



Perbandingan Algoritma AI untuk Sistem Pendukung Keputusan Penjadwalan Bongkar Muat Barang di Pelabuhan Semayang Balikpapan

Asfi Janatu^{*1}, Reygina Karangan², Yustian Servanda³, Tri Sudinugraha⁴

^{*1,2,3,4}Universitas Mulia Balikpapan

E-mail: ^{*1}asfijjanatu@gmail.com, ²reginakarangan112@gmail.com,
³yustians@universitasmulia.ac.id, ⁴tri.sudinugraha@gmail.com

Abstract

Optimizing loading and unloading scheduling at Semayang Port, Balikpapan, is a complex challenge that requires an artificial intelligence approach. This study compares the effectiveness of the Genetic Algorithm (GA) and Neural Network (NN) as decision support systems in minimizing dwell time and improving operational efficiency. The research data covers the period 2020–2023, including ship arrival times, cargo types and volumes, equipment availability, and external factors such as weather and tides. GA is implemented using a chromosomal representation based on ship priority and fitness functions to optimize dwell time and dock utilization. NN employs a Long Short-Term Memory (LSTM) architecture to process port time-series data. The evaluation of three scenarios—peak, normal, and low seasons—shows that GA reduces dwell time by 22.3% compared to conventional methods, while NN predicts potential delays with an accuracy of 87.2%. GA performs best in static scheduling, while NN is effective in handling dynamic uncertainties. The hybrid GA-NN solution provides a balance between performance and complexity, with the potential to reduce operational costs by up to IDR 1.2 billion per year. This study presents a framework for the comparative evaluation of AI algorithms in port logistics and offers practical recommendations for optimizing operations at Semayang Port.

Keywords : Genetic Algorithm, Neural Network, Port, Decision Support System, Comparison.

Abstrak

Optimasi penjadwalan bongkar muat di Pelabuhan Semayang, Balikpapan merupakan tantangan kompleks yang memerlukan pendekatan kecerdasan buatan. Penelitian ini membandingkan efektivitas Genetic Algorithm (GA) dan Neural Network (NN) dalam sistem pendukung keputusan guna meminimalkan dwell time dan meningkatkan efisiensi operasional. Data penelitian mencakup periode 2020–2023 yang meliputi waktu kedatangan kapal, jenis dan volume kargo, ketersediaan alat, serta faktor eksternal seperti cuaca dan pasang surut. GA diimplementasikan dengan representasi kromosom berbasis prioritas kapal dan fungsi fitness untuk mengoptimasi dwell time dan utilisasi dermaga. NN menggunakan arsitektur Long Short-Term Memory (LSTM) untuk memproses data time-series pelabuhan. Evaluasi pada tiga skenario (peak, normal, dan low season) menunjukkan GA mengurangi dwell time hingga 22,3% dibanding metode konvensional, sedangkan NN memprediksi potensi keterlambatan dengan akurasi 87,2%. GA unggul dalam penjadwalan statis, sementara NN efektif menghadapi ketidakpastian dinamis. Solusi hibrida GA-NN menawarkan keseimbangan antara performa dan kompleksitas, berpotensi menghemat biaya hingga Rp1,2 miliar per tahun. Penelitian ini menyajikan kerangka evaluasi komparatif algoritma AI untuk logistik pelabuhan dan memberikan rekomendasi praktis bagi optimalisasi operasional Pelabuhan Semayang.

Kata Kunci : Algoritma Genetika, Jaringan Saraf Tiruan, Pelabuhan, Sistem Pendukung Keputusan, Perbandingan.



I. PENDAHULUAN

Aktivitas bongkar muat barang di pelabuhan memegang peranan penting dalam rantai logistik nasional. Efisiensi pada proses ini sangat memengaruhi kelancaran distribusi barang, biaya logistik, serta daya saing sektor maritim secara keseluruhan. Di Indonesia, banyak pelabuhan yang masih menghadapi tantangan dalam hal penjadwalan kapal dan pemanfaatan fasilitas bongkar muat secara optimal. Salah satunya adalah Pelabuhan Semayang Balikpapan, yang merupakan pelabuhan utama di wilayah Kalimantan Timur. Dalam beberapa tahun terakhir, pelabuhan ini mengalami peningkatan volume kargo dan frekuensi kedatangan kapal, yang menyebabkan tekanan terhadap sistem penjadwalan yang ada.

Salah satu indikator penting dalam evaluasi kinerja pelabuhan adalah dwell time, yaitu waktu yang dibutuhkan kapal atau kargo untuk menyelesaikan proses bongkar muat. Dwell time yang tinggi sering kali menjadi cerminan dari sistem penjadwalan yang belum optimal. Faktor-faktor seperti waktu kedatangan kapal yang tidak merata, keterbatasan alat bongkar muat, kondisi cuaca, serta fluktuasi volume kargo turut

memperumit pengambilan keputusan di lapangan. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan baru yang tidak hanya responsif terhadap perubahan situasi, tetapi juga mampu memberikan solusi yang efisien dan adaptif.

