

INTISARI

Distribusi darah merupakan elemen vital dalam sistem kesehatan yang menuntut efisiensi dan ketepatan waktu tinggi. Tantangan dalam sistem distribusi darah saat ini masih belum banyak mendapat perhatian, terutama dalam konteks negara berkembang, di mana infrastruktur logistik dan sumber daya masih terbatas. Penelitian terkait optimasi transportasi dalam *blood supply chain* pada konteks tersebut masih relatif terbatas, baik dari sisi jumlah studi maupun kedalaman analisisnya. Selain itu, sebagian besar penelitian terdahulu masih menggunakan pendekatan eksak, yang meskipun mampu menghasilkan solusi optimal, namun memiliki keterbatasan dalam hal efisiensi waktu komputasi, terutama saat diterapkan pada skala permasalahan yang lebih besar atau kompleks.

Penelitian ini mengimplementasikan empat model distribusi yang diadaptasi dari Lusiantoro et al. (2024), yaitu Model ICEV, Model EV, Model ICEV Multi moda, dan Model EV Multi moda. Optimalisasi dilakukan melalui pendekatan metaheuristik *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS) dan diterapkan pada 24 *instance* pengujian sebagai alternatif terhadap metode eksak. ALNS merupakan algoritma pencarian berbasis iteratif yang secara adaptif memilih kombinasi operator *destroy* dan *repair* untuk mengeksplorasi solusi dalam ruang pencarian yang luas. Pendekatan ini efektif untuk menyelesaikan masalah dengan kompleksitas tinggi karena dapat menyeimbangkan eksplorasi dan eksploitasi tanpa membutuhkan waktu komputasi sebesar metode eksak.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ALNS memberikan kualitas solusi lebih rendah dengan nilai *makespan* rata-rata 8,63% lebih besar pada model *single moda* dan 12,35% pada model *multi moda* dibandingkan dengan metode eksak. Namun, ALNS unggul secara signifikan dari aspek efisiensi waktu komputasi, dengan *runtime* hingga 54,62% lebih cepat dibandingkan metode eksak. Temuan juga menunjukkan konsistensi dengan studi sebelumnya, di mana Model EV Multi moda terbukti sebagai opsi paling efisien dan berkelanjutan secara operasional. Kendati demikian, perbedaan total jarak tempuh sepeda motor teridentifikasi, yang kemungkinan disebabkan oleh desain fungsi objektif pada ALNS yang hanya berfokus pada minimisasi *makespan* tanpa mempertimbangkan distribusi beban antar moda secara eksplisit. Dampak emisi juga dilihat dengan perbandingan *carbon tax* bahwa dengan EV dapat menghemat 76.07% dibanding ICEV.

Kata Kunci: *Blood Supply Chain, Metaheuristic Optimization, Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS), Carbon Tax*

ABSTRACT

Blood distribution is a vital element in healthcare systems, demanding high efficiency and timely delivery. However, challenges within blood distribution systems have received limited attention, especially in developing countries, where logistics infrastructure and resources are still constrained. Research on transportation optimization within the blood supply chain in such contexts remains relatively scarce, both in terms of the number of studies and the depth of analysis. Moreover, most previous studies have employed exact methods, which, although capable of producing optimal solutions, have limitations in computational efficiency, particularly when applied to larger or more complex problem scales.

This study implements four distribution models adapted from Lusiantoro et al. (2024), namely the ICEV Model, EV Model, ICEV multi-mode Model, and EV multi-mode Model. Optimization is carried out using the metaheuristic approach Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS), which is applied to 24 test instances as an alternative to exact methods. ALNS is an iterative search algorithm that adaptively selects combinations of destroy and repair operators to explore solutions within a broad search space. This approach is effective for solving high-complexity problems because it balances exploration and exploitation without requiring as much computational time as exact methods.

The results of the study show that the ALNS method yields slightly lower solution quality, with an average makespan 8.63% higher for single-mode models and 12.35% higher for multi-mode models compared to exact methods. However, ALNS significantly outperforms in terms of computational efficiency, with runtime up to 54.62% faster than exact methods. The findings also align with previous studies, showing that the EV Multi moda Model proves to be the most efficient and operationally sustainable option. Nevertheless, differences in total motorcycle travel distance were observed, possibly due to the objective function design in ALNS, which focuses solely on minimizing makespan without explicitly considering load distribution across modes. Emissions impact was also assessed through carbon tax comparisons, indicating that EVs can achieve savings of up to 76.07% compared to ICEVs.

Keywords: Blood Supply Chain, Metaheuristic Optimization, Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS), Carbon Tax