

## ABSTRACT

The location-routing problem (LRP) is an emerging area in logistics research which combines two well-known distribution planning tasks: facility location problem (FLP) and vehicle routing problem (VRP). The main goal of planning a distribution network is to obtain a minimum systemwide cost, which resembles companies' economical objective. However, in order to achieve a more sustainable future, nowadays companies have to start to give attention to the sustainability issue, such as providing workload balance for their employees and producing less emission from their operational activities. The challenge arises because sustainability issue is potentially conflicting with companies' economical objective. Therefore, an effort has to be made to find the optimal solution.

Our literature review finds only limited works in LRP which have already addressed sustainability issue comprehensively. Thus, this study intends to present a multi-objective sustainable LRP to address this issue. The proposed model considers three objective functions: (1) to minimize the total cost associated with facility, vehicle, and distribution, (2) to balance the workload in distribution activities, and (3) to minimize CO<sub>2</sub> emission from transportation activities. The main purposes of this model are to obtain the optimal location of distribution centers, a number of vehicles established, and delivery routes which satisfy all of these three objectives.

In order to solve the model, this study implements a novel metaheuristic for multi-objective routing problem, namely the multi-objective sine-cosine algorithm (MOSCA). The algorithm is modified with a simple discretization technique to deal with discrete search space. Then, the performance of the proposed algorithm is evaluated with several test instances and applied to solve a real world case study. The results are compared to three classical metaheuristics, namely non-dominated sorting genetic algorithm-II (NSGA-II), multi-objective particle swarm optimization (MOPSO), and Pareto archived evolution strategy (PAES).

The experimental results indicate that, based on five comparison metrics, MOSCA performs better than the other algorithms. MOSCA is superior in number of Pareto solutions (NPS), measured spread (MS), mean-ideal distance (MID), and spacing metrics (SM) in 36 instances from Tuzun and Burke (1999), as well as obtaining the best results in NPS, MS, and MID for the case study in Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia. The applicability of MOSCA is also demonstrated by generating 48 Pareto optimal solutions that can be chosen by the decision maker to solve the given case study.

**Keywords:** *Location-Routing Problem (LRP), Multi-Objective, Sustainability, Workload Balance, Multi-Objective Sine-Cosine Algorithm (MOSCA)*

## INTISARI

*Location-routing problem* (LRP) adalah area riset logistik yang mengkombinasikan dua aktivitas perencanaan klasik: *facility location problem* (FLP) dan *vehicle routing problem* (VRP). Tujuan utama dari perencanaan jaringan distribusi adalah untuk meminimasi biaya dari sistem, yang merepresentasikan tujuan ekonomis dari firma. Namun, untuk menjaga kelestarian, kini firma pun dituntut untuk memberikan perhatian terhadap isu *sustainability*, seperti memperhatikan keseimbangan beban kerja dari pekerja dan mengurangi produksi emisi dari kegiatan operasional. Hambatan muncul karena isu *sustainability* berpotensi menimbulkan konflik dengan tujuan ekonomis perusahaan, sehingga diperlukan usaha untuk menemukan titik solusi yang optimal.

Tinjauan literatur hanya menemukan sedikit literatur di LRP yang telah membahas isu *sustainability* secara komprehensif. Maka dari itu, studi ini ditujukan untuk memberikan kontribusi di area tersebut dengan membangun sebuah model *multi-objective sustainable LRP*. Model yang dibangun mempertimbangkan tiga fungsi tujuan: (1) meminimalkan total biaya yang terkait dengan pengadaan fasilitas, kendaraan, dan kegiatan distribusi, (2) menyeimbangkan beban kerja dalam kegiatan distribusi, dan (3) meminimalkan produksi emisi CO<sub>2</sub> dari kegiatan transportasi. Tujuan utama dari model ini adalah untuk menentukan lokasi dan jumlah optimal dari pusat distribusi, jumlah kendaraan yang diperlukan, dan rute pengiriman yang dapat mengoptimalkan ketiga fungsi tujuan tersebut.

Guna mengoptimalkan model yang telah dibangun, studi ini mengimplementasikan metaheuristik baru untuk *multi-objective routing problem*, bernama *multi-objective sine-cosine algorithm* (MOSCA). Algoritma ini dimodifikasi dengan metode transformasi diskret untuk bekerja dalam semesta pembicaraan yang bersifat diskret. Kemudian, performa dari algoritma MOSCA dievaluasi dengan menggunakan beberapa data *benchmark* dan diaplikasikan untuk menyelesaikan studi kasus. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hasil dari tiga metaheuristik klasik, yaitu *non-dominated sorting genetic algorithm-II* (NSGA-II), *multi-objective particle swarm optimization* (MOPSO), dan *Pareto archived evolution strategy* (PAES).

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa, berdasarkan lima indikator performa, MOSCA memiliki performa yang lebih baik dibandingkan ketiga algoritma lainnya. MOSCA meraih hasil terbaik di *number of Pareto solution* (NPS), *measured spread* (MS), *mean-ideal distance* (MID), dan *spacing metrics* (SM) untuk menyelesaikan data *benchmark* dari Tuzun dan Burke (1999). MOSCA juga memberikan nilai NPS, MS, dan MID terbaik dalam studi kasus di Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia. Efektivitas dari MOSCA kemudian ditunjukkan dengan menghasilkan 48 solusi Pareto optimal yang dapat dipilih oleh *decision maker* guna menyelesaikan studi kasus yang diberikan.

**Kata kunci:** *Location-Routing Problem* (LRP), *Multi-Objective*, *Sustainability*, Keseimbangan beban kerja, *Multi-Objective Sine-Cosine Algorithm* (MOSCA)