

Pekerjaan konstruksi jalan tol merupakan bagian dari proyek strategis nasional yang bertujuan memperlancar konektivitas antarwilayah, mempercepat distribusi barang dan jasa, serta mendorong pertumbuhan ekonomi. Salah satu faktor penting dalam pelaksanaannya adalah penggunaan alat berat yang secara langsung memengaruhi produktivitas, biaya, dan emisi karbon. Pemilihan kombinasi alat berat yang tidak optimal dapat menurunkan efisiensi kerja, meningkatkan konsumsi bahan bakar, serta berdampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis produktivitas dan duriasi pekerjaan galian, menyusun alternatif kombinasi alat berat, serta menentukan kombinasi paling optimal berdasarkan perbandingan antara produktivitas terhadap biaya (P/C) dan produktivitas terhadap emisi karbon (P/E).

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi *Discrete Event Simulation* (DES) dengan bantuan perangkat lunak EZStrobe. Data yang digunakan berasal dari observasi langsung selama lima hari serta data sekunder berupa catatan proyek selama tiga puluh hari. Studi dilakukan pada tiga titik galian (STA) dengan jarak ± 600 meter antara lokasi galian dan timbunan. Model simulasi menggambarkan proses operasional alat berat berupa excavator dan dump truck. verifikasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan perhitungan manual sedangkan validasi dilakukan dengan mengukur tingkat *error* terhadap data aktual di lapangan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa model memiliki tingkat *error* sebesar 2,96% yang menunjukkan akurasi model tergolong baik karena berada di bawah ambang batas 5%. Kombinasi alat berat paling optimal diperoleh dari penggunaan 3 unit excavator PC300 dan 18 unit dump truck (6 unit per *station*). Kombinasi ini menghasilkan nilai indeks P/C sebesar 36,53 atau meningkat 82,70% dibandingkan kondisi aktual sebesar 19,99. Sementara itu, indeks P/E mencapai 1.427,24 meningkat 111,03% dari nilai awal sebesar 676,34. Pendekatan ini menunjukkan potensi peningkatan efisiensi sekaligus mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan dengan menekan emisi karbon.

Kata kunci: optimasi, produktivitas, biaya, emisi karbon, *Discrete Event Simulation* (DES)

Toll road construction is a strategic national project aimed at improving interregional connectivity, accelerating the movement of goods and people, and supporting economic growth. One of the key factors in its implementation is the use of heavy equipment, which directly affects work productivity, cost, and carbon emissions. An improper combination of heavy equipment can lead to decreased efficiency, increased fuel consumption, and greater environmental impact. This study aims to analyze the productivity and duration of excavation work, develop alternative equipment combination, and determine the most optimal combination based on the productivity-to-cost (P/C) and productivity-to-emission (P/E) indices.

This research employs a Discrete Event Simulation (DES) approach using the EZStrobe software. The data used include five days of primary field observations and thirty days of historical project records. The study focuses on three excavation points (STA) with an average distance of approximately 600 meters between the excavation and embankment areas. The simulation model represents the operational workflow of excavators and dump trucks. Verification was carried out by comparing simulation result with manual calculation, while validation was performed by measuring the error rate against actual field conditions.

The simulation results show an error rate of 2,96%, indicating a high level of model accuracy as it falls below the 5% threshold. The most optimal equipment combination consists of 3 unit of PC300 excavators and 18 dump trucks (6 unit per station). This combination yields a P/C index of 36,53, representing a 82,70% increase compared to the filed value of 19,99. Additionally, the P/E index reaches 1.427,24, showing a 111,03% improvement from the initial value of 700,25. These findings demonstrate that simulation-based approaches can enhance technical and economic efficiency while also supporting sustainable construction practices through reduced carbon emissions.

Keywords: *optimization, productivity, cost, carbon emissions, Discrete Event Simulation (DES)*