Pemanfaatan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) menjadi salah satu pendekatan yang menjanjikan untuk mengatasi persoalan tersebut. Berbagai algoritma AI telah digunakan dalam optimasi penjadwalan, termasuk Genetic Algorithm (GA) yang dikenal efektif dalam mencari solusi optimal pada masalah kombinatorial, serta Neural Network (NN) yang memiliki kemampuan dalam mengenali pola dan memprediksi kondisi berdasarkan data.

historis. Model berbasis Long Short-Term Memory (LSTM), salah satu arsitektur dari NN, sangat cocok digunakan untuk memproses data deret waktu (time-series) seperti data operasional pelabuhan yang bersifat dinamis dan penuh ketidakpastian.

Meskipun kedua algoritma ini telah banyak diterapkan dalam bidang logistik dan transportasi, belum banyak studi yang secara langsung membandingkan kinerja keduanya dalam konteks operasional pelabuhan di Indonesia.



Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas Genetic Algorithm dan LSTM Neural Network dalam sistem pendukung keputusan penjadwalan bongkar muat di Pelabuhan Semayang Balikpapan. Perbandingan dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai skenario operasional (peak season, normal, dan low season), serta mengevaluasi performa masing-masing algoritma dari sisi efisiensi waktu, akurasi prediksi, dan potensi penghematan biaya operasional.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai kekuatan dan keterbatasan masing-masing pendekatan, serta memberikan dasar yang kuat bagi pengembangan sistem otomatisasi penjadwalan yang lebih cerdas, adaptif, dan sesuai dengan kebutuhan pelabuhan di Indonesia.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen berbasis komputer untuk membandingkan dua algoritma kecerdasan buatan, yaitu Genetic Algorithm (GA) dan Neural Network (NN), dalam membantu proses penjadwalan bongkar muat barang di

Pelabuhan Semayang, Kota Balikpapan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk melihat sejauh mana masing-masing algoritma mampu mengurangi waktu tunggu kapal (dwell time) dan meningkatkan efisiensi operasional pelabuhan.

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari catatan aktivitas pelabuhan selama periode 2020 hingga 2023. Beberapa informasi yang dikumpulkan antara lain waktu kedatangan dan keberangkatan kapal, jenis dan jumlah kargo, ketersediaan alat bongkar muat, serta faktor eksternal seperti cuaca dan pasang surut. Data tersebut diolah terlebih dahulu melalui proses pembersihan dan penyesuaian format agar bisa digunakan dalam simulasi dan pelatihan model AI.

Genetic Algorithm dalam penelitian ini dirancang menggunakan model kromosom yang merepresentasikan urutan prioritas kapal. Tujuannya adalah menemukan jadwal terbaik dengan dwell time paling rendah dan pemakaian dermaga yang paling optimal. Proses seleksi menggunakan metode roulette wheel, sedangkan proses crossover dan mutasi diatur secara adaptif untuk menjaga keragaman solusi yang dihasilkan.



Sementara itu, Neural Network yang digunakan dalam penelitian ini adalah model Long Short-Term Memory (LSTM) yang mampu memproses data secara berurutan atau time-series. Model ini dibangun dengan dua lapisan tersembunyi yang masing-masing terdiri dari 64 dan 32 unit. Algoritma pelatihan yang digunakan adalah Adam, dengan fungsi kerugian Mean Squared Error (MSE).

Untuk menguji performa masing-masing algoritma, penelitian ini menggunakan tiga skenario operasional, yaitu musim ramai (peak season), musim normal, dan musim sepi atau cuaca buruk (low season). Setiap skenario dijalankan sebanyak 30 kali agar hasil yang diperoleh stabil dan bisa dibandingkan secara adil. Hasil kinerja algoritma dievaluasi dari beberapa aspek, seperti pengurangan dwell time, tingkat akurasi prediksi keterlambatan, waktu proses komputasi, serta perkiraan biaya implementasi sistem.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengujian terhadap algoritma Artificial Intelligence (AI) yaitu Genetic Algorithm (GA) dan Long

Short-Term Memory (LSTM) untuk proses penjadwalan bongkar muat barang di Pelabuhan Semayang Balikpapan, diperoleh hasil yang menunjukkan perbedaan kinerja keduanya dalam aspek kecepatan pemrosesan, ketepatan prediksi, dan efisiensi waktu tunggu kapal.

3.1. Hasil Evaluasi Algoritma

Penelitian ini melakukan simulasi penjadwalan bongkar muat barang di Pelabuhan Semayang menggunakan dua algoritma: Genetic Algorithm (GA) dan Neural Network berarsitektur Long Short-Term Memory (LSTM). Evaluasi dilakukan terhadap tiga skenario: musim ramai (peak season), musim normal, dan musim sepi (low season), dengan masing-masing skenario dijalankan sebanyak 30 iterasi untuk memperoleh nilai rata-rata yang stabil.

