

Identifikasi Titik Lokasi Prioritas Pembangunan SMA Baru di Desa Wonomerto Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)

Ridwan Cahya Alfandi
Dept. Computer Science
Institut Pertanian Bogor
Bogor, Indonesia
cylalfandi@apps.ipb.ac.id

Khansa Fitri Zhafirah
Dept. Computer Science
Institut Pertanian Bogor
Bogor, Indonesia
khansa26zhafirah@apps.ipb.ac.id

Dicky Anugrah
Dept. Computer Science
Institut Pertanian Bogor
Bogor, Indonesia
minatozakidicky@apps.ipb.ac.id

Zara Zannetta
Dept. Computer Science
Institut Pertanian Bogor
Bogor, Indonesia
zarazannetta@apps.ipb.ac.id

Salsabila Azzahra
Dept. Computer Science
Institut Pertanian Bogor
Bogor, Indonesia
salsabilaaazzahra@apps.ipb.ac.id

Abstract—Akses ke pendidikan SMA sangat penting untuk mencapai pendidikan yang adil, khususnya di daerah pedesaan. Desa Wonomerto, yang terletak di Kecamatan Bandar, Kabupaten Batang, Jawa Tengah, saat ini tidak memiliki Sekolah Menengah Atas (SMA), sehingga memaksa siswa untuk menempuh perjalanan jauh untuk melanjutkan pendidikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi yang optimal untuk membangun SMA baru menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO). Data spasial pada koordinat bangunan tempat tinggal dikumpulkan menggunakan OpenStreetMap dan Overpass Turbo API. Algoritma PSO diimplementasikan untuk meminimalkan total jarak Euclidean nilai longitude dan latitude antara lokasi tempat tinggal dan lokasi sekolah yang diusulkan. Hasilnya mengidentifikasi lokasi yang optimal pada koordinat (-7.06952169, 109.79080754), yang diposisikan di tengah-tengah kelompok perumahan desa. Visualisasi dan analisis konvergensi mengkonfirmasi efektivitas PSO dalam memecahkan masalah lokasi fasilitas ini. Metode yang diusulkan dapat berfungsi sebagai alat pendukung keputusan untuk perencanaan infrastruktur pendidikan di daerah pedesaan.

Keywords—*Particle Swarm Optimization (PSO), Facility Location, Pendidikan Pedesaan, OpenStreetMap, Data Spasial, Desa Wonomerto*

I. PENDAHULUAN

Pendidikan merupakan dasar utama dalam pembangunan daerah dalam meningkatkan kualitas sumber daya manusia. Akses terhadap jenjang pendidikan menengah atas seperti Sekolah Menengah Atas (SMA) menjadi faktor penting dalam pemerataan pendidikan, khususnya di wilayah pedesaan yang seringkali mengalami keterbatasan infrastruktur pendidikan lanjutan.

Desa Wonomerto di Kecamatan Bandar, Kabupaten Batang, Jawa Tengah, sampai saat ini belum memiliki fasilitas SMA. Berdasarkan data BPS Kabupaten Batang tahun 2024 [1], desa ini hanya memiliki enam sekolah dari jenjang TK hingga SMP. Kondisi ini memaksa lulusan SMP menempuh jarak jauh ke desa atau kecamatan lain untuk melanjutkan pendidikan, yang dapat berdampak pada rendahnya partisipasi pendidikan menengah atas. Dalam perencanaan pembangunan unit sekolah baru, pemilihan lokasi sangat krusial agar akses pendidikan dapat merata dan efisien. Penempatan yang tidak tepat dapat mengakibatkan ketimpangan akses, pemborosan waktu dan

biaya transportasi, serta menurunkan efektivitas pembangunan. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan berbasis data dan metode optimasi untuk menentukan lokasi yang paling strategis.

