

INTISARI

Seiring dengan meningkatnya volume sampah dan keterbatasan fasilitas pembuangan, efisiensi dalam rantai pasok sampah merupakan salah satu cara yang dapat mengurangi dampak lingkungan dan biaya. Penelitian ini berfokus pada pengembangan model *Multi-Objective Location Routing Problem with Time Windows* dalam sistem pengelolaan sampah padat yang menghubungkan sumber sampah, TPS3R, hingga ke TPA. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan keputusan strategis pemilihan lokasi fasilitas dan keputusan operasional penentuan rute kendaraan dengan dua fungsi objektif, yaitu meminimalkan biaya total dan meminimalkan emisi yang dihasilkan oleh kendaraan.

Model matematis yang dikembangkan menggunakan pendekatan *Mixed Integer Linear Programming* yang diselesaikan dengan *Gurobi optimizer* untuk skala kecil, serta algoritma *Multi-Objective Adaptive Large Neighborhood Search* untuk menyelesaikan permasalahan dalam skala yang lebih besar. MOALNS bekerja melalui operator *destroy* dan *repair* yang dipilih secara adaptif berdasarkan performa historis untuk mengeksplorasi ruang solusi. Kualitas solusi MOALNS diukur menggunakan *hypervolume metric*. Kemudian, hasil performa dari masing-masing metode dibandingkan satu sama lain.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode MILP berhasil menemukan solusi optimal pada skala kecil. Namun, metode ini mengalami kendala komputasi pada skala lebih dari 20 node, sedangkan MOALNS mampu menemukan solusi optimal pada ukuran hingga 37 node. Pada implementasi kasus nyata dengan menggunakan algoritma MOALNS, *Pareto Front* berhasil menunjukkan *trade-off* antara biaya total, yang memiliki rentang dari Rp3.175.262,00 hingga Rp4.858.636,79, dengan emisi karbon, yang memiliki *range* dari 172,25 kg CO_2e hingga 208,59 kg CO_2e . Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa MOALNS tidak dapat menghasilkan nilai *objective function* sebaik MILP, tetapi dapat menghasilkan solusi mendekati optimal dengan waktu komputasi 94% lebih cepat.

Kata kunci: Pengelolaan Sampah Padat, *Multi-Objective Location Routing Problem with Time Windows* (MOLRPTW), *Mixed Integer Linear Programming* (MILP), *Multi-Objective Adaptive Large Neighborhood Search* (MOALNS)

ABSTRACT

With increasing waste volumes and limited disposal facilities, efficiency in the waste supply chain is one way to reduce environmental impacts and costs. This research focuses on developing a Multi-Objective Location Routing Problem with Time Windows model in a solid waste management system that connects waste sources, TPS3R, and the landfill. This research aims to optimize strategic decisions regarding facility location selection and operational decisions regarding vehicle routing with two objective functions: minimizing total costs and minimizing vehicle emissions.

The mathematical model developed uses a Mixed Integer Linear Programming approach solved with the Gurobi optimizer for small scales, and a Multi-Objective Adaptive Large Neighborhood Search algorithm for larger-scale problems. MOALNS operates through destroy and repair operators, adaptively selected based on historical performance to explore the solution space. The quality of the MOALNS solution is measured using a hypervolume metric. The performance results of each method are then compared.

The results show that the MILP method successfully finds optimal solutions at small scales. However, it experiences computational constraints at scales greater than 20, while MOALNS is able to find optimal solutions at sizes up to 37 nodes. In a real-world implementation using the MOALNS algorithm, the Pareto Front successfully demonstrates a trade-off between total costs, which range from Rp3,175,262.00 to Rp4,858,636.79, and carbon emissions, which range from 172.25 kg CO_2e to 208.59 kg CO_2e . The results also show that MOALNS cannot produce objective function values as good as MILP, but can produce near-optimal solutions with 94% faster computation time.

Keywords: Solid Waste Management, Multi-Objective Location Routing Problem with Time Windows (MOLRPTW), Mixed Integer Linear Programming (MILP), Multi-Objective Adaptive Large Neighborhood Search (MOALNS)