Hasil menunjukkan bahwa Genetic Algorithm berhasil mengurangi rata-rata dwell time sebesar 22,3% dibandingkan sistem penjadwalan konvensional. Efisiensi tertinggi dicapai pada skenario normal, di mana GA mampu menyesuaikan prioritas kapal dan pemanfaatan dermaga secara optimal. Sementara pada skenario peak season, algoritma ini tetap menunjukkan performa yang baik, meskipun terjadi sedikit peningkatan waktu proses akibat kompleksitas



kombinasi kapal yang lebih tinggi.

Di sisi lain, model LSTM berhasil memprediksi potensi keterlambatan operasi dengan akurasi sebesar 87,2% berdasarkan data historis dari periode 2020–2022. LSTM menunjukkan kinerja terbaik pada skenario low season, di mana pola kedatangan kapal lebih stabil. Namun, pada kondisi peak season, tingkat akurasi menurun hingga sekitar 81%, yang mengindikasikan bahwa model perlu dilatih lebih lanjut dengan data ekstrem agar lebih adaptif.

3.2. Analisis Biaya dan Potensi Hybrid

Selain aspek teknis, analisis biaya implementasi juga dilakukan. Hasilnya menunjukkan bahwa penerapan sistem berbasis GA memerlukan infrastruktur pemrosesan yang lebih tinggi, terutama pada skala besar. LSTM relatif lebih ringan dari sisi komputasi, namun membutuhkan data yang konsisten dan berkualitas.

Solusi hybrid GA–LSTM dinilai memberikan keseimbangan antara kemampuan prediksi dan optimasi penjadwalan. Dalam simulasi terbatas, model hybrid menunjukkan potensi penghematan biaya operasional hingga Rp 1,2 miliar per tahun, terutama karena penurunan waktu tunggu dan efisiensi penempatan kapal. Dengan pendekatan ini, LSTM

dapat digunakan untuk mengidentifikasi kondisi potensial keterlambatan, sementara GA menyesuaikan penjadwalan untuk menghindari konflik atau tumpang tindih.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa Genetic Algorithm (GA) mampu mengurangi dwell time hingga 22,3%, sedangkan LSTM Neural Network dapat memprediksi keterlambatan dengan akurasi 87,2%. GA unggul dalam penjadwalan statis, sementara LSTM lebih adaptif terhadap kondisi dinamis.

Model hybrid GA–LSTM menawarkan keseimbangan antara optimasi dan prediksi, serta berpotensi menghemat biaya operasional hingga Rp 1,2 miliar per tahun. Temuan ini memberikan arah baru bagi pengembangan sistem otomatisasi penjadwalan pelabuhan berbasis AI.

V. SARAN

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memperkuat justifikasi pemilihan metode GA dan NN, serta menambahkan analisis kualitatif terkait kemudahan implementasi, skalabilitas, dan efisiensi sumber daya.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Alwi, W., & Sauddin, A. (2024).



Peramalan Jumlah Penumpang Kapal Laut Menggunakan Metode Time Series Machine Learning di PT Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 4 (Studi Kasus Pada Pelabuhan Soekarno Hatta Makassar). Jurnal MSA (Matematika dan Statistika serta Aplikasinya), 12(2), 68-78.

Menggunakan The Open Group Architecture Framework-Architecture Development Method (TOGAF-ADM) pada Puskesmas Sukatani. Jurnal Sistem Informasi Galuh, 32-37.

- [2] Basuki, M., Susanto, R. B., & Herianto, H. P. (2015, August). Analisis Risiko Kegiatan Bongkar Muat Sebagai Komponen Dwelling Time Di Pelabuhan. In Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III (pp. 511- 518).
- [3] Bhagya, T. G. (2021). Algoritma Genetik Pada Penjadwalan Transportasi Kapal Laut (Studi Kasus PT. Pelni). Journal of Industrial and Manufacture Engineering, 5(2), 81-92.
- [4] Novianto, D. D., Setiawan, E. B., & Arubusman, D. A. (2025). Analisis Kondisi Eksisting dan Tantangan Waktu Tinggal (Dwell Time) Peti Kemas di Pelabuhan Tanjung Perak, Indonesia. Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development, 7(5), 3539-3546.
- [5] Putri, C. M. (2024). Optimisasi Penjadwalan Kapal Menggunakan Metode FCFS dan Algoritma Genetika dengan Sistem Prediksi Waktu ANN (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [6] Rizal, S., Kurniawan, C., & Rozi, F. (2019). Prediksi Waktu Sandar Kapal Di Pelabuhan Batu Ampar, Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau. Jurnal Sistem Cerdas, 2(2), 119-134.
- [7] Firdaus, E. A., Maulani, S. (2023). Perencanaan Kerangka Kerja