Penelitian ini menggunakan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)*, algoritma berbasis populasi yang meniru perilaku sosial hewan, seperti burung atau ikan [2]. PSO digunakan untuk mengidentifikasi titik lokasi prioritas pembangunan SMA baru dengan memanfaatkan data koordinat rumah penduduk sebagai dasar fungsi objektif. Hasilnya diharapkan dapat merekomendasikan lokasi yang optimal dengan total jarak tempuh minimum dari seluruh rumah penduduk ke titik calon sekolah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Perencanaan lokasi fasilitas publik merupakan aspek krusial dalam pengembangan infrastruktur pendidikan yang efektif dan berkelanjutan. Penelitian yang dilakukan oleh [3] menunjukkan bahwa perencanaan lokasi fasilitas hierarkis untuk sektor publik harus mempertimbangkan aksesibilitas maksimal, beberapa tingkat permintaan dan fasilitas, serta hierarki bersarang yang memungkinkan fasilitas tingkat tertentu melayani permintaan pada tingkat yang sama dan lebih rendah. Faktor-faktor yang umumnya dipertimbangkan dalam perencanaan lokasi fasilitas pendidikan meliputi sebaran penduduk, jarak ke fasilitas terdekat, akses jalan, dan ketersediaan lahan.

Metode *metaheuristic* merupakan algoritma pencarian berbasis populasi yang digunakan untuk optimasi masalah kompleks yang tidak dapat diselesaikan secara analitis. *Particle Swarm Optimization (PSO)* adalah salah satu algoritma *swarm intelligence* yang paling terkenal, yang mensimulasikan perilaku sosial sekumpulan partikel yang bergerak dalam ruang pencarian untuk menemukan solusi optimal [4]. Penelitian yang dilakukan oleh [5] menunjukkan bahwa PSO memiliki beberapa kelebihan dibandingkan algoritma lain seperti *Genetic Algorithm (GA)* dan *Ant Colony Optimization (ACO)*, yaitu implementasi yang sederhana, parameter yang lebih sedikit, dan kecepatan konvergensi yang baik. PSO tidak memerlukan informasi gradien dari fungsi objektif, menjadikannya sangat cocok untuk masalah optimasi yang tidak dapat didiferensiasi, seperti penentuan lokasi optimal fasilitas publik.

Penerapan PSO dalam studi lokasi fasilitas telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam berbagai penelitian terdahulu. Penelitian yang dilakukan oleh [6] menggunakan algoritma PSO untuk optimasi penentuan lokasi *Base Transceiver System* (BTS) yang optimal dengan mempertimbangkan matriks jarak antar lokasi, menunjukkan bahwa PSO dapat menentukan posisi optimal dengan tingkat akurasi 76,2304% dalam meminimalkan jarak tempuh. Studi lain yang dilakukan oleh [7] mengaplikasikan PSO untuk meningkatkan kualitas layanan routing pada jaringan wireless dengan fokus pada optimasi rute berdasarkan nilai delay dan jarak, membuktikan bahwa PSO mampu menghasilkan rute optimal dengan total delay terkecil sebesar 0.002179 dan menunjukkan penurunan delay sebesar 14,04% dibandingkan dengan pendekatan default. Penelitian [8] juga menerapkan PSO untuk optimasi perencanaan lokasi multi-site pada industri tekstil yang mempertimbangkan jarak antar lokasi produksi, menunjukkan algoritma tersebut dapat menghasilkan solusi optimal dengan biaya total Rp2.734.643.500,- yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional.

III. METODE PENELITIAN

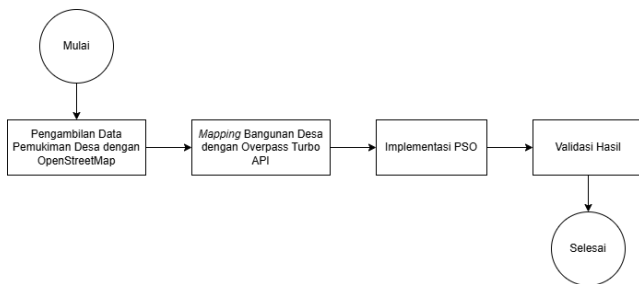


Fig. 1. Tahapan Penelitian

A. Data Penelitian

Data penelitian ini diperoleh secara sekunder diperoleh dari OpenStreetMap (OSM). OpenStreetMap Nominatim API digunakan untuk mengidentifikasi dan memperoleh koordinat pusat geografis Desa Wonomerto melalui proses geocoding dilanjutkan dengan pemanfaatan Overpass Turbo API dimanfaatkan untuk mengekstrak informasi spasial mengenai bangunan di wilayah tersebut [9].

