

INOVASI MINI EXCAVATOR LISTRIK: LANGKAH STRATEGIS MENUJU KONSTRUKSI BEBAS EMISI

Fuad Zainuri¹⁾, Muhammad Todaro²⁾, Muhammad Hidayat Tullah³⁾ dan Fuzi Rachmat Ramdhan⁴⁾

^{1,2,3}Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta
Corresponding E-mail: fuad.zainuri@mesin.pnj.ac.id

Abstract

The transformation of the construction sector toward more sustainable practices requires innovation in the use of heavy equipment, particularly in reducing carbon emissions. Mini excavators, as compact construction machinery commonly used in small- to medium-scale projects, have become a focal point of electrification efforts. This study explores the innovation in the development of electric-powered mini excavators as a strategic approach to support emission-free construction. The methodology includes a literature review, technical analysis of electric drive systems, energy requirement evaluation, and assessment of environmental impact and operational efficiency. The findings indicate that electric mini excavators can significantly reduce exhaust emissions and noise while lowering long-term operational costs. However, several challenges remain, such as high initial costs, limited charging infrastructure, and battery durability issues. This study recommends enhancing battery technology and hybrid systems as a transitional strategy toward fully eco-friendly heavy equipment to support low-emission construction initiatives.

Keywords: *Electric mini excavator, heavy equipment innovation, electrification, sustainable construction, carbon emissions, environmentally friendly technology.*

PENDAHULUAN

Konstruksi modern tengah menghadapi tekanan besar untuk bertransformasi menjadi industri yang lebih ramah lingkungan seiring meningkatnya perhatian global terhadap krisis iklim. Salah satu kontributor utama terhadap emisi karbon dalam sektor ini adalah penggunaan alat berat berbahan bakar fosil, seperti excavator konvensional yang menghasilkan emisi gas rumah kaca, polusi udara, dan kebisingan dalam jumlah besar [1][2]. Mini excavator, sebagai unit berukuran kecil yang banyak digunakan dalam proyek-proyek urban dan pekerjaan skala menengah, memiliki keunggulan dari sisi fleksibilitas, namun tetap menyumbang dampak lingkungan yang signifikan.

Sebagai respons terhadap tantangan ini, berbagai produsen global seperti Komatsu, Volvo, dan Kubota telah memperkenalkan lini mini excavator listrik sebagai bagian dari strategi elektrifikasi alat berat dan transisi menuju teknologi nol emisi [3][4]. Mini excavator berbasis listrik menawarkan sejumlah keunggulan, di antaranya adalah pengurangan emisi karbon hingga 90% selama masa operasional, tingkat kebisingan yang jauh lebih rendah, serta potensi penghematan biaya operasional dalam jangka panjang [5][6]. Inovasi ini menjadi semakin relevan seiring diberlakukannya regulasi emisi yang lebih ketat di negara-negara maju dan berkembang, serta meningkatnya dukungan terhadap energi terbarukan.

Namun demikian, adopsi mini excavator listrik masih dihadapkan pada berbagai tantangan, seperti keterbatasan kapasitas baterai, durasi operasional yang terbatas, infrastruktur pengisian daya yang belum merata di lapangan, serta biaya investasi awal yang relatif tinggi dibandingkan unit berbahan bakar diesel [7][8]. Oleh karena itu, pengembangan teknologi ini perlu dikaji lebih dalam dari sisi teknis, lingkungan, dan ekonomis. Inovasi seperti sistem baterai dengan densitas energi tinggi, teknologi fast charging, serta solusi hibrida menjadi elemen penting untuk menjembatani kebutuhan konstruksi masa kini dengan tuntutan keberlanjutan masa depan.

TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis potensi teknis dan efisiensi energi dari mini excavator berbasis tenaga listrik dalam konteks operasional di sektor konstruksi;
2. Mengevaluasi performa sistem penggerak listrik, termasuk jenis motor, kapasitas baterai, sistem manajemen energi, serta daya tahan operasional di lapangan;
3. Mengidentifikasi kendala utama dalam penerapan teknologi mini excavator listrik, termasuk aspek ekonomi, teknis, dan infrastruktur;
4. Merumuskan strategi pengembangan dan solusi inovatif, seperti penerapan sistem hybrid, peningkatan teknologi baterai (fast-charging, battery swap), dan digitalisasi manajemen energi, guna mendukung transisi menuju konstruksi yang rendah emisi dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

- **Identifikasi Masalah**

- Menelaah kontribusi mini excavator berbahan bakar fosil terhadap emisi karbon, polusi udara, dan kebisingan.
- Mengkaji urgensi adopsi teknologi rendah emisi dalam sektor konstruksi, khususnya di lingkungan urban dan proyek berskala menengah.

- **Studi Literatur**

- Mengumpulkan data dan tren dari jurnal, laporan industri, serta dokumen teknis lima tahun terakhir mengenai perkembangan mini excavator listrik.
- Fokus pada teknologi motor listrik (BLDC, AC induction), baterai lithium-ion, sistem manajemen energi, dan pendekatan hybrid.

- **Analisis Kebutuhan Energi**

- Melakukan kalkulasi konsumsi daya mini excavator konvensional (berbahan diesel) sebagai dasar pembandingan.
- Menganalisis kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk mencapai durasi kerja 6–8 jam, serta efisiensi sistem tenaga listrik.

- **Evaluasi Performa Sistem Penggerak Listrik**

- Menganalisis karakteristik teknis motor listrik, efisiensi mekanik, kontroler, inverter, dan integrasi dengan sistem kerja excavator.
- Mensimulasikan atau membandingkan performa sistem terhadap skenario penggunaan di lapangan.

- **Analisis Dampak Lingkungan**

- Mengestimasi potensi reduksi emisi karbon dan kebisingan menggunakan pendekatan life-cycle assessment (LCA).
- Membandingkan biaya operasional tahunan antara excavator diesel dan listrik dalam skenario lapangan yang umum terjadi.

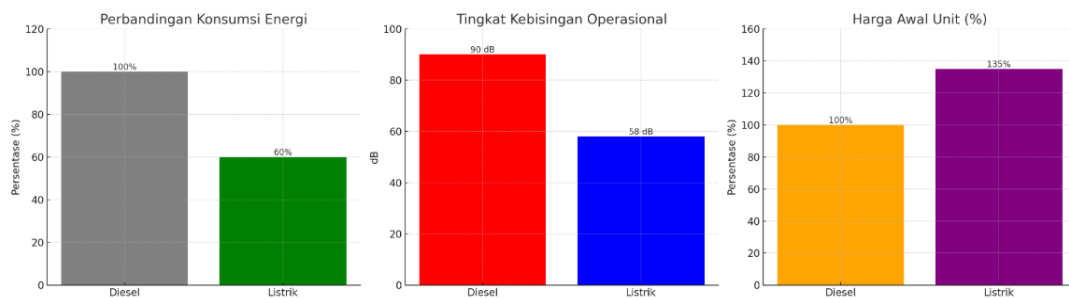
- **Perumusan Strategi Inovasi**

- Mengembangkan pendekatan transisi teknologi seperti penerapan sistem hybrid dan fast-charging.

- Menelaah kemungkinan integrasi digitalisasi (misalnya sistem monitoring berbasis IoT) untuk efisiensi energi dan ketahanan sistem.
- Menyusun langkah strategis berdasarkan hasil analisis untuk mendukung kebijakan elektrifikasi sektor alat berat secara bertahap dan berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis, mini excavator listrik dengan motor BLDC dan baterai lithium-ion berkapasitas 20-30 kWh mampu beroperasi selama 6-8 jam per pengisian.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Mini Excavator Listrik dan diesel

