics*, vol. 7, no. 1, pp. 113–122, Feb. 2025, doi: 10.35882/ijeeemi.v7i1.55.

[25] R Nabila Nur Fransiska, Anggraeni Dwi Suci, and Enri Ultach, "Pengelompokkan Data Kemiskinan Provinsi Jawa Barat Menggunakan Algoritma K-Means dengan Silhouette Coefficient," *Jurnal Teknologi Informasi Komunikasi*, vol. 9, no. 1, pp. 29–35, Jun. 2022, doi: 10.38204/tematik.v9i1.921.