Mengacu pada bentuk geografis Desa Wonomerto yang cenderung tidak beraturan, pengambilan data wilayah penelitian dibagi menjadi tiga *bounding box* terpisah guna menjamin cakupan data spasial yang komprehensif dan menghindari kehilangan informasi akibat keterbatasan kueri spasial. Setiap *bounding box* didefinisikan dengan koordinat lintang dan bujur sebagai berikut.

TABLE I. BOUNDING BOX WILAYAH DESA WONOMERTO

Wilayah <i>Bounding Box</i>	Lintang		Bujur	
	North (N)	South (S)	East (E)	West (W)
Wilayah I	-7.0491	-7.0643	109.7989	109.7911
Wilayah II	-7.0643	-7.0825	109.7994	109.7762
Wilayah III	-7.0825	-7.0920	109.7808	109.7736

Berikut ini tampilan dari data wilayah beserta koordinat bangunan yang ada.

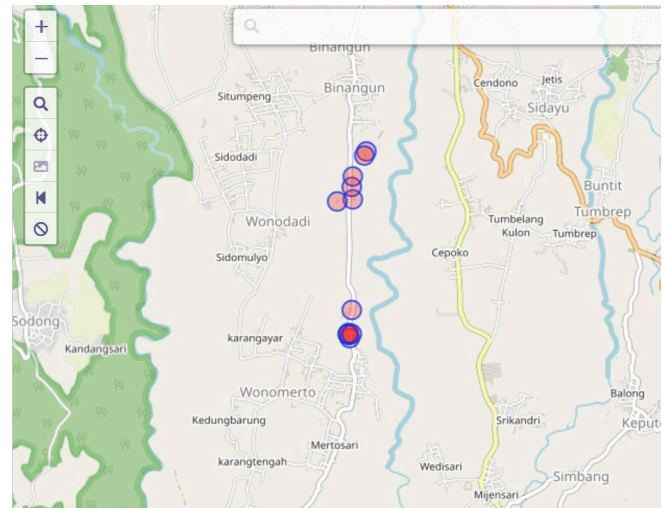


Fig. 2. Gambar Peta Wilayah I dengan Koordinat Bangunan

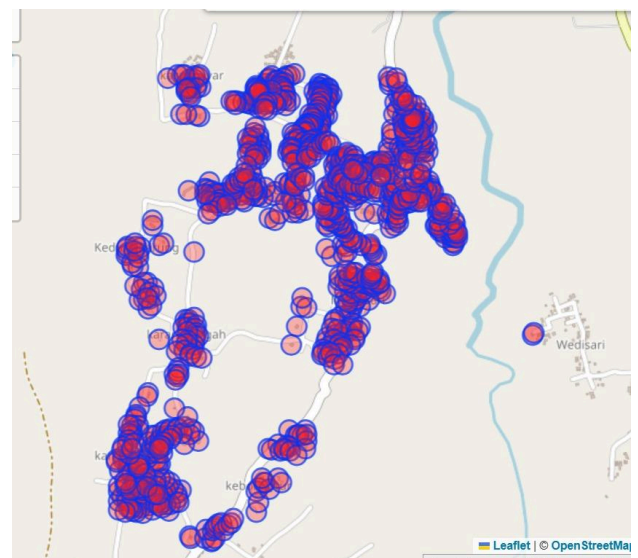


Fig. 3. Gambar Peta Wilayah II dengan Koordinat Bangunan

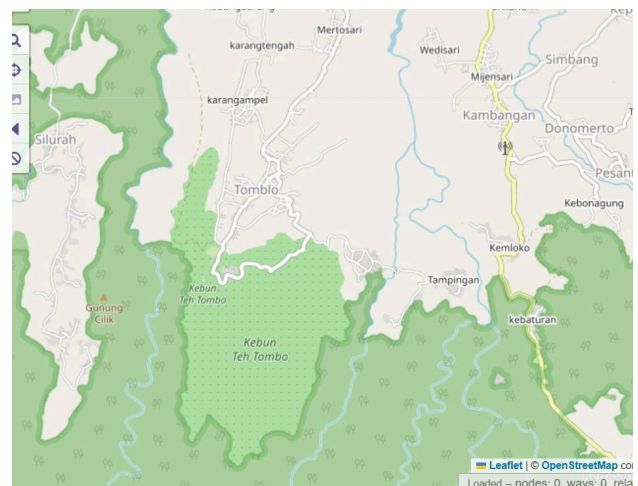


Fig. 4. Gambar Peta Wilayah III dengan Koordinat Bangunan

B. Implementasi Algoritma PSO

Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) adalah metode optimasi berbasis populasi yang meniru perilaku kolektif hewan berkelompok, seperti burung dalam kawanan