Tabel 1. Perbandingan Mini Excavator Listrik vs Diesel

Parameter	Mini Excavator Listrik	Mini Excavator Diesel	Keterangan Tambahan
Motor	BLDC	Mesin Diesel	
Kapasitas Baterai / Tangki	20–30 kWh	±20 Liter	
Waktu Operasional	6–8 jam	5–7 jam	Per satu pengisian / pengisian solar
Konsumsi Energi	Lebih hemat 40%	-	Terhadap diesel
Tingkat Kebisingan	< 60 dB	±85–90 dB	Cocok untuk area sensitif
Harga Awal Unit	30–40% lebih tinggi	-	Estimasi
Emisi Gas Buang	Nol Emisi	Tinggi	
Infrastruktur Pendukung	Belum merata	Sudah luas	
Solusi Infrastruktur	Fast charging, battery swap	-	

Namun, harga awal unit mini excavator listrik masih 30-40% lebih tinggi dibandingkan versi konvensional. Infrastruktur pengisian daya yang belum merata juga menjadi kendala terutama di lokasi proyek terpencil. Teknologi fast charging dan penggunaan sistem baterai swap dapat menjadi solusi.

SIMPULAN

Mini excavator listrik menunjukkan potensi besar dalam mendukung sektor konstruksi yang lebih ramah lingkungan. Elektrifikasi mampu mengurangi emisi, polusi suara, dan biaya operasional jangka panjang. Diperlukan dukungan dari sisi teknologi, kebijakan pemerintah, dan infrastruktur untuk mempercepat adopsi. Pengembangan sistem hybrid dan riset pada baterai dengan densitas energi tinggi menjadi kunci transisi menuju alat berat masa depan

DAFTAR PUSTAKA

- CNH Industrial, "How our electric mini excavators are helping Denmark reach its carbon emissions targets," CNH Media, Nov. 2024. [Online]. Available: <https://media.cnh.com>
- [Kubota Corporation, "Kubota Introduces Electric Mini Excavator in Europe," Kubota News, Dec. 2023. [Online]. Available: <https://www.kubota.com/news/2023/20231218.html>
- Ecoroads, "Electric Mini Excavators Helping to Drive Denmark's Green Ambitions," Ecoroads, Nov. 2024. [Online]. Available: <https://ecoroads.com>
- IVT International, "New Holland shows first electric mini excavator at SITEVI 2023," IVT International, Nov. 2023. [Online]. Available: <https://www.ivtinternational.com>
- Green City Times, "Eco-Friendly Construction with Mini Excavators," Green City Times, Aug. 2024. [Online]. Available: <https://www.greencitytimes.com>
- Komatsu, "Komatsu to Launch New 3-ton Class Electric Mini Excavator with Zero Emissions," Komatsu Newsroom, Jul. 2023. [Online]. Available: <https://www.komatsu.jp>
- Compact Equipment, "Digging Electric: Scope Out the Latest Battery-Powered Mini Excavators to Hit the Market," Compact Equipment, Aug. 2024. [Online]. Available: <https://compactequip.com>
- United Tractors, "United Tractors Introduces New 20 Ton Class Electric Excavator at Mining Indonesia 2023," UT News, Sep. 2023. [Online]. Available: <https://www.unitedtractors.com>

John Deere, “Deere Debuts New Planting Technology & Electric Excavator During CES 2023,” John Deere Newsroom, Jan. 2023. [Online]. Available: <https://www.deere.com>

Boom & Bucket, “Electric-Powered Construction Machinery: A Sustainable Future,” Boom & Bucket Blog, Feb. 2025. [Online]. Available: <https://www.boomandbucket.com>

Yanmar, “Next-Gen Work Machine Prototype with Force Control Technology,” Yanmar Global News, Nov. 2023. [Online]. Available: <https://www.yanmar.com>

Marine Construction Magazine, “Komatsu Electric Machines and Battery Technology Showcased at ConExpo 2023,” Marine Construction Magazine, Nov. 2024. [Online]. Available: <https://marineconstructionmagazine.com>