atau ikan dalam gerombolan, dalam mencari sumber makanan. Dalam PSO, setiap agen yang disebut “partikel” bergerak dalam ruang solusi dengan mempertimbangkan pengalaman terbaik dirinya sendiri (*personal best*) dan pengalaman terbaik seluruh kelompok (*global best*). PSO dikenal karena kesederhanaan struktur algoritmanya dan kemampuannya dalam menemukan solusi optimal secara efisien di ruang parameter kontinu.

$$v_i^{t+1} = \omega v_i^t + c_1 r_1 (p_{best_i}^t - x_i^t) + c_2 r_2 (g_{best_i}^t - x_i^t)$$

Update kecepatan dilakukan dengan rumus di atas dengan parameter v yang merepresentasikan vektor kecepatan, dan ω adalah bobot inersia yang digunakan untuk menyeimbangkan eksploitasi lokal dan eksplorasi global. Vektor r_1 dan r_2 merupakan vektor acak yang terdistribusi secara uniform dalam rentang $[0, 1]^D$ (dengan D menyatakan dimensi ruang pencarian atau ukuran dari permasalahan yang sedang diselesaikan), sedangkan c_1 dan c_2 , yang disebut sebagai 'koefisien percepatan', adalah konstanta positif [2].

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1}$$

Untuk *update* posisi, parameter x merepresentasikan posisi partikel.

Dalam konteks penelitian ini, algoritma PSO digunakan untuk menyelesaikan masalah *facility problem* khususnya untuk penempatan SMA di Desa Wonomerto. Tujuan utama dari algoritma adalah menemukan posisi partikel yang meminimalkan total jarak Euclidean ke seluruh titik bangunan yang sudah dikumpulkan dari data spasial.

$$f(x, y) = \sum \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$$

1) Representasi Partikel dan Fungsi Objektif

Setiap partikel dalam swarm merepresentasikan satu kandidat solusi lokasi sekolah dengan atribut posisi dua dimensi (lintang dan bujur), vektor kecepatan, serta memori solusi terbaik pribadi yang pernah dicapai. Populasi swarm terdiri dari 30 partikel yang bergerak secara bersamaan dalam ruang pencarian selama proses optimasi.

2) Inisialisasi Parameter

Parameter PSO ditetapkan sebagai argumen fungsi dengan nilai default: jumlah partikel 30, maksimum iterasi 40, koefisien kognitif (c_1) dan sosial (c_2) masing-masing 2.05, serta koefisien inersia (ω) 0.729. Konfigurasi parameter seperti bobot inersia yang disesuaikan serta nilai koefisien percepatan yang setara antara komponen kognitif dan sosial diadopsi dari pendekatan optimasi yang telah dikembangkan dalam studi terdahulu [10]. Pendekatan ini memberikan fleksibilitas untuk eksperimen dengan parameter berbeda tanpa mengubah implementasi algoritma.

3) Prosedur Iteratif Optimasi

Proses optimasi dilakukan melalui loop iterasi yang memanggil *method* `update_velocity()` dan `update_position()` pada tiap *instance* kelas partikel.

Method `update_velocity()` mengimplementasikan persamaan standar PSO dengan menghitung komponen kognitif dan sosial secara terpisah, kemudian menggabungkannya dengan momentum kecepatan sebelumnya.

Method `update_position()` tidak hanya memperbarui posisi berdasarkan kecepatan, tetapi juga menerapkan boundary constraint untuk memastikan partikel tetap dalam ruang pencarian valid. Method ini juga secara otomatis mengevaluasi fitness posisi baru dan memperbarui solusi terbaik pribadi jika ditemukan improvement.

4) Penemuan Solusi Terbaik

Algoritma melakukan pencarian solusi terbaik global dengan membandingkan solusi terbaik pribadi (*personal best*) setiap partikel. Jika ditemukan solusi yang lebih baik dari solusi terbaik global saat ini, maka solusi terbaik global diperbarui.

Hasil akhir berupa koordinat lokasi sekolah optimal divisualisasikan menggunakan *scatter plot* yang menunjukkan posisi rumah-rumah, lokasi sekolah optimal, dan garis penghubung yang merepresentasikan jarak dari setiap rumah ke sekolah. Visualisasi ini memberikan *insight* visual tentang kualitas solusi yang ditemukan oleh algoritma.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil implementasi algoritma Particle Swarm Optimization (PSO), diperoleh titik lokasi optimal pembangunan SMA di Desa Wonomerto pada koordinat (-7.06952169, 109.79080754) dengan nilai optimum dari hasil fungsi objektif sebesar . Titik ini merupakan hasil dari iterasi ke-40 dengan jumlah partikel sebanyak 30. Fungsi objektif yang digunakan adalah minimisasi total jarak Euclidean (longitude dan latitude) antara lokasi calon sekolah dan seluruh bangunan (rumah) yang terekstraksi dari data spasial OpenStreetMap dengan satuan kilometer.

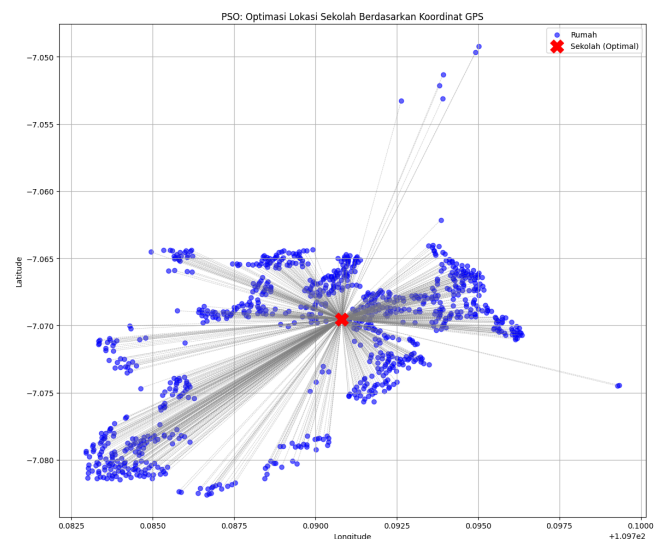


Fig. 5. Gambar hasil pencarian titik optimal pembangunan SMA di Desa Wonomerto

Berdasarkan hasil visualisasi di atas, terlihat bahwa lokasi optimal berada relatif di tengah-tengah sebaran rumah penduduk, yang mengindikasikan efisiensi dalam

menjangkau seluruh area permukiman. Hal ini diperkuat dengan hasil evaluasi fungsi objektif yang menurun secara signifikan pada awal iterasi dan mulai konvergen pada iterasi ke-24 hingga ke-40, menunjukkan bahwa algoritma berhasil mencapai titik stabil (global optimum atau near-optimum).

Tren penurunan nilai fungsi objektif dari 5.358677077890489 menjadi 5.316748816577591 membuktikan bahwa PSO bekerja secara efektif dalam mengeksplorasi ruang pencarian dan mengeksplorasi solusi terbaik yang ditemukan sejauh ini oleh partikel-partikel dalam swarm. Selain itu, hasil ini memperlihatkan bahwa kombinasi parameter yang digunakan yakni $c1 = 2.05$, $c2 = 2.05$, dan $w = 0.729$ cukup efektif dalam mengontrol laju konvergensi serta keseimbangan eksplorasi dan eksploitasi.

Dari sisi spasial, posisi lokasi yang dihasilkan termasuk strategis karena mampu meminimalkan jarak rata-rata siswa dari seluruh area desa. Lokasi ini berpotensi kuat untuk dijadikan kandidat prioritas dalam pembangunan SMA baru, karena memenuhi prinsip aksesibilitas dan efisiensi secara kuantitatif. Meskipun demikian, aspek non-spasial seperti kepemilikan lahan, kesiapan infrastruktur dasar, dan dukungan sosial masyarakat tetap menjadi faktor penting yang harus diperhatikan dalam proses perencanaan tahap lanjut.

Secara keseluruhan, pendekatan PSO dalam studi ini terbukti efisien dan adaptif untuk menyelesaikan masalah penentuan lokasi fasilitas publik di wilayah rural seperti Desa Wonomerto. Dengan penyesuaian parameter dan fungsi objektif, pendekatan serupa memiliki potensi luas untuk diterapkan pada konteks wilayah lain dengan kondisi geografis atau kepadatan yang berbeda.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini mengidentifikasi lokasi prioritas pembangunan SMA di Desa Wonomerto menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) berbasis data spasial dari OpenStreetMap. Dengan membagi wilayah desa ke dalam tiga bounding box untuk memperoleh cakupan spasial yang lengkap, diperoleh koordinat pemukiman warga sebagai acuan perhitungan fungsi objektif. Fungsi objektif yang digunakan berupa minimisasi total jarak euclidean dari calon lokasi sekolah terhadap seluruh titik rumah. Hasil optimasi menunjukkan bahwa titik terbaik berada pada koordinat (-7.06952169, 109.79080754) yang dihasilkan pada iterasi ke-40. Secara spasial, titik tersebut

terletak cukup sentral terhadap distribusi rumah penduduk, menjadikannya kandidat strategis yang mampu mengurangi jarak rata-rata tempuh siswa ke sekolah. Visualisasi akhir memperkuat bukti efektivitas PSO dalam menyelesaikan masalah *facility location*. Meskipun demikian, keputusan final pembangunan tetap perlu mempertimbangkan aspek lain seperti jumlah penduduk dalam wilayah lebih kecil, jumlah usia sekolah, tingkat pertumbuhan penduduk, dan ketersediaan infrastruktur pendukung seperti jalan serta transportasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik Kabupaten Batang, *Kecamatan Bandar dalam Angka 2024*, BPS Kabupaten Batang, Batang, Indonesia, 2024. [Online]. Available: <https://batangkab.bps.go.id/publication/2024/09/26/3181a3c928ef2b8780f22a59/kecamatan-bandar-dalam-angka-2024.html> [Accessed: Jun. 24, 2025].
- [2] A. G. Gad, "Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Applications: A Systematic Review," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 29, no. 5, hlm. 2531–2561, 2022, doi: 10.1007/s11831-021-09694-4
- [3] A. P. Antunes and D. Peeters, "A hierarchical location model for public facility planning," *European Journal of Operational Research*, vol. 185, no. 1, pp. 92–104, Feb. 2008.
- [4] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, Piscataway, NJ, 1995, pp. 1942–1948.
- [5] T. M. Shami, A. A. El-Saleh, M. Alswaiti, Q. Al-Tashi, M. A. Summakieh, and S. Mirjalili, "Particle swarm optimization: A comprehensive survey," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 10031–10061, 2022.
- [6] H. Z. Zahro' dan F. S. Wahyuni, "Optimasi Particle Swarm Optimization (PSO) untuk Penentuan Base Transceiver System (BTS)," *Jurnal MNEMONIC*, vol. 3, no. 1, pp. 7–10, Feb. 2020.
- [7] S. Usman, R. Harun, S. Melangi, dan M. H. A. Monoarfa, "Penerapan Algoritma Particle Swarm Optimization dalam Meningkatkan Kualitas Layanan Routing pada Jaringan Wireless," *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer Banthayo Lo Komputer*, vol. 3, no. 2, pp. 30–37, 2024.
- [8] A. M. Rizki dan A. L. Nurlaili, "Algoritme Particle Swarm Optimization (PSO) untuk Optimasi Perencanaan Produksi Agregat Multi-Site pada Industri Tekstil Rumahan," *COMPLETE Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication*, vol. 1, no. 2, pp. 1–9, 2019.
- [9] J. E. Vargas-Munoz, S. Srivastava, D. Tuia, dan A. X. Falcao, "OpenStreetMap: Challenges and Opportunities in Machine Learning and Remote Sensing," *IEEE Geosci Remote Sens Mag*, vol. 9, no. 1, hlm. 184–199, Mar 2021, doi: 10.1109/mgrs.2020.2994107.
- [10] M. Mashayekhi, M. Harati, and H. Estekanchi, "Development of an alternative PSO-based algorithm for simulation of endurance time excitation functions," *Engineering Reports*, vol. 1, Oct. 2019, doi: 10.1002/eng